

ПРЕДИСЛОВИЕ

Главной задачей, стоящей перед высшей школой, является дальнейшее совершенствование системы образования, повышение качества подготовки специалистов с учетом требований развития экономики, науки и культуры.

Важным звеном в решении этой задачи является обеспеченность высшей школы учебниками, которые соответствовали бы уровню современных знаний.

За годы, прошедшие со времени выхода в свет второго издания курса «Маркшейдерское дело», произошли изменения в методике и технике производства маркшейдерских работ, которые обусловили составление новой учебной программы, изданной Минвузом СССР в 1975 г. В соответствии с этой программой, учитывая задачи по дальнейшему совершенствованию и повышению качества подготовки инженеров, составлено третье переработанное и дополненное издание настоящего учебника.

В учебнике нашли свое отражение специфические особенности в деятельности горного инженера-маркшейдера, обусловленные новым этапом научно-технического прогресса в горнодобывающей промышленности.

Поскольку маркшейдерское дело относится к числу инженерных дисциплин, авторы стремились обеспечить в нем наиболее глубокую взаимосвязь теории и практики излагаемых вопросов, уделяя значительное внимание методике и точности выполнения маркшейдерских работ. В учебнике не приведены числовые примеры и задачи, поясняющие решение отдельных вопросов. Такие примеры, имеющие в маркшейдерском деле большое значение, должны быть даны в руководстве к практическим и лабораторным занятиям по курсу.

В соответствии с программой курса учебник переработан и дополнен новым материалом. Существенному изменению подверглись разделы, касающиеся маркшейдерских работ при подземных и открытых разработках. Введен новый раздел «Организация маркшейдерской службы. Планирование маркшейдерских работ».

При подготовке третьего издания книги авторский коллектив стремился учесть все новое в теории и практике маркшейдерского дела.

В составлении учебника принимали участие: проф. д-р. техн. наук Д. Н. Оглоблин (разделы I, IV); доц. канд. техн. наук Г. И. Герасименко, доц. канд. техн. наук В. В. Мирный (гл. V, VI); доц. канд. техн. наук Г. И. Герасименко, асс. М. Н. Зоря (гл. VIII); канд. техн. наук А. Г. Акимов (гл. XXIX); доц. канд. техн. наук Г. И. Козловский (§ 4, 5, 6, гл. I, II, раздел VIII); доц. канд. техн. наук С. Г. Могильный (гл. IX); доц. канд. техн. наук В. К. Музыкантов (§ 3, 40, 125, 133, 193, 194); доц. канд. техн. наук С. И. Никольский (раздел VI); доц. канд. техн. наук М. Г. Папазов (предисловие, введение, гл. VII, раздел V); доц. канд. техн. наук С. Ф. Травник (разделы III, IV); проф. д-р. техн. наук Г. Л. Фисенко (раздел VII); доц. канд. техн. наук П. Г. Шевердин (§ 89); инж. В. И. Шурыгин (гл. X, XI).

Всем коллективам и лицам, сделавшим по рукописи ценные замечания и рекомендации, авторы настоящего учебника приносят глубокую благодарность.

Замечания и предложения по содержанию учебника следует направлять на кафедру маркшейдерского дела Донецкого политехнического института или в издательство «Недра».

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. ПРЕДМЕТ КУРСА «МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО» СОДЕРЖАНИЕ И ЗАДАЧИ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

На всех этапах освоения месторождений полезных ископаемых (разведке, строительстве и эксплуатации) вплоть до ликвидации горных предприятий производятся маркшейдерские работы.

При разведке месторождений полезных ископаемых маркшейдер на основе топографической съемки разведываемого участка и утвержденного проекта геологоразведочных работ указывает в натуре места заложения разведочных выработок (скважин, шурфов, канав, штолен и т. п.), затем производит съемку и составляет план их расположения. Вместе с геологом маркшейдер оформляет документацию на пройденные выработки (место отбора проб, геологические нарушения, контакты пород и т. д.) и составляет графическую документацию (планы, разрезы и пр.), характеризующую форму залегания месторождения и вмещающих пород, геометрию распределения свойств полезного ископаемого. По построенным графикам маркшейдер и геолог производят подсчет запасов полезного ископаемого.

При проектировании горных предприятий используются маркшейдерские графические и цифровые материалы.

При строительстве горного предприятия основными задачами маркшейдера являются: перенесение в натуру геометрических элементов запроектированных сооружений и горных выработок; осуществление в процессе строительства сооружений и проведения горных выработок контроля за соблюдением геометрических элементов проекта; маркшейдерская съемка, составление планов и разрезов фактического положения вновь построенных сооружений и пройденных в недрах горных выработок.

При разработке месторождений полезных ископаемых основными задачами маркшейдерской службы являются: получение на основании своевременных и полных съемок горных выработок информации об их положении и состоянии, о горно-геологических особенностях месторождения, составление и систематическое пополнение планов горных работ, обработка многочисленной информации, поступающей в маркшейдерские отделы, при помощи современных способов и средств на ЭВМ с оценкой точности полученных результатов.

При подземной разработке месторождений необходимо установить взаимосвязь между подземными горными выработками и земной поверхностью. Маркшейдеру всегда должно быть известно с необходимой точностью, что находится на земной поверхности

над горными выработками и какие горные выработки ведутся под тем или иным участком земной поверхности.

Полная и своевременная маркшейдерская съемка горных выработок и ориентирование их относительно земной поверхности являются важнейшими условиями безопасного ведения горных работ.

На основании результатов съемки и маркшейдерских планов горных работ шахты или карьера решают различные геометрические задачи, возникающие в процессе ведения горных работ, осуществляют контроль за правильным (т. е. соответствующим проекту) ведением горных работ, следят за полнотой извлечения полезного ископаемого, изучают процесс сдвижения горных пород и земной поверхности, обеспечивают охрану сооружений от вредного влияния горных разработок.

Маркшейдер горного предприятия ведет учет движения запасов полезного ископаемого, определяет количество добытого и потерянного в недрах полезного ископаемого, участвует в текущем и перспективном планировании горных работ шахты или карьера, составляет прогноз горно-геологических условий в процессе разработки месторождений, который является основой для планирования развития горных работ, для применения средств механизации при проведении капитальных и подготовительных выработок, а также при выемке полезного ископаемого в очистном забое.

При ликвидации горного предприятия маркшейдер производит съемки горных выработок, пополняет маркшейдерские планы, приводит в надлежащий вид журналы вычислений координат, нивелирования и ориентировок подземной съемки, передает основные маркшейдерские документы ликвидированной шахты или карьера на бессрочное хранение.

Таким образом, современное маркшейдерское дело является отраслью горной науки и техники, занимающейся съемками на земной поверхности и в горных выработках с целью изображения их на чертежах, а также для решения различных горно-геометрических задач, возникающих при разведке месторождений, проектировании, строительстве и эксплуатации горных предприятий.

Термин маркшейдерское дело (искусство) происходит от немецкого слова «Markscheidenkunst»: Mark — граница, межа, scheiden — различать, разделять; Kunst — искусство. Таким образом, в буквальном переводе: искусство устанавливать границы или межевание. Этот термин возник на заре развития горного дела, когда необходимо было устанавливать границы горных разработок частных предпринимателей.

В процессе формирования и развития горной науки в России многими учеными (М. В. Ломоносовым, П. М. Леонтовским, П. К. Соболевским и другими) предлагались другие наименования данной дисциплины, более соответствующие ее содержанию (например, *горная геометрия*), но поскольку термин «маркшейдерское дело» прочно укоренился в горном деле, заменить его чем-либо новым оказалось весьма затруднительно.

§ 2. ВЗАИМОСВЯЗЬ КУРСА С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ

Курс «Маркшейдерское дело» тесно связан с рядом других научных дисциплин и прежде всего с геодезией. При маркшейдерских съемках широко используются геодезические методы и инструменты. Маркшейдерская съемка горных выработок ведется от пунктов общегосударственной сети и нивелирования. Планы горных работ сопоставляются с топографическими планами земной поверхности.

В решении многих вопросов маркшейдерского дела широко и всесторонне используется математика. Без знания аналитической и начертательной геометрии, дифференциальной геометрии, математической статистики, теории вероятности и других разделов математики невозможно глубокое понимание курса маркшейдерского дела.

Для оценки точности произведенных измерений маркшейдер широко использует положения теории погрешностей и методы наименьших квадратов. На основании теории погрешностей маркшейдер решает и обратную задачу — по заданной точности определяет методы измерений.

Близко соприкасаются с маркшейдерским делом курс «Геометрия недр», который ранее являлся его составной частью, однако по мере развития этих наук геометрия недр оформилась как отдельная научная дисциплина. Изучение геометрии форм и свойств месторождений, а также процессов, которые в них происходят, невозможно без соответствующей маркшейдерской съемки и графической документации.

Снимая в натуре и изображая на планах форму залегания полезного ископаемого, выясняя законы распределения в нем тех или иных компонентов, подсчитывая запасы и потери, маркшейдер должен хорошо знать геологию месторождения, для чего должен глубоко изучить все предметы геологического цикла.

Маркшейдер должен хорошо знать горное дело, особенно системы разработки месторождений полезных ископаемых. Без этого он не сможет правильно решать вопросы планирования горных работ, обеспечивать контроль за правильным их ведением.

Наконец, маркшейдер должен хорошо владеть приемами технического и топографического черчения, без чего он не сможет составлять маркшейдерскую графическую документацию (планы, разрезы и т. п.).

§ 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

Первое описание способов съемки и ориентирования подземных горных выработок принадлежат Герону Александрийскому (предположительно I в до н. э.).

В 1556 г. был опубликован труд выдающегося немецкого ученого Георгия Агриколы (1494—1555 гг.), обобщившего накоплен-

ный в Германии опыт горного дела и металлургии. В пятой главе этого труда «О горном деле и металлургии» Агрикола рассмотрел вопросы съемки подземных горных выработок с помощью компаса и решение некоторых геометрических задач, возникающих при разработке месторождений полезных ископаемых.

Во второй половине XVI в. в Германии из среды горняков стали выделяться лица, которые специально занимались съемкой горных выработок. Они решали, в частности, важную для горного дела того времени задачу пересечения с поверхности земли в недра границ участков, принадлежащих различным владельцам. Горняков, занимающихся съемкой горных выработок и перенесением в шахту границ участков, стали называть маркшейдерами, а круг вопросов горного дела, ими решаемых, — маркшейдерским искусством.

В России первые упоминания о маркшейдерах относятся ко времени Петра I. В проекте горнозаводского устава, составленного В. Н. Татищевым, были четко определены задачи и обязанности маркшейдера горного предприятия.

Первой отечественной работой по маркшейдерскому делу следует считать известный труд М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел» (1763 г.), в специальной главе которого «Об измерении рудников» было дано решение основных геометрических задач, возникающих в горном деле. Труд М. В. Ломоносова сыграл важную роль в развитии отечественной маркшейдерии, которая уже к началу XIX в. достигла высокого уровня.

Об этом, в частности, свидетельствуют маркшейдерские планы Березовских золотых рудников и многих других горных предприятий, сохранившиеся до наших дней.

В 1805 г. преподаватель Петербургского горного училища А. И. Максимович, развивая идеи М. В. Ломоносова, опубликовал труд «Подземная геометрия», в котором полно и систематически изложил курс «Маркшейдерское дело».

Крупнейшим событием в истории маркшейдерского дела является опубликование в 1847 г. труда П. А. Олышева «Маркшейдерское искусство» (учебное руководство для воспитанников горного института), где он предложил при съемках горных выработок вместо висячей буссоли и полукруга применять теодолит и разработал методику подземной теодолитной съемки. Необходимо отметить, что использовать при подземных съемках теодолит предложили несколько позже П. А. Олышев, Ю. Вейсбах в книге «Новое маркшейдерское искусство» (1851 г.). Достоянием продолжателем нового направления в маркшейдерии был профессор Петербургского горного института Г. А. Тиме (1831—1910 гг.). Он обратил внимание на крупный недостаток постановки маркшейдерского дела в России, заключающийся в разобщенности съемок отдельных рудников и шахт, в отсутствии контроля над состоянием маркшейдерской службы частных горных предприятий.

В конце XIX и начале XX вв. крупный вклад в развитие маркшейдерского дела внесли профессор В. И. Бауман (1867—1923 гг.), П. М. Леонтовский (1871—1921 гг.) и П. К. Соболевский (1868—1949 гг.).

Научная деятельность проф. В. И. Баумана весьма многогранна и содержательна. Среди его трудов особое значение имеет трехтомный «Курс маркшейдерского искусства», который много лет служил основой для подготовки маркшейдеров, способствовал улучшению маркшейдерского дела на шахтах и рудниках нашей страны. Под руководством проф. В. И. Баумана была создана триангуляция Донецкого бассейна, обеспечившая единую систему координат маркшейдерских съемок и планов важнейшего промышленного района нашей страны.

Профессор Екатеринославского (Днепропетровского) горного института П. М. Леонтовский впервые в нашей стране начал исследование по вопросам сдвижения горных пород над выработанным пространством, он выпустил первую монографию по этому вопросу, где дал программу широких и всесторонних исследований процесса сдвижения, а также составил первую инструкцию по наблюдениям за сдвижением. Проф. П. М. Леонтовский был также изобретателем — новатором в области маркшейдерского дела. В числе его изобретений следует особо отметить нивелир-автомат, позволивший впервые в мире осуществить принцип автоматизации съемки.

В 1904 г. проф. П. К. Соболевский впервые в России ввел в Томском технологическом институте маркшейдерскую специальность. На многих уральских месторождениях под руководством П. К. Соболевского были проведены работы по геометризации месторождений. В это же время вышла из печати его работа «Маркшейдерское искусство как методология решения основных вопросов горного дела», излагающая основные положения геометрии недр.

Как видно из сказанного выше, усилия В. И. Баумана, П. М. Леонтовского и П. К. Соболевского, а также других передовых маркшейдеров дореволюционной России были направлены на то, чтобы поднять маркшейдерское дело страны до уровня возросших задач горной промышленности. Капиталистическая система хозяйства старой России ставила непреодолимые преграды на пути развития прогрессивных идей лучших ученых нашей отечественной науки.

Великая Октябрьская социалистическая революция внесла коренной перелом в развитие отечественной маркшейдерской школы. Молодая Советская Республика получила тяжелое наследие от царской России. Маркшейдерские планы горных работ были уничтожены или похищены прежними владельцами. Немногочисленным коллективом маркшейдеров была проделана огромная работа, в результате которой была восстановлена маркшейдерская служба горных предприятий. Значительную роль в решении этой задачи сыграл II Всероссийский маркшейдерский съезд, созданный

в 1921 г. по инициативе В. И. Баумана и П. М. Леонтовского. На съезде была принята новая структура маркшейдерской службы, разработанная на основе предложений В. И. Баумана, которая в 1922 г. была узаконена постановлением Советского правительства.

В 1918—1925 гг. под руководством проф. Н. Г. Келля были проведены работы по созданию триангуляции Кузнецкого бассейна, в которых впервые в СССР были применены плоские конформные прямоугольные координаты Гаусса—Крюгера. В 1924—1928 гг. проф. Ф. Ф. Павлов создал уральскую маркшейдерскую триангуляцию. В 1922 г. были изданы первые технические инструкции по маркшейдерскому делу и контролю.

В 1932 г. состоялся Всесоюзный маркшейдерский съезд, который подвел итоги работы, проделанной советскими маркшейдерами, и определил пути дальнейшего развития маркшейдерской службы горных предприятий нашей страны. Во исполнение решений этого съезда было создано Центральное научно-исследовательское маркшейдерское бюро (ЦНИМБ), позднее реорганизованное во Всесоюзный научно-исследовательский маркшейдерский институт (ВНИМИ), во главе которого стоял проф. И. М. Бахурин.

В 1932 г. был опубликован труд И. М. Бахурина «Курс маркшейдерского искусства», а в 1946 г. — «Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок», в котором подведены итоги его многолетних исследований этого важнейшего вопроса горного дела.

Обобщив материалы, полученные ВНИМИ при изучении процесса сдвижения горных пород, проф. С. Г. Авершин в 1947 г. опубликовал монографию «Сдвижение горных пород при подземных разработках». В 1950 г. сотрудниками ВНИМИ В. Н. Лавровым и Б. И. Никифоровым был создан первый в СССР маркшейдерский гирокомпас. Коллективом ВНИМИ на основе исследовательских работ в послевоенные годы был разработан ряд технических инструкций по отдельным видам маркшейдерских работ, созданы новые маркшейдерские инструменты (гирокомпасы, проектир направлений, оптический теодолит и др.).

Важное значение для советской маркшейдерии имело создание в 1948 г. Главного управления государственного горного надзора при Совете Министров СССР и в его составе — маркшейдерского контроля.

Задачи, стоявшие перед маркшейдерской службой горных предприятий, не могли бы быть успешно решены без надлежащего технического оснащения. В этой связи необходимо отметить важную роль Харьковского завода маркшейдерских инструментов.

Большая работа проделана в Советском Союзе по подготовке квалифицированных кадров маркшейдеров. В 1921 г. была введена маркшейдерская специальность в Ленинградском, в 1925 г. — в Днепропетровском, в 1929 г. — в Свердловском горном институтах, в 1933 г. — в Новочеркасском политехническом институте.

Сейчас кадры горных инженеров-маркшейдеров готовит ряд высших учебных заведений, подготовка техников-маркшейдеров ведется во многих горных техникумах страны.

Надлежащей постановкой в СССР высшего маркшейдерского образования мы во многом обязаны первому поколению советских ученых — маркшейдерам членам-корреспондентам АН СССР проф. И. М. Бахурину и проф. Н. Г. Келлю (Ленинградский горный институт), проф. П. К. Соболевскому и проф. Ф. Ф. Павлову (Свердловский горный институт), проф. И. П. Бухинику и проф. А. Е. Гутту (Днепропетровский горный институт), проф. Ф. В. Галахову и проф. А. И. Прибыткову (Томский промышленный институт), проф. А. Я. Берловичу (Новочеркасский политехнический институт), проф. Д. Н. Оглоблину (Донецкий политехнический институт).

В послевоенные годы в социалистических странах Западной Европы проведена большая работа как по подготовке инженеров-маркшейдеров, так и по развитию научной деятельности в области маркшейдерского дела. В ГДР возобновила свою деятельность Фрейбергская горная академия, где имеются маркшейдерский и геодезический институты.

В НРБ в Софийском горно-металлургическом институте имеется объединенная кафедра геодезии и маркшейдерского дела.

В Чехословакии впервые кафедра маркшейдерского дела была создана в Оставском горно-металлургическом институте, а затем в институте горного профиля в г. Кошице с кафедрой маркшейдерского дела и геодезии.

В ВНР кафедра маркшейдерского дела имеется в Мишкольцком университете тяжелой промышленности. В составе Венгерской академии наук имеется маркшейдерско-геодезический институт (г. Шопрон).

В ПНР подготовка горных инженеров-маркшейдеров сосредоточена в Краковской горно-металлургической академии. В нескольких отраслевых научно-исследовательских институтах ведется разработка ряда важных проблем маркшейдерского дела (в частности, проблемы сдвижения горных пород и земной поверхности). В этих вопросах польские маркшейдеры добились хороших результатов.

Существенных успехов в маркшейдерско-геодезическом приборостроении добилась оптико-механическая промышленность ГДР и ВНР.

Почти во всех социалистических странах в послевоенные годы было опубликовано немало капитальных трудов по маркшейдерскому делу. За последние годы сложилось замечательное сотрудничество маркшейдеров социалистических стран. Систематически издаются научно-технические сборники «Маркшейдерское дело в социалистических странах».

Заканчивая краткий обзор развития маркшейдерского дела, следует отметить, что по многим вопросам (изучение сдвижения

горных пород, геометризация месторождений, ориентирование подземной съемки и др.) советская маркшейдерия в короткий срок значительно опередила зарубежную.

Исторические решения XXVI съезда КПСС поставили задачи дальнейшего совершенствования техники и технологии разработки месторождений полезных ископаемых, которые не могут быть решены без коренного улучшения маркшейдерской службы шахт, рудников и карьеров. Последнее требует критического рассмотрения и использования в работе маркшейдера всего нового, что накоплено в теории и практике отечественной и зарубежной маркшейдерии, широкого внедрения в маркшейдерское дело новейших достижений современной науки и техники.

Раздел I

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ

§ 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМКАХ

Под маркшейдерской съемкой понимают совокупность геометрических измерений и вычислений, необходимых для составления планов горных работ и другой маркшейдерской графической документации, а также для аналитического решения различных геометрических и горнотехнических задач.

Разработка месторождений полезных ископаемых ведется двумя способами — открытым и подземным.

Естественно, что способы маркшейдерских съемок подземных и открытых горных разработок различны. Первые 8 глав учебника посвящены подземным съемкам. Съемки открытых горных работ рассматриваются в гл. IX.

Объектами подземной маркшейдерской съемки являются:

- 1) горные выработки;
- 2) поверхности залегания полезного ископаемого, т. е. висячий и лежащий бока залежи, вскрытые горными выработками, а также поверхности геологических нарушений (сбросов, надвигов и пр.);
- 3) отдельные характерные точки месторождений и горных выработок, например места взятия проб, устья разведочных скважин, пробуренных из подземных горных выработок, и т. п.

Первый объект съемки характерен постоянным изменением, так как во всякой действующей шахте состояние горных выработок непрерывно меняется: на одних участках горные выработки обрушаются, на других — проходятся вновь. Эта особенность данного объекта требует, чтобы съемки производились систематически в период всего существования шахты. Только в этом случае может быть обеспечено рациональное и безопасное ведение горных работ.

Второй объект съемки возникает при вскрытии горной выработкой тектонического нарушения или поверхности висячего и лежащего боков залежи. Маркшейдер должен заснять встреченные поверхности и нанести их на планы горных работ и геологические разрезы. Результаты этих съемок используются при проектировании горных работ, подсчете запасов, изучении геологического строения, учете потерь и т. п. Так, параметры встреченного разрывного нарушения (амплитуда, простираание и падение сместителя) позволяют прогнозировать распространение его на соседние участки и выбирать рациональные методы вскрытия и обработки смещенной части залежи.

Третий объект съемки не требует особых пояснений. В подземных горных выработках всегда имеется большое число самых различных точек, которые должны быть нанесены на маркшейдерский план: точки вскрытия разведочных скважин, точки суфлярных выделений газа, места взятия проб и др.

Подземные горные работы технологически связаны с рядом наземных сооружений. Кроме того, подземная разработка месторождений вызывает деформации земной поверхности и объектов, расположенных на ней. В связи с этим маркшейдер должен периодически обновлять и пополнять планы земной поверхности. Прежде всего съемке подлежат надшахтные здания, копры, здания подъемных машин, склады, подъездные пути и другие объекты промплощадки шахты. Эти объекты требуют строгой взаимной геометрической увязки и поэтому крупномасштабные планы промплощадок используются при решении многих производственных вопросов.

Пополнительной съемке подлежит также участок земной поверхности в пределах горного отвода шахты. Объектами съемки являются здания, сооружения, водоемы, устья разведочных скважин, устья горных выработок, элементы рельефа и т. п. Особое внимание должно быть уделено объектам, требующим охраны от вредного влияния горных работ или представляющим угрозу безопасной разработке месторождения.

По назначению и способам измерений подземные маркшейдерские съемки могут быть разделены на пять основных видов: горизонтальная соединительная, подземные теодолитная и вертикальная, съемки очистных и нарезных забоев, замеры горных выработок.

1. *Горизонтальная соединительная (ориентирно-соединительная) съемка* устанавливает геометрическую связь в плане подземных съемок с съемками земной поверхности. Она обеспечивает единство системы координат пунктов в шахте и на земной поверхности, что позволяет совмещать планы горных работ с планами земной поверхности и графически или аналитически решать задачи, требующие взаимной увязки горных работ с сооружениями поверхности (например, оставление предохранительных целиков под некоторые объекты поверхности). На результатах ориентирно-соединительной съемки базируется все плановое обоснование горных выработок, так как дирекционные углы и координаты X , Y , переданные с поверхности в шахту, являются исходными параметрами для развития горизонтальных подземных съемок по всем выработкам.

2. *Подземная теодолитная съемка* представляет собой комплекс угловых и линейных измерений с последующими вычислениями, непосредственной целью которых является определение координат X , Y системы пунктов, закрепленных в горной выработке специальными знаками.

Результаты съемки используются при составлении и пополнении планов горных выработок и другой графической документа-

ции, а также при решении различных горнотехнических задач (сбойка выработок, геометризация месторождений и т. п.).

3. *Подземные вертикальные съемки* заключаются в определении высот (координат Z) пунктов и горных выработок. Это необходимо для однозначного определения положения горных выработок в пространстве. К вертикальным съемкам относятся: передача координаты Z с земной поверхностью в шахту (для увязки подземных высотных съемок со съемками поверхности); геометрическое нивелирование по горизонтальным выработкам; тригонометрическое нивелирование по наклонным выработкам.

4. *Съемка очистных и нарезных забоев* выполняется, как правило, в стесненных условиях с помощью угломера (реже теодолита) и отличается сравнительно невысокой точностью. Результаты съемки используются для пополнения графической документации и аналитического решения некоторых горнотехнических задач.

5. *Замеры горных выработок* заключаются в привязке забоев выработок к ближайшим пунктам теодолитной съемки и являются простейшим видом съемок. Результаты измерений используются для определения объемов выполненных горных работ и пополнения графической документации. Замер горной выработки производится, как правило, с помощью рулетки, реже — с помощью специальных приборов и приспособлений (измерение скважин, недоступных камер и т. п.).

§ 5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СЪЕМОК

Рациональная методика съемки определяется характером объекта, назначением и требуемой точностью съемки. В общем случае при подземных маркшейдерских съемках руководствуются следующими основными принципами.

1. Съемка должна вестись от общего к частному, что уменьшает возможность накопления неизбежных погрешностей измерений и повышает точность.

Как известно, такой же принцип положен в основу топогеодезических работ на земной поверхности, где вначале создается сеть триангуляции, на основе которой развивается полигонометрия (или аналитические сети), и лишь после этого производится съемка рельефа и подробностей. В соответствии с этим принципом в шахте от ствола к границам поля по основным выработкам прокладываются опорные сети, на базе которых развиваются менее точные съемочные сети 1 и 2 разрядов, прокладываемые соответственно по подготовительным и очистным выработкам сравнительно небольшой протяженности.

2. Все измерения выполняемого вида съемки должны соответствовать точности, необходимой в горном деле. В этом отношении возможны две погрешности: измерения можно производить с не-

достаточной или, наоборот, с избыточной точностью. Недопустимость первой погрешности совершенно ясна — недостаточная точность подземной маркшейдерской съемки приводит к порче горных выработок, нарушает и осложняет ведение горных работ и может быть причиной мажсовых несчастных случаев. Избыточная же точность съемки требует излишней затраты сил и времени маркшейдера. Поэтому маркшейдер должен уметь правильно выбирать методы измерений с учетом характера объекта и требуемой точности съемки. В этом вопросе значительную помощь маркшейдеру оказывает техническая инструкция по производству маркшейдерских работ, где определены точность каждого вида съемки и способы измерений. Предписания инструкции имеют силу закона и строго обязательны для всех организаций маркшейдерской службы нашей страны.

3. Подземные маркшейдерские съемки должны производиться с обязательным контролем правильности их исполнения и оценкой точности. Форма контроля зависит от общей схемы и способа измерений.

Контроль измерений отдельных элементов (длин, углов, превышений) должен производиться непосредственно в процессе измерений с тем, чтобы вовремя обнаружить и исправить дополнительными измерениями вкравшуюся погрешность. Так, расстояние между двумя точками измеряют дважды, при измерении горизонтальных углов берут контрольные отсчеты и т. п. Такой вид контроля называют *п о л е в ы м*.

Полевой контроль не контролирует некоторых источников погрешностей (например, влияние погрешности центрирования инструмента и сигналов) и не является достаточным критерием точности. Поэтому в процессе камеральной обработки производятся заключительный контроль и оценка точности по определенным геометрическим условиям. Так, контроль правильности измерений и оценка точности в замкнутом полигоне выполняются по угловым и линейным невязкам. По этой же причине многие виды подземных съемок выполняются дважды или в прямом и обратном направлениях.

§ 6. СИСТЕМА КООРДИНАТ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ПЛАНОВ

В СССР при выполнении топографо-геодезических, картографических и маркшейдерских работ пользуются системой геодезических и системой плоских координат Гаусса—Крюгера 1942 г. (от даты определения размеров эллипсоида Красовского). Подробно с указанными системами студенты знакомятся в курсе «Геодезия». Здесь отметим лишь главные положения систем.

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

Положение любой точки A (рис. 1, a) поверхности эллипсоида однозначно определяется двумя 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. Система геодезических координат одинакова для всей поверхности эллипсоида и используется при обработке крупных геодезических сетей. Вместе с тем геодезическая система имеет существенные недостатки: координаты и

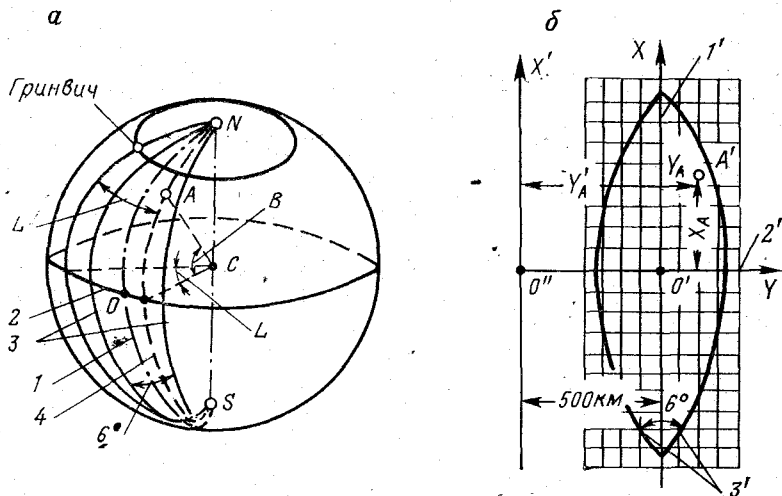


РИС. 1. Системы геодезических (a) и плоских прямоугольных координат (b):
 $1, 1'$ — осевой меридиан зоны; $2, 2'$ — экватор; $3, 3'$ — граничные меридианы зоны;
 4 — меридиан, проходящий через точку A

их приращения выражаются в угловых величинах; азимуты линий отсчитываются от меридианов, не параллельных между собой в различных точках; поверхность эллипсоида не может быть развернута без искажений на плоскость и др.

Для маркшейдерских и топографических планов и съемок, отличающихся относительно небольшой площадью, к системе координат предъявляются следующие основные требования:

1. Быть простой, удобной для вычисления координат и решения задач по ним.

2. Обеспечивать возможность совмещения планов горных выработок всех горизонтов между собой, а также с другими планами (топографическими, геологическими и т. п.).

3. Координатные оси должны иметь естественную ориентировку по странам света, а получаемая на плане координатная сетка должна быть удобной для графических построений и решения различных геометрических задач.

4. Масштаб проекций в любой точке должен быть постоянным по всем направлениям и практически одинаковым для всех точек.

5. Должно сохраняться равенство углов на поверхности эллипсоида и на плоскости проекций.

Указанным требованиям соответствует система плоских прямоугольных координат Гаусса—Крюгера.

Сущность системы координат Гаусса—Крюгера заключается в том, что поверхность эллипсоида делится с запада на восток, начиная от Гринвичского меридиана, на зоны по 6° долготы в каждой. Поверхность каждой зоны изображается (развертывается) на плоскости методом равноугольной (конформной), поперечно-цилиндрической проекции Гаусса. При этом осевой меридиан и экватор изображаются двумя взаимно перпендикулярными прямыми (рис. 1, б), принимаемыми за оси X , Y плоской системы координат. Началом координатной системы является точка O' пересечения осевого меридиана зоны с экватором.

Некоторая точка A с широтой B и долготой L изображается на плане точкой A' с плоскими прямоугольными координатами X_A , Y_A , выражающими расстояния от точки A до экватора и осевого меридиана зоны. При этом для однозначного определения положения точки A на земной поверхности должен быть известен номер зоны или долготы осевого меридиана зоны.

Чтобы избежать отрицательных ординат, при топографических съемках в шестиградусных зонах пользуются преобразованными координатами, у которых начало координат искусственно перенесено на 500 км к западу.

На стыке соседних координатных зон (по $30'$ в обе стороны от граничного меридиана) координаты пунктов даются в двух смежных зонах. Перевычисление координат X , Y из одной зоны в соседнюю выполняется по специальным таблицам.

В проекции Гаусса длины линий, расположенных на осевом меридиане, изображаются без искажений (масштаб равен единице). По мере удаления от осевого меридиана искажения длин линий возрастают (масштаб больше единицы) и на краю шестиградусной зоны относительные искажения в пределах СССР могут достигнуть $1 : 1100$ длины. Поэтому в маркшейдерском деле и при крупномасштабных топографических съемках применяют трехградусные координатные зоны, что позволяет уменьшить максимальные искажения длин примерно в 4 раза.

Осевые меридианы первых шестиградусной и трехградусной зон совпадают между собой. В трехградусных зонах пользуются непреобразованными координатами.

Планшеты основных планов горных работ составляются в трехградусных зонах. Для однозначного определения местоположения планшета на земной поверхности в левом нижнем углу его необходимо указывать номенклатуру планшета, состоящую из долготы осевого меридиана зоны в градусах и координат левого нижнего угла в километрах (например, $39^\circ + 3118 - 82$).

В ряде районов при выполнении маркшейдерских работ и составлении планов пользуются местными (условными) системами координат. За начало координат принимается один из пунктов геодезической сети, расположенной на территории месторождения. Ориентировка координатных осей, как правило, оставляется общегосударственной. Это позволяет простейшим образом перевычислять координаты из условной системы в общегосударственную, поскольку разность координат является величиной постоянной. В отдельных случаях местные системы имеют некоторый угол поворота координатных осей и тогда перевычисление координат производится с использованием более сложных аналитических зависимостей.

Г л а в а I

ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ТЕОДОЛИТНЫЕ СЪЕМКИ

§ 7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОДЗЕМНОЙ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКЕ

Подземная теодолитная съемка, состоящая из угловых и линейных измерений и последующих вычислений, имеет своей непосредственной целью определение координат системы пунктов, обозначенных в горных выработках шахты специальными знаками. Она является основным видом горизонтальных съемок горных выработок. Результаты теодолитной съемки используются для составления планов горных работ и другой графической документации, а также для аналитического решения различных горно-геометрических задач (задание направлений горным выработкам, сбойка выработок и др.).

Прямые линии, соединяющие смежные пункты, заложенные в горных выработках, образуют замкнутые или разомкнутые многоугольники, называемые теодолитными ходами или полигонами.

Прокладывая в шахте теодолитные ходы, измеряют горизонтальный угол между каждыми двумя смежными сторонами хода, вертикальный угол наклона и длину каждой стороны хода. Поскольку углы измеряются теодолитом, ходы называют теодолитными.

Каждый теодолитный ход должен быть привязан к пунктам предыдущей съемки. В зависимости от формы полигонов и способа привязки их к пунктам предыдущих съемок различают несколько видов теодолитных ходов (рис. 2):

1. С в о б о д н ы й (в и с я ч и й) р а з о м к н у т ы й х о д, опирающийся на один пункт с твердыми координатами и на один твердый дирекционный угол.

2. Свободный замкнутый ход, опирающийся на один пункт с твердыми координатами и на один твердый дирекционный угол.

3. Несвободный разомкнутый ход, опирающийся в конце и начале на пункты с твердыми координатами и твердые дирекционные углы.

4. Несвободный разомкнутый ход, опирающийся в конце и начале на пункты с твердыми координатами (например, ход между отвесами при ориентировке через два вертикальных ствола).

5. Ход с гироскопическим определением дирекционных углов отдельных сторон может быть разомкнутым или замкнутым и может опираться на один или два пункта с твердыми координатами. Наличие твердых дирекционных углов необязательно.

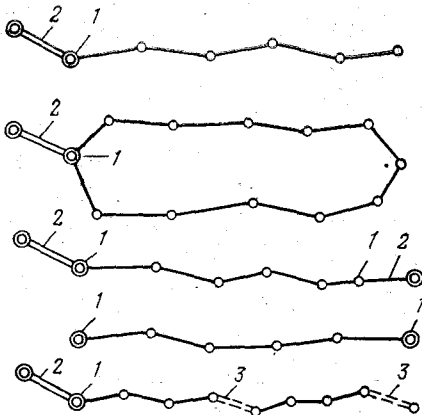


РИС. 2. Виды подземных полигонометрических ходов:

1 — твердый пункт; 2 — сторона с твердым дирекционным углом; 3 — сторона, дирекционный угол которой определен гироскопом

1 разряда, съемочные сети 2 разряда и сети повышенной точности.

Опорные сети прокладываются по главным подготовительным выработкам от ствола к границам шахтного поля. Полигонометрические ходы опорных сетей должны быть замкнутыми, прокладываются между пунктами с твердыми координатами и твердыми дирекционными углами при них или в прямом и обратном направлениях. Если ходы в начале и конце опираются на дирекционные углы, определенные независимо гироскопическим способом, то повторные ходы разрешается не прокладывать.

Углы измеряются теодолитами с точностью отсчетных приспособлений не менее $30''$. Средняя квадратическая погрешность измерения углов не должна превышать $20''$.

Длины сторон измеряют компарированными рулетками или светодальномерами типа МСД. Каждая сторона измеряется независимо в прямом и обратном направлениях. При этом разность не должна превышать $1 : 3000$ длины стороны. Для приведения длин линий на горизонтальную плоскость теодолитом измеряют углы их наклона.

При размере крыла шахтного поля более 2 км полигонометрические ходы разделяются на секции с числом углов в секции не более 20. В каждой секции дирекционный угол одной стороны хода определяется гироскопическим способом.

Опорные сети пополняются через 300—500 м подвигания забоя основной подготовительной выработки. Общая протяженность отдельного хода сети не ограничивается и связана с протяженностью выработок.

Методика создания опорной сети и точность угловых и линейных измерений должны быть такими, чтобы погрешность положения наиболее удаленного пункта шахтного поля относительно исходного не превышала $\pm 0,8$ мм основного плана горных работ. Поэтому на каждой шахте должен быть специальный проект создания и развития подземной маркшейдерской опорной сети с предрасчетом погрешности наиболее удаленного пункта.

Съемочные сети 1 разряда предназначены для съемки подготовительных выработок и для аналитического решения различных маркшейдерских задач. Они состоят из замкнутых или разомкнутых теодолитных ходов, опирающихся в начале и конце на пункты опорной сети. Длина отдельного хода не должна превышать 2 км. Углы измеряются теодолитом с точностью отсчетных приспособлений не ниже $60''$. Средняя квадратическая погрешность измерения углов не должна превышать $45''$. Длины стороны измеряются компарированными стальными рулетками или оптическими дальномерами в прямом и обратном направлениях. Расхождение между двумя независимыми измерениями не должно превышать 1 : 1000 измеренной длины.

Съемочные сети 2 разряда состоят из теодолитных или угломерных ходов длиной до 0,5 км, прокладываемых между пунктами высших разрядов по нарезным и очистным выработкам. Они предназначены для съемки нарезных и очистных выработок, а также для задания направлений второстепенным выработкам внутри нарезных блоков. Средняя квадратическая погрешность измерения углов не должна превышать $3'$. Длины линий измеряются стальными или тесняными рулетками с округлением отсчетов до 1 см.

Сети повышенной точности прокладываются при выполнении работ, требующих особо высокой точности (например, при сложных сбойках выработок). Методика производства работ и требуемая точность измерений определяются инженерным расчетом.

Перед началом или пополнением любого теодолитного хода надлежит измерить в точках примыкания горизонтальный угол ранее выполненной съемки. Этот угол называется **к о н т р о л ь н ы м**. Разность между первоначальным (из предыдущих съемок) и измеренным значением контрольного угла не должна превышать: для полигонов опорной сети $1'$, для ходов съемочной сети 1 разряда $2'$; для ходов съемочной сети 2 разряда $8'$. Аналогичные измерения выполняются также при примыкании к предыдущим съемкам

в конце хода. Если контрольное измерение горизонтального угла не укладывается в приведенные выше нормы, то пункты предыдущей съемки смещены. В таком случае теодолитный ход должен быть привязан к другим пунктам, где измеренное значение контрольного угла соответствует требуемым нормам.

Теодолитная съемка состоит из следующих основных видов работ: закрепление пунктов теодолитного хода маркшейдерскими знаками; измерение горизонтальных и вертикальных углов; измерение длины сторон хода; съемка контуров выработок; вычисление координат вершин теодолитного хода.

§ 8. ЗАКРЕПЛЕНИЕ И НУМЕРАЦИЯ ПУНКТОВ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

Вершины углов теодолитных ходов в горных выработках закрепляются постоянными и временными знаками. При выборе места закрепления пунктов теодолитной съемки нужно обеспечить взаимную видимость смежных пунктов, наибольшее расстояние между ними, длительную сохранность пунктов, удобные и безопасные условия измерений.

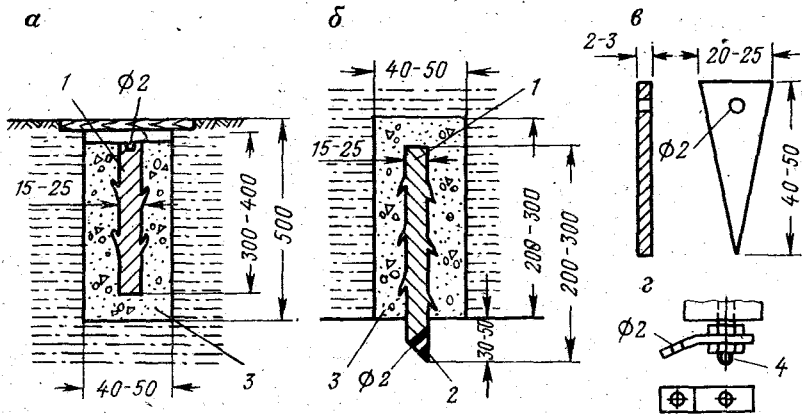


РИС. 3. Центры пунктов подземной теодолитной съемки: постоянных в почве выработки (а); постоянных в кровле выработки (б); временных, забиваемых в деревянные элементы крепи (в); временных, закрепляемых на элементах арочной крепи (г); 1 — стальной стержень; 2 — медная пробка; 3 — бетон; 4 — болт арочной крепи

Постоянные знаки закрепляются в кровле или в почве (рис. 3, а, б) горной выработки группами по три пункта в смежных вершинах теодолитного хода, что обеспечивает возможность контроля их неизменности путем повторного измерения горизонтального угла на среднем пункте.

Постоянные знаки закладываются в околовольном дворе, в главных и участковых квершлагах, в полевых и основных откаточных штреках и в других горных выработках. Расположение их

следует приурочивать к местам сопряжения горных выработок.

Группы постоянных пунктов закладываются через 300—500 м друг от друга, расстояние между смежными пунктами должно быть не менее 50 м. При весьма неустойчивых породах кровли и почвы группы пунктов закладываются по мере возможности.

При закреплении постоянного пункта в почве выработки, что следует делать только при неустойчивой кровле, над пунктом в верхняке крепи забивают временный знак. Последний служит лишь для облегчения отыскания постоянного пункта, но не для центрирования под ним теодолита или сигнала.

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

Временным знаком (рис. 3, в, г) закрепляются все пункты подземных теодолитных ходов кроме тех, которые избраны для закрепления постоянными знаками. Отверстие во временном знаке, предназначенное для шнура отвеса, должно быть не более 2 мм. Временный знак может быть забит в деревянную крепь горной выработки, в деревянную пробку, прочно забитую в специально пробуренную скважину, или закреплен на элементах металлической крепи.

Возле каждой вершины теодолитного хода на боковой стенке выработки должен быть четко обозначен порядковый номер знака. Система нумерации устанавливается главным маркшейдером шахты. Постоянные знаки нумеруются римскими или арабскими цифрами, временные — арабскими. Повторение номеров на одной и той же выработке недопустимо.

§ 9. ГОРНЫЕ ТЕОДОЛИТЫ

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов подземных полигонов применяются горные теодолиты. Эти теодолиты в основном аналогичны техническим теодолитам, предназначенным для съемок на поверхности, но имеют некоторые особенности, связанные с условиями подземной съемки.

Горные теодолиты должны иметь на поверхности зрительной трубы верхний центр, который чаще всего представляет углубление диаметром не более 0,5 мм и служит для центрирования теодолита под точкой, закрепленной в кровле выработки. Многие теодолиты имеют специальные оптические приспособления для центрирования инструмента над и реже под точкой.

Нередко теодолитные ходы прокладываются по наклонным горным выработкам, в том числе крутого залегания. Поэтому горные теодолиты должны иметь такую конструкцию, которая позволяет производить визирование под углами наклона, близкими к 90°. Некоторые типы горных теодолитов для указанной цели имеют две трубы: главную — центральную и дополнительную — эксцентренную. Первая из них жестко соединена с гори-

горизонтальной осью вращения так, что ее визирная ось лежит в одной плоскости с вертикальной осью инструмента. Эксцентренная труба тоже соединена с горизонтальной осью, но вынесена на ее конец (см. рис. 14). При таком положении эксцентренной трубы горизонтальный круг теодолита не мешает измерению углов в выработках крутого залегания.

Труба горного теодолита должна допускать визирование на возможно малые расстояния (2—1 м), так как нередко из-за стесненных условий стороны подземных ходов бывают очень короткими.

Учитывая, что в шахте приходится измерять горизонтальные углы, стороны которых имеют большой угол наклона, горный теодолит должен иметь накладной уровень, устанавливаемый на горизонтальную ось вращения трубы.

Для облегчения работы маркшейдера желательно иметь электрическое освещение отсчетных приспособлений, сетки нитей, уровней и верхнего центра, а также комплект приборов для автоматического центрирования.

Штатив горного теодолита должен быть легким, устойчивым и иметь раздвижные ножки.

В настоящее время отечественной промышленностью не выпускаются (серийно) специальные теодолиты для подземных съемок. Однако конструкция выпускаемых инструментов позволяет успешно применять их как на земной поверхности, так и в горных выработках.

В СССР производство теодолитов регламентируется Государственным стандартом ГОСТ 10529—79 «Теодолиты», согласно которому выпуску подлежат следующие типы оптических теодолитов.

1. Т05, Т1 — высокоточные оптические теодолиты со средней квадратической погрешностью измерения горизонтального угла соответственно $\pm 0,5''$ и $\pm 1''$, предназначенные для триангуляции и полигонометрии соответственно 1 и 2 классов.

2. Т2, Т5 — точные оптические теодолиты со средними квадратическими погрешностями измерения горизонтального угла $\pm 2''$ и $\pm 5''$, предназначенные для триангуляции и полигонометрии 3—4 классов (теодолит Т2), а также для аналитических сетей и полигонометрии 1—2 разрядов (теодолит Т5).

3. Т15, Т30 — оптические теодолиты технической точности со средними квадратическими погрешностями измерения горизонтального угла $\pm 15''$ и $\pm 30''$.

В зависимости от исполнения к указанным выше обозначениям теодолитов добавляются соответствующие буквы и цифры. В инструментах с компенсатором при алиаде вертикального круга проставляется буква К, при маркшейдерском исполнении — буква М, у теодолитов с автоколлимационным окуляром — буква А, порядковый номер модели обозначается цифрой впереди. Например, Т5К, Т5М, Т30М, Т2 и др.

Для маркшейдерских работ наиболее перспективными и необходимыми являются теодолиты со средними погрешностями измерения углов одним приемом $\pm 5''$, $\pm 15''$ и $\pm 30''$.

Теодолит Т5К. Оптический шкаловый теодолит Т5К (рис. 4) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в горных выработках и на земной поверхности. Он может применяться в аналитических сетях, в полигонометрии 1 и 2 разрядов, в подземных маркшейдерских опорных сетях и при других видах маркшейдерских работ. Благодаря автоматической компенсации наклона вертикальной оси, теодолитом можно выполнять геометрическое нивелирование IV класса.

В теодолите Т5К применена зрительная труба высокого качества с увеличением $27\times$. Пределы визирования от 2 м до бесконечности. Сверху и снизу трубы установлены оптические визиры 1, 3 для грубой наводки. Фокусировка зрительной трубы осуществляется ручкой кремальеры 14. Точное наведение зрительной трубы на предмет осуществляется наводящим (микрометренным) винтом 13 в вертикальной плоскости и наводящим винтом 11 в азимутальном направлении. Соосно с ними расположены зажимные винты 10.

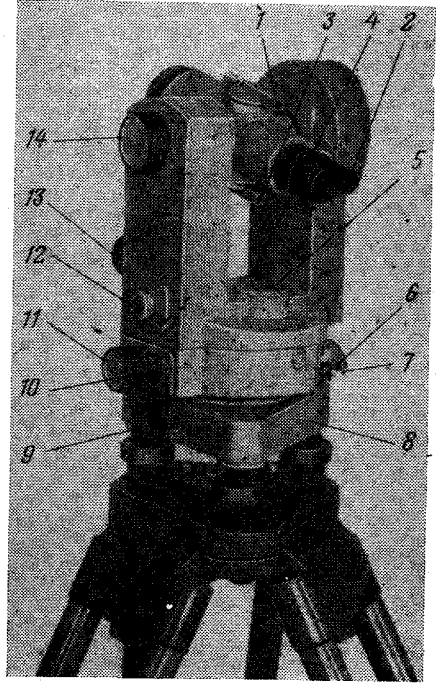


РИС. 4. Теодолит Т5К

Теодолит имеет цилиндрическую повторительную систему вертикальных осей. Горизонтальный круг может быть скреплен с алидадой и отсоединен от нее с помощью защелки повторительного устройства. Если необходимо повернуть горизонтальный круг вместе с алидадой, то нажимают на клавишу 6 защелки. Нажимая же на фиксатор 7, отсоединяют горизонтальный круг от алидады и тогда при вращении алидады лимб остается неподвижным. Повторительная система вертикальных осей позволяет измерять горизонтальные углы способом повторений или способом приемов. Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом $\pm 5''$.

Инструмент Т5К имеет стеклянные лимбы. Диаметр лимба горизонтального круга 95 мм, вертикального — 70 мм. Цена делений угломерных кругов 1° . Система отсчитывания односторонняя.

Отсчет снимают с помощью шкалового микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Увеличение микроскопа $70\times$. Цена одного деления шкал микроскопа $1''$. В поле зрения микроскопа одновременно видны изображения штрихов вертикального и горизонтального кругов (рис. 5). Отсчет состоит из градусов, определяемых по штрихам лимба, минут, определяемых по делениям шкалы микроскопа, и секунд, определяемых на глаз в долях деления шкалы. Точность отсчитывания $0,1$ интервала шкалы микроскопа, т. е. $\pm 0,1$, или $\pm 6''$.

Отсчетная система теодолита Т5К снабжена устройством (компенсатором), автоматически компенсирующим погрешность измерения вертикальных углов, вызванную наклоном вертикальной оси инструмента. Диапазон действия компенсатора $\pm 3'$. В связи с этим алидада вертикального круга не имеет уровня.

Для приведения вертикальной оси в отвесное положение служат круглый 5 и цилиндрический 4 уровни, расположенные на алидаде горизонтального круга (см. рис. 4). Цена деления круглого уровня $10'$, цена деления цилиндрического уровня $30''$.

В алидадной части инструмента расположен оптический отвес для центрирования теодолита над точкой. Объектив отвеса расположен внутри вертикальной оси, а окуляр выведен через боковую крышку теодолита наружу. Фокусирование отвеса производят выдвиганием окулярного колена 12.

Теодолит устанавливается в отделяемую подставку 8, что позволяет измерять углы с автоматическим центрированием прибора и сигналов. Закрепление инструмента или сигнала производится зажимным винтом 9.

Оптическая схема теодолита Т5К представлена на рис. 6.

Вертикальный круг. Луч света, отразившись от зеркала 1, проходит матовое стекло 2, попадает на призму 10 и, дважды изменив в ней направление, направляется на призму 4, расположенную за вертикальным кругом (в разрезе $A-A$ не показана). Изменив в призме 4 направление на 180° , луч освещает деления лимба вертикального круга 3 и попадает на призму 18. Далее изображения делений лимба с помощью призм 18, 16, 14, 13 и линз 17, 15 проецируются в плоскость 12 коллектива, где нанесена шкала микроскопа. Шкала микроскопа со спроецированными на нее делениями лимба рассматривается в окуляр 5, 6 микроскопа с помощью призм 23, 25 и объектива микроскопа 24.

Горизонтальный круг. Луч света, пройдя матовое стекло 2, попадает на призму 11 и направляется на призму 19. Изменив в призме 19 направление на 180° , луч освещает деления горизонтального круга и с помощью призм 20 и линз 21, 22 (минуя призму 14) проецирует их также в плоскость 12 коллектива, где нанесена вторая шкала микроскопа.

Шкала микроскопа со спроецированными на нее делениями лимба, как и в первом случае, рассматривается в окуляр 5, 6 микроскопа.

РИС. 5. Поле зрения отчетного микроскопа теодолита Т5К (отсчет по горизонтальному кругу $175^{\circ} 57' 42''$, отсчет по вертикальному кругу $5^{\circ} 04' 12''$)

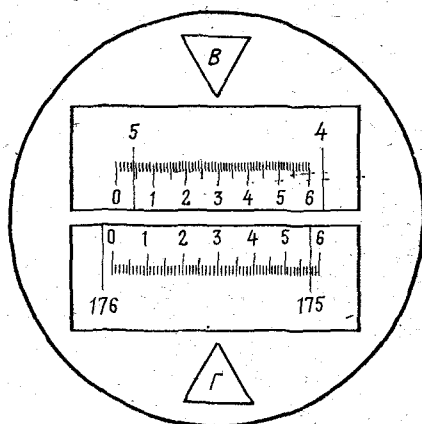
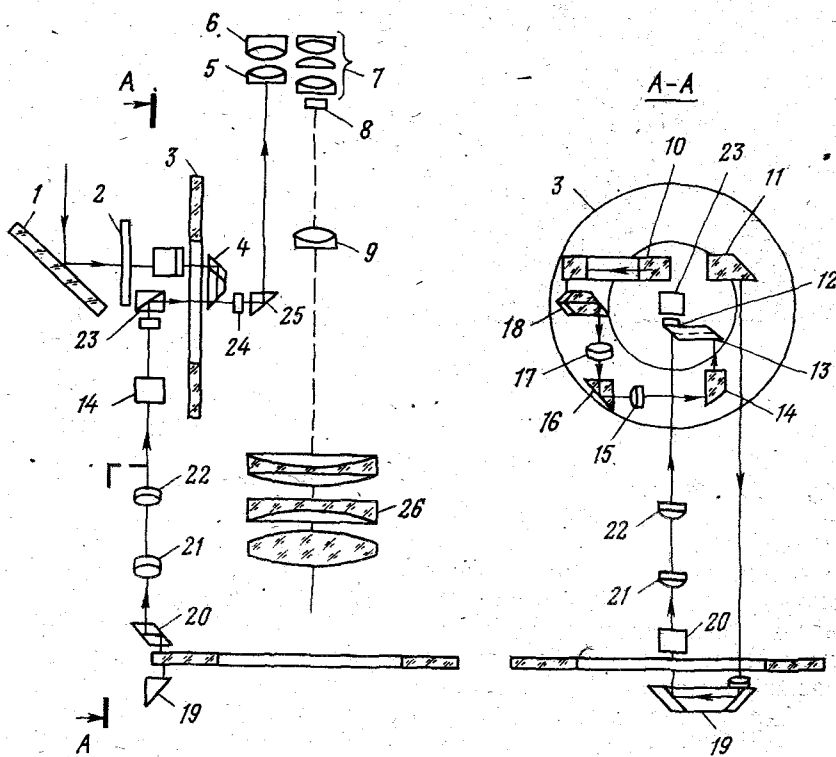


РИС. 6. Оптическая схема теодолита Т5К



Прямоугольная призма 16 меняет направление хода лучей и одновременно выполняет роль компенсатора. Она подвешена на тонкой плоской пружине, прикрепленной к подставке зрительной трубы. При наклонах оси вращения инструмента призма под действием силы тяжести меняет свое положение, смещая изображение штрихов вертикального круга так, что отсчет соответствует вертикальному положению оси вращения теодолита.

Оптическая система зрительной трубы состоит из объектива 26, фокусирующей линзы 9; сетки нитей 8 и окуляра 7.

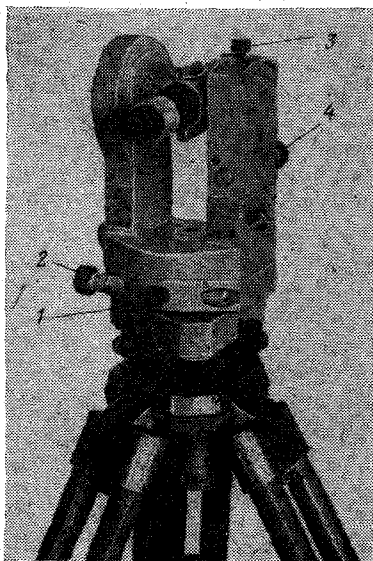


РИС. 7. Теодолит Т30М

компенсатором. Инструмент имеет разъемное соединение с трегером и может быть использован для измерения углов с автоматической центровкой.

Теодолит Т30М. Теодолит Т30М (рис. 7) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах на земной поверхности, а также в съемочных сетях горных выработок. Средняя квадратическая погрешность измерения углов одним приемом $\pm 30''$. Инструмент является повторительным и позволяет измерять углы способом приемов и способом повторений.

Скрепление горизонтального круга с алидадой и освобождение его осуществляются с помощью клавиши и фиксатора повторительного устройства, аналогично теодолиту Т5К. Точная наводка зрительной трубы на предмет производится в горизонтальной плоскости наводящим винтом 2 при зажатом закрепительном винте 1,

Теодолит Т15. Теодолит Т15 предназначен для работы на земной поверхности и в шахте. Средняя погрешность измерения углов одним приемом составляет $\pm 15''$.

Деления на лимбах нанесены и оцифрованы через 1° от 0 до 360° . Отсчеты берутся аналогично теодолиту Т5К. Отсчетная шкала разделена на 60 делений, следовательно, цена одного деления шкалы составляет $1'$. На глаз можно оценивать $1/4$ деления шкалы, т. е. брать отсчеты с точностью $15''$. Подсветка лимбов и отсчетных шкал может быть осуществлена головным светильником или же специальным взрывобезопасным светильником с питанием от батарейки напряжением 4 В. Система осей повторительная. Ось алидады имеет цилиндрическую форму и опирается на шариковый подшипник. Вертикальный круг снабжен оптическим

а в вертикальной плоскости — наводящим винтом 4 при зажатом закрепительном винте 3.

Теодолит Т30М имеет стеклянные лимбы с градусными делениями. Отсчеты снимаются аналогично теодолиту Т5К (см. рис. 5) с помощью шкалы микроскопа с 18-кратным увеличением. Отсчетная шкала разделена на 60 делений. Цена деления равна 1'. Точность отсчитывания по шкале до 0,25 деления, т. е. до 15". Подставка инструмента съемная и приспособлена для работы прибора как в обычном, так и в перевернутом (подвешенном на консоли) состоянии.

В комплекте прибора имеются зенитные насадки на зрительную трубу и микроскоп для наблюдений под углом наклона более 45°. По требованию заказчика поставляется коленчатый окуляр, используемый для визирования в зенит или надир (через полу ю вертикальную ось) и для центрирования инструмента с помощью зрительной трубы под или над точкой. Для внутреннего освещения в комплекте прибора имеется съемный осветитель.

Масса теодолита с подставкой 2,8 кг.

Зарубежные теодолиты. Теодолит Theo020A (рис. 8) изготавливается народным предприятием «Карл Цейсс» (ГДР). Он предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции низших классов, в наземной и подземной полигонометрии, а также для ряда других геодезических и маркшейдерских работ. Средняя квадратическая погрешность измерения углов одним приемом $\pm 3''$.

Зрительная труба имеет высококачественную оптику с прямым изображением. Минимальное расстояние визирования 1,5 м. Увеличение зрительной трубы 25 \times . Фокусирование на предмет осуществляется кольцом 9 кремальеры. Для грубой наводки на предмет служат оптические диоптры 1, 2. Точное визирование осуществляется соосно расположенными винтами 5, 4 соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях с переключением защелки 7.

Система отсчетов и поле зрения отсчетного микроскопа 8 аналогичны теодолиту Т5К. Цена делений обоих лимбов 1°. Цена делений шкал микроскопа 1'. Увеличение микроскопа 70 \times . Точность

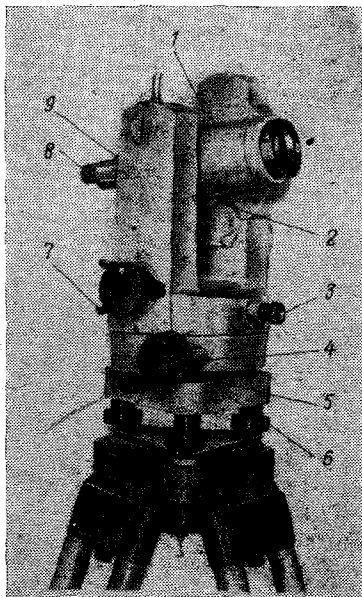


РИС. 8. Теодолит Theo 020A

отсчитывания $\pm 6''$ (0,1 интервалы шкалы). В поле зрения микроскопа одновременно видны показания обоих кругов. При массовых измерениях только горизонтальных углов изображение вертикального круга может быть выключено.

Вертикальный круг снабжен механическим маятником (компенсатором). Рабочий диапазон маятника $\pm 4'$. Погрешность установки $\pm 1''$.

Теодолит имеет разъемную подставку 6, что позволяет применять автоматическое центрирование при измерении углов по трехштативной схеме. Центрирование над точкой производится оптическим отвесом 3 с точностью $\pm 0,3$ мм. Для приведения вертикальной оси в отвесное положение служат круглый (цена деления $8'$) и цилиндрический (цена деления $20'$) уровни.

Инструмент выпускается с рядом дополнительного оборудования: буссолью, световыми сигналами, зенитными окулярами, базисной рейкой и др. Это значительно расширяет область его применения.

Теодолит Theo080A также выпускается народным предприятием «Карл Цейсс» (ГДР). Он предназначен для топографических и маркшейдерских работ. Отличается малыми габаритами и небольшой массой (2 кг.). Имеет повторительную систему вертикальных осей и разъемную подставку. Может устанавливаться на штативе или с помощью специального прибора подвешиваться на консоли. Для работы в горных выработках снабжается освещением во взрывобезопасном исполнении.

Зрительная труба имеет прямое изображение. Увеличение трубы $18\times$. Для грубого наведения на предмет труба снабжена оптическими визирами.

Микроскоп отсчетного приспособления расположен с внешней стороны вертикального круга и вращается вокруг горизонтальной оси. Это позволяет при любом положении зрительной трубы брать отсчеты со стороны наблюдателя. В поле зрения микроскопа одновременно видны деления обоих лимбов. Наименьшее деление лимба $10'$. Отсчет производится по неподвижному индексу с оценкой 0,1 деления на глаз, т. е. с точностью $\pm 1'$. Деления лимбов имеют двойную оцифровку, одна из них используется при обычной установке, другая — при подвешенном положении инструмента на консоли.

К теодолиту поставляется ряд приспособлений: призма круглого визирования, зенит—окуляр, нивелирный уровень, буссоль, сигналы, оптический зенитный проектор (отвес), взрывобезопасное освещение и др.

Теодолит Те-Е6, изготавливаемый заводом МОМ в Венгерской Народной Республике, предназначен для съемок на поверхности и в горных выработках. Он относится к классу малых теодолитов. Масса его равна 2,6 кг. Инструмент имеет небольшие габариты и современный вид. Система вертикальных осей неповторительная.

Зрительная труба имеет увеличение $20\times$. Минимальное расстояние визирования 1,3 м. Отличительной способностью инструмента является отсутствие закрепительных винтов. Точная наводка зрительной трубы на предмет осуществляется наводящими винтами, имеющими червячные зацепления с горизонтальным и вертикальным кругами.

Точность отсчитывания по лимбу вертикального круга $\pm 1'$, по лимбу горизонтального круга $\pm 5''$.

Теодолит имеет цилиндрические уровни на алидаде горизонтального круга и при зрительной трубе. Цена делений уровней $50''$. Вертикальный круг снабжен компенсатором. Пределы работы компенсатора $\pm 15'$.

§ 10. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕОДОЛИТАМ

Для точного и эффективного измерения углов теодолит должен удовлетворять следующим основным условиям.

1. Вращение подъемных винтов подставки должно быть плавным, с отсутствием качки, скачков и срывов.

2. Ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна, а ось круглого уровня — параллельна вертикальной оси вращения инструмента.

3. Вертикальная нить сетки должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения зрительной трубы.

4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси ее вращения.

5. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента.

6. Место нуля (место зенита при зенитной оцифровке) вертикального круга должно быть равно или близко к 0° .

7. При расположении зрительной трубы перпендикулярно к оси вращения теодолита верхний центр должен совпадать с вертикальной осью инструмента.

8. Визирная ось оптического отвеса должна совпадать с вертикальной осью теодолита.

9. Компенсатор вертикального круга должен компенсировать влияние наклона вертикальной оси инструмента в заданном конструкцией интервале.

10. При перефокусировке зрительной трубы положение визирной оси должно оставаться неизменным.

При выполнении работ, требующих особо высокой точности, дополнительно должны исследоваться: соответствие — длины шкалы микроскопа или микрометра делениям лимба (реж); перпендикулярность лимбов горизонтального и вертикального круга соответственно к осям вращения инструмента и зрительной трубы;

эксцентриситеты лимба и алидады; систематические и случайные погрешности измерения углов. Методика названных проверок и исследований излагается в курсах «Геодезия» и «Маркшейдерские приборы и инструменты».

§ 11. ЦЕНТРИРОВАНИЕ ТЕОДОЛИТОВ И СИГНАЛОВ

Центрированием называется установка теодолита и сигналов в такое положение, чтобы продолжения их вертикальных осей (в отвесном положении) проходили через центр маркшейдерского знака, отмечающего вершину полигона.

Пусть требуется измерить горизонтальный угол $\beta = \angle BAC$ (рис. 9, а). Вследствие неизбежных погрешностей теодолит будет

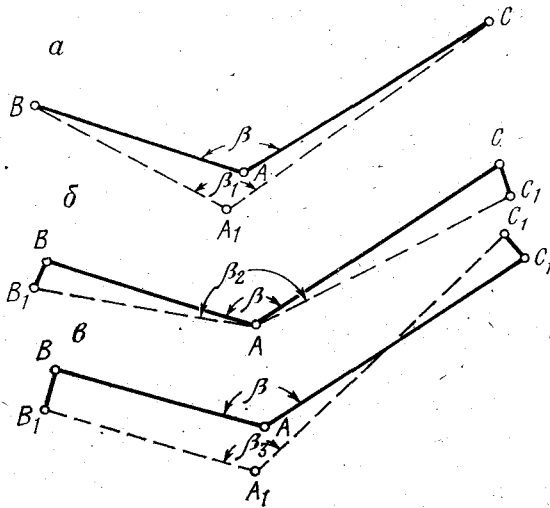


РИС. 9. Погрешности измерения горизонтального угла из-за неточности центрирования:

а — теодолита; б — сигналов; в — теодолита и сигналов

процентрирован не в точке А, а в некоторой точке А₁. Тогда вместо искомого угла будет измерен какой-то другой угол β₁. Разность $\Delta\beta = \beta - \beta_1$ называется погрешностью измерения горизонтального угла из-за неточного центрирования теодолита; горизонтальное расстояние $AA_1 = e$ — линейной погрешностью центрирования теодолита. Если же неточно процентрированы В и С (рис. 9, б), то $\Delta\beta = \beta - \beta_2$ будет погрешностью измерения горизонтального угла из-за неточного центрирования сигналов. Гори-

горизонтальные расстояния между точками B , B_1 и C , C_1 называются линейной погрешностью центрирования сигналов. Наконец, при наличии линейных погрешностей центрирования теодолита и сигналов (рис. 9, в) будет иметь место погрешность измерения горизонтального угла из-за неточного центрирования теодолита и сигналов.

Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла β , обусловленная неточностью центрирования теодолита и сигналов определяется по формуле (вывод формулы дается в XII главе)

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_c^2(a^2 + b^2) + e^2(a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta)]}, \quad (I.1)$$

где a , b — горизонтальные проекции длин сторон измеряемого угла; e , e_c — линейные погрешности центрирования теодолита и сигналов.

Пусть $a = 21$ м, $b = 28$ м, $\beta = 175^\circ$, $e_c = 0,001$ м, $e = 0,002$ м. Подставив эти значения в формулу, найдем, что погрешность угла β составит $24''$.

Формула (I.1) и приведенный пример позволяют сделать следующие основные выводы:

1) погрешность измерения угла из-за неточности центрирования теодолита и сигналов может иметь значительную величину, что требует от маркшейдера тщательного выполнения этой операции;

2) влияние погрешности центрирования теодолита на погрешность измерения угла зависит от величины угла (наибольшее влияние погрешность центрирования теодолита будет иметь место при измерении углов, близких к 180°);

3) влияние погрешности центрирования теодолита обратно пропорционально длине горизонтальных проекций сторон, образующих измеряемый угол;

4) влияние погрешности центрирования сигналов на погрешность измерения угла не зависит от величины угла и обратно пропорционально длине горизонтальных проекций его сторон.

В подземных съемках преобладают самые неблагоприятные условия измерения горизонтального угла, так как большинство углов подземных теодолитных ходов близко к 180° , а длины сторон не столь велики. Поэтому маркшейдеру следует с особым вниманием относиться к центрированию теодолита и сигналов.

В маркшейдерской практике применяют три способа центрирования: отвесом, оптическое и автоматическое.

При центрировании отвесом теодолит устанавливают на штатив или консоль, его вертикальную ось приводят в отвесное, а трубу в горизонтальное положение. Шнур отвеса продевают в от-

верстие маркшейдерского знака, а отвес опускают так, чтобы его острие почти касалось верхнего центра теодолита. Теодолит двигают по платформе штатива или консоли до тех пор, пока острие свободно висящего отвеса не окажется над верхним центром.

После выполнения указанных операций продолжение вертикальной оси вращения теодолита проходит через центр маркшейдерского знака лишь только в том случае, если верхний центр теодолита при горизонтальном положении трубы лежит на вертикальной оси его вращения, а острие отвеса лежит на одной отвесной прямой с осью его шнура.

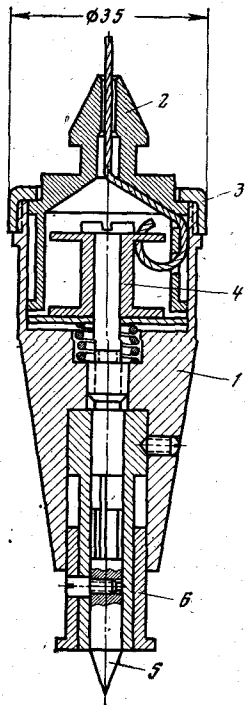


РИС. 10. Центрировочный отвес ОР-2:
1 — корпус отвеса; 2 — втулка; 3 — гайка; 4 — катушка; 5 — игла; 6 — поводок

Проверку отвесов производят с помощью двух вспомогательных теодолитов, установленных так, чтобы визирные лучи, наведенные на поверяемый отвес, составляли между собой примерно прямой угол. Сначала наводят трубы теодолитов на шнур отвеса, а потом, поворачивая вокруг горизонтальной оси, на его острие; обнаруженные отклонения можно устранить только в механической мастерской.

При применении отвесов в качестве сигналов визирная ось трубы теодолита наводится на их шнуры.

Правильный выбор массы и конструкции отвеса имеет большое практическое значение. Для уменьшения отклонения 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 наибольшее распространение получили отвесы ОР-2 (рис. 10) и электрифицированные отвесы ПМ-3 (рис. 11).

Оптическое центрирование осуществляется с помощью оптического отвеса. В современных теодолитах оптический отвес встроен в алидадную часть инструмента и предназначен для центрирования прибора только над точкой. Он представляет собой простейшую оптическую систему из окуляра, преломляющей призмы и объектива, расположенных так, что преломленный луч совпадает с вертикальной осью теодолита.

При центрировании теодолит устанавливают над точкой и приводят его вертикальную ось в отвесное положение, рассматривают центр знака в окуляр оптического отвеса и передвигают инструмент по платформе штатива до совмещения центра сетки нитей отвеса с центром знака. Поворачивая алидаду на 180° , проверяют сход сетки нитей отвеса с центра знака.

В подземных условиях маркшейдерские знаки располагаются в кровле и реже — в почве выработки. Для оптического центрирования подставок теодолитов под или над точками могут применяться двусторонние оптические центриры (отвесы), поставляемые заводами как дополнительные приспособления по специальным заказам. В отдельных случаях центрирование под высоко расположенной точкой может быть осуществлено также приведенной

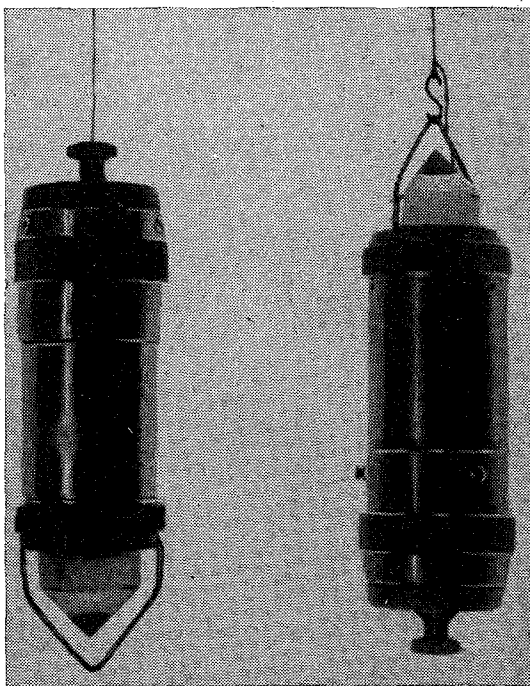


РИС. 11. Электрифицированный отвес ПМ-3

в отвесное положение зрительной трубой. Наблюдения в этом случае производят через окулярное колено зрительной трубы.

Автоматическое центрирование теодолита и сигналов может быть осуществлено при взаимозаменяемости их в подставках (трегерах) или при наличии специального комплекта оборудования.

На рис. 12 представлен сигнал со съемной стандартной теодолитной подставкой. Стойка сигнала снабжена двумя цилиндрическими уровнями для приведения вертикальной оси в отвесное положение. Если извлечь сигнал из подставки 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 инструмента.

Для прокладки теодолитного хода между группами постоянных маркшейдерских пунктов I—III и IV—VI (рис. 13) в пунктах I, III центрируют с помощью оптического отвеса (или теодолита) подставки I, а в пункте II — теодолит. Установив в подставки на пунктах I, III сигналы 2, измеряют контрольный угол I—II—

РИС. 12. Сигнал

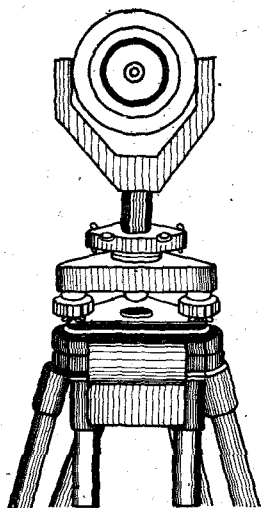
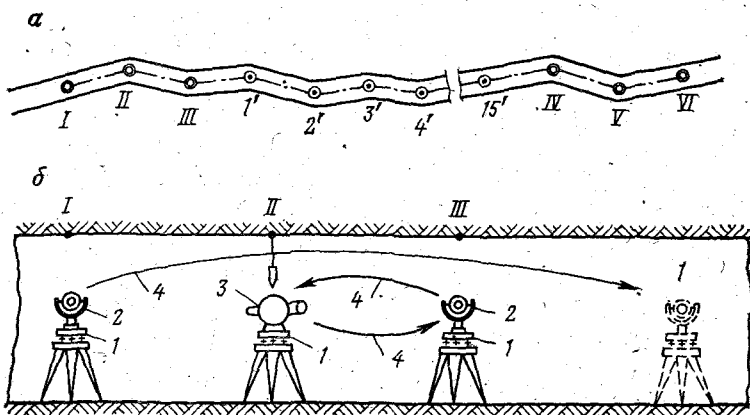


РИС. 13. Схема теодолитного хода (а) и перестановки приборов (б) при автоматическом центрировании теодолита и сигналов:

1 — подставки; 2 — сигнал; 3 — теодолит;
4 — направление перестановки приборов



III. Затем меняют взаимно теодолит и передний сигнал в подставках (достигается автоматическое центрирование), а задний сигнал со штативом переставляют в незакрепленный знаком пункт I'. Приводят по уровням сигнал в пункте I' в рабочее положение и измеряют угол II—III—I', а также длину стороны III—I' (до центра повернутого вокруг горизонтальной оси сигнала).

Так, меняя взаимно в подставках сигналы и теодолит и переставляя задний сигнал со штативом на следующий пункт, прокла-

дывают ход до постоянных пунктов IV—V—VI. При этом на пунктах IV—V—VI производится центрирование подставок с помощью оптического отвеса или теодолита.

Изложенный порядок работы характеризуется тем, что взаимозаменяемость теодолита и сигналов осуществляется без центрирования, т. е. автоматически; кроме того, не закрепляются вершины I'—15' хода и в съемке участвуют три штатива. Поэтому такую съемку называют съемкой с потерянными точками или съемкой по трехштативной схеме.

Аналогичным образом достигается автоматическое центрирование в инструментах со специальным комплектом. Примером такого инструмента может служить тридцатисекундный теодолит МГТ30 с металлическим лимбом (рис. 14). Он имеет съемную внецентренную трубу, взрывобезопасное освещение, встроенный в горизонтальную ось трубы оптический отвес для центрирования под и над точкой, а также комплект сигналов, подставок, консолей для автоматического центрирования (рис. 15). Консоли снабжены целиками для измерения длин. На целики навинчиваются подставки, в центре которых имеются центрировочные чашки. При установке на подставке теодолита или сигнала шаровые пяты их плотно входят в центрировочную чашку. Этим и достигается автоматическое центрирование при взаимной замене сигнала и теодолита.

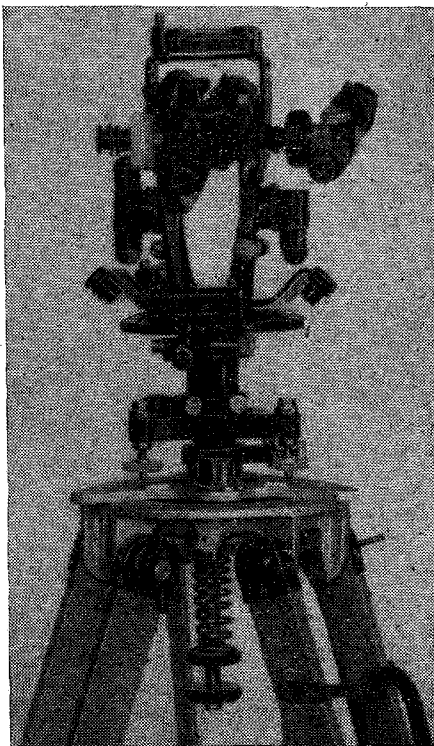


РИС. 14. Теодолит МГТ30

Сопоставляя три рассмотренных способа центрирования теодолита и сигнала, следует отдать предпочтение автоматическому центрированию, как наиболее точному и производительному.

Центрирование отвесом весьма просто, но возможно лишь в невысоких выработках с небольшой скоростью движения воздуха. При скоростях потока воздуха больше 2—2,5 м/с применение отвеса затруднительно. В этом случае следует применять оптическое центрирование теодолита.

Погрешность измерения горизонтального угла из-за неточности центрирования теодолита отвесом может быть несколько уменьшена при многократном его выполнении. В этом случае после окончания одного повторения или приема измерения угла теодолит смещают, а затем вновь центрируют и повторяют измерение угла.

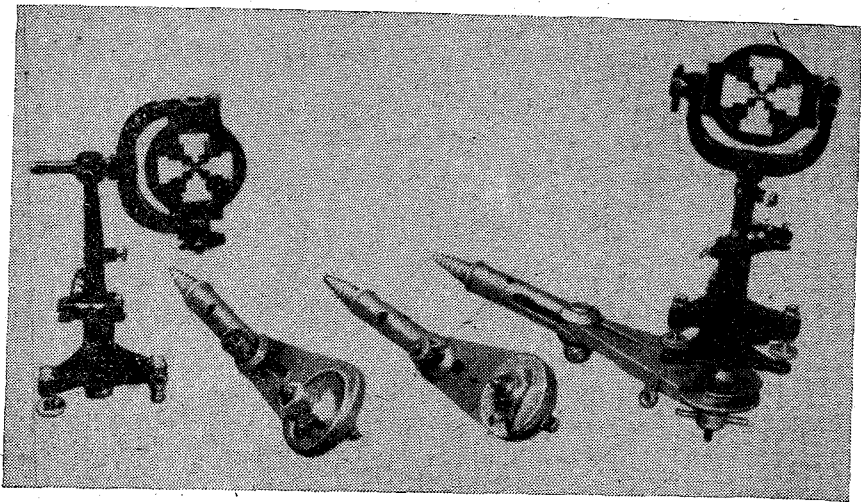


РИС. 15. Комплект сигналов, консолей и подставок к теодолиту МГТЭО

По результатам многократных исследований точности центрирования теодолита различными способами можно указать примерные значения линейных погрешностей.

Однократное центрирование отвесом	1,2—1,5 мм
Оптическое центрирование	0,8—1 мм
Автоматическое центрирование	0,5—0,8 мм

Методику и точность центрирования теодолита и сигналов (шнуров отвесов) выбирают с учетом требуемой точности съемки, внешних условий (скорости воздушной струи, высоты выработки) и длин сторон.

В подземных опорных сетях необходимо производить однократное центрирование теодолита при длине сторон более 20 м, двукратное центрирование — при длине сторон от 10 до 20 м и автоматическое центрирование — при длине сторон от 5 до 10 м.

При применении шнуровых отвесов должны применяться меры по ограждению их от влияния воздушной струи.

§ 12. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА ТЕОДОЛИТОМ С ЦЕНТРЕННОЙ ТРУБОЙ

При подземной теодолитной съемке измеряются левые по ходу горизонтальные углы. Необходимая точность измерения углов и отсчетных приспособлений инструмента зависят от типа сети (см. § 7).

В качестве сигналов используются, как правило, шнуровые отвесы, подвешиваемые к центрам знаков. При визировании зрительную трубу теодолита наводят на освещаемый отвес, добиваясь совмещения биссектора сетки нитей со шнуром отвеса.

В ходах, прокладываемых по выработкам с углом наклона менее 30° , углы измеряют одним полным повторением.

При измерении угла способом повторений должен соблюдаться следующий порядок действий:

1) устанавливают нуль алидады на отсчет, близкий 0° , и вращая лимб, визируют на задний сигнал, берут отсчет a_1 ;

2) вращая алидаду по ходу часовой стрелки, визируют на передний сигнал и берут контрольный отсчет a_2 ;

3) переводят трубу через зенит, открепляют лимб, и, вращая его вместе с алидадой, визируют на задний сигнал, отсчета не берут;

4) открепив алидаду, и вращая ее против хода часовой стрелки, визируют на передний сигнал и берут отсчет a_3 .

Значение левого по ходу горизонтального угла вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{a_3 - a_1}{2}. \quad (1.2)$$

Кроме того, для контроля вычисляют

$$\beta_K = a_2 - a_1.$$

При измерении углов опорных сетей в горизонтальных выработках разность $\beta - \beta_K$ должна быть менее $45''$, а в том случае, если одна из сторон измеряемого угла горизонтальна, а другая — наклонна, эта разность должна быть менее $90''$. В теодолитных ходах съемочной сети указанные разности не должны соответственно превышать величин: для 1 разряда — $60''$ и $90''$, для 2 разряда — $5'$.

При прокладывании теодолитных ходов повышенной точности возникает необходимость измерения угла не одним, а большим числом повторений. В этом случае так же, как и при одном повторении, берут три отсчета: начальный a_1 , контрольный a_2 и последний a_3 . Значение угла, измеренного n повторениями, вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{K \cdot 360^\circ + a_3 - a_1}{2n}, \quad (1.3)$$

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

При измерении углов в выработках с углом наклона более 30° рекомендуется применять способ приемов (в опорных сетях не менее двух приемов), соблюдая при этом следующий порядок действий в каждом из приемов;

- 1) устанавливают нуль алидады на отсчет, близкий 0°, и, вращая лимб, визируют на задний сигнал, берут отсчет a_1 ;
- 2) вращая алидаду, визируют на передний сигнал и берут отсчет a_2 ;
- 3) переводят зрительную трубу через зенит, открепляют алидаду и визируют на задний сигнал, берут отсчет a_3 ;
- 4) открепляют алидаду, визируют на передний сигнал и берут отсчет a_4 ;

Значение угла, полученного из одного приема, вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{(a_2 - a_1) + (a_4 - a_3)}{2}. \quad (I.4)$$

Второй прием выполняют аналогичным образом, устанавливая начальный отсчет близким к 90°.

При измерении угла n приемами измеренное значение угла определяется как среднее арифметическое из n приемов.

При измерении горизонтальных углов в выработках с углом наклона более 30° должны быть соблюдены следующие дополнительные требования;

- 1) лимб повторительного теодолита на все время измерения должен быть закреплен;
- 2) установка вертикальной оси вращения теодолита в отвесное положение должна осуществляться с помощью накладного уровня;
- 3) вращение алидады теодолита должно всегда производиться только в одну сторону.
- 4) установка вертикальной оси вращения теодолита в отвесное положение должна выполняться независимо перед каждым приемом.

Расхождения значений углов, полученных из отдельных приемов, не должны превышать в опорных сетях следующих величин:

Углы наклона выработки, градус . . .	31—45	46—60	61—70	71—75
Допустимое расхождение между углами отдельных приемов, с	45	60	90	120

§ 13. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА ТЕОДОЛИТОМ С ВНЕЦЕНТРЕННОЙ ТРУБОЙ

Теодолит с внецентренной трубой центрируют обычным образом, т. е. так, чтобы продолжение вертикальной оси вращения теодолита проходило через центр маркшейдерского знака. При этом труба на задний и передний сигналы будет наводиться не из вершины измеряемого угла, а из некоторой другой точки.

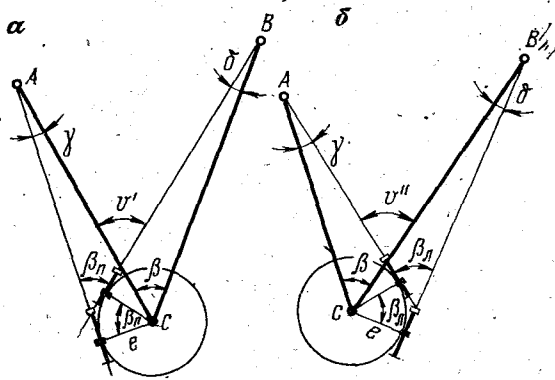


РИС. 16. Измерение горизонтального угла теодолитом с внецентренной зрительной трубой

На рис. 16, а показана схема измерения горизонтального угла при круге справа, из которой имеем:

$$v' = \beta_n + \gamma = \beta + \delta; \quad \beta = \beta_n + \gamma - \delta.$$

Аналогично при круге слева (рис. 16, б) имеем:

$$v'' = \beta_l + \delta = \beta + \gamma; \quad \beta = \beta_l + \delta - \gamma.$$

Отсюда

$$\beta = \frac{\beta_n + \beta_l}{2}. \quad (1.5)$$

Таким образом, среднее значение угла β , вычисленное по формуле (1.5), будет свободно от погрешности из-за внецентренности трубы.

При измерении угла теодолитом с внецентренной трубой в общем случае $\beta_n \neq \beta_l$, т. е. отсутствует внутренний контроль. Поэтому во всех случаях измерение следует вести минимум двумя приемами.

§ 14. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Углы наклона сторон подземного теодолитного хода измеряются для определения длины проекций сторон на горизонтальную плоскость и для тригонометрического определения превышения смежных вершин.

Измерение углов наклона теодолитом с центральной трубой при маркшейдерских съемках ведется так же, как в геодезии, т. е. при двух положениях трубы. При визировании горизонтальный штрих сетки нитей наводят на точку сопряжения шнура с отвесом (рис. 17) или на закрепленную на шнуре метку. У теодолитов без компенсатора вертикального круга перед взятием отсчетов (КЛ и КП) пузырек уровня при алидаде вертикального круга выводится на середину. Если измеряемый угол будет использован для вычисле-

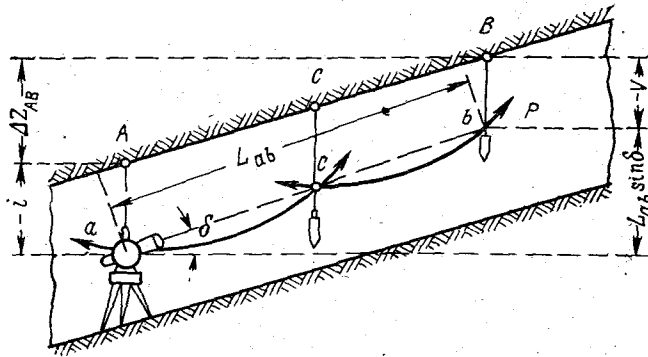


РИС. 17. К измерению вертикального угла, длины наклонной стороны теодолитного хода и к определению превышения между пунктами при тригонометрическом нивелировании

ния превышений, то дополнительно должны быть измерены высота инструмента i и высота сигнала V (см. § 43).

Измеренный вертикальный угол δ (угол наклона линии) и место нуля МО вычисляют по формулам:

$$\delta = \frac{\text{КП} - \text{КЛ} - 180^\circ}{2}; \quad (1.6)$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КП} + \text{КЛ} + 180^\circ}{2}. \quad (1.7)$$

К отсчетам, меньшим 90° , следует прибавлять 360° .

§ 15. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СТОРОН ПОДЗЕМНЫХ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ СТАЛЬНЫМИ РУЛЕТКАМИ

Стальные рулетки являются основным инструментом для измерения длин сторон подземных теодолитных ходов. Они бывают длиной 20, 30 и 50 м. Наилучшими являются 50-метровые рулетки, так как в этом случае значительно ускорится процесс измерения и повышается точность его результатов. Чаще всего стальные рулетки по всей длине имеют только сантиметровые деления, а в пределах первого дециметра — миллиметровые.

В качестве полотна рулетки применяется стальная лента холодной прокатки. Она характеризуется следующими четырьмя константами: плотность $\gamma = 7850 \div 7880 \text{ кг/м}^3$; масса 1 м $q = 0,0024 \div 0,0036 \text{ кг}$; модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^{11} \div 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; коэффициент линейного расширения 0,0000115. Полотно рулетки наматывается на кобурю закрытого типа, на вилку, крестовину или бобину. Удобны рулетки, изготовленные из нержавеющей стали.

[При измерении рулетку натягивают с помощью пружинного динамометра.] Удобны рулетки типа РГД, в которых динамометр вмонтирован в ручку вилки (рис. 18).

Измерение длины сторон теодолитных ходов чаще всего производится рулеткой на весу. В опорных сетях и съемочных сетях 1 разряда разрешается применять только стальные компарированные рулетки длиной 20, 30 или 50 м. Под компарированием понимают определение истинной длины рулетки (сличение с нормальной мерой) на специальном приборе — компараторе (см. § 16).

Пусть требуется измерить в наклонной выработке сторону хода AB (см. рис. 17), длина которой больше длины рулетки. Для измерения стороны необходимо разбить на интервалы, несколько меньшие длины рулетки. Пусть в нашем примере достаточно двух интервалов.

Установив в точке A теодолит, измеряют вертикальный угол δ , а затем по линии визирования ab примерно в середине закрепляют промежуточный отвес в точке C , на шнуре которого по визирному лучу теодолита делают подвижным узлом метку s .

При длине отрезков ac и cb более 20 м метку s достаточно устанавливать по линии визирования с точностью ± 10 см в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При меньших длинах интервалов требуется более высокая точность.

Аналогично производится подготовка к измерению сторон в горизонтальных выработках. При этом опытные маркшейдеры промежуточные отвесы выставляют визуальным провешиванием, а измерение интервалов производят без закрепления меток на шнурах отвесов.

Для измерения длины интервала рулетку, поддерживаемую у концов, прикладывают (без касаний) к меткам на шнурах отвесов; в точке A рулетку прикладывают к горизонтальной оси вращения трубы теодолита, а в точке B — к точке визирования при измерении угла наклона. Рулетке придают натяжение с силой 98 Н (10 кгс), для чего к одному ее концу прикрепляют динамо-

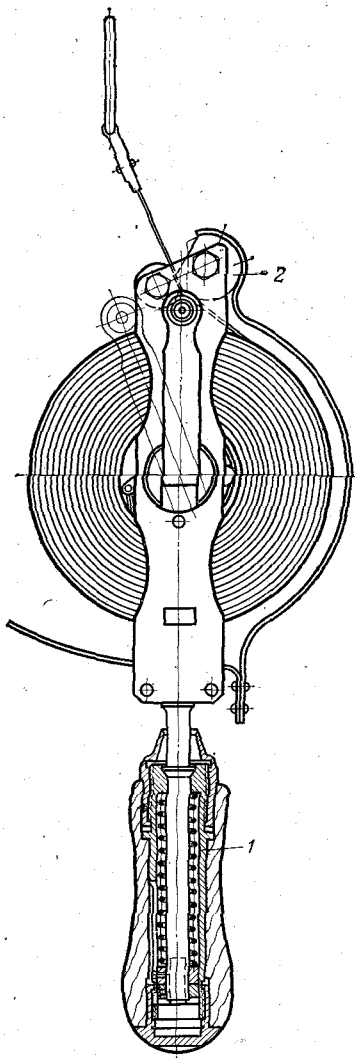


РИС. 18. Рулетка РГД:
1 — динамометр, вмонтированный в ручку вилки; 2 — эксцентриковый зажим

метр. Отсчеты по рулетке берут одновременно против шнура отвеса и горизонтальной оси вращения трубы. Ввиду того что у большинства стальных рулеток первый дециметр разделен на миллиметры, а вся остальная часть — на сантиметры, отсчеты с точностью до 1 мм берут только по начальному концу рулетки; по второму концу добиваются совмещения шнура отвеса с сантиметровым делением рулетки. Отсчеты по рулетке берут два-три раза, между отсчетами рулетку смещают вдоль измеряемой стороны.

Длину каждой стороны подземных теодолитных ходов измеряют два раза: в прямом и обратном направлениях. Рекомендуется при обратном измерении заново выставить промежуточную точку *C*, сместив ее против первого положения на 2—3 м. Такой прием предупреждает грубый промах в отсчете по рулетке, возможный в трудных условиях подземной съемки. Разность результатов двух измерений одной и той же стороны теодолитного хода опорной сети не должна превышать 1 : 30 00 ее длины, а в ходах съемочных сетей I разряда — 1 : 1000 длины.

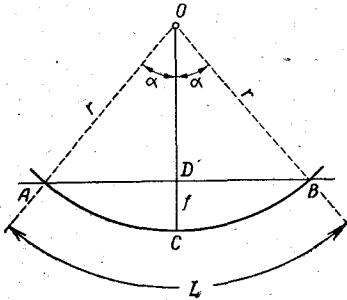


РИС. 19. К определению поправки за провес рулетки

При измерении длин в опорных сетях измеряют и учитывают температуру воздуха с точностью $\pm 1^\circ$. Температура воздуха может не учитываться, если она отличается от температуры компарирования не более чем на $\pm 5^\circ$.

Поправки к измеренным длинам. При измерении рулеткой на весу неизбежен ее провес, в связи с чем в результате измерений необходимо ввести поправку.

Ограничим себя предположением, что линия провеса *ACB* есть дуга окружности радиуса *r* с центром в точке *O* (рис. 19). Отрезок *f* называется стрелой провеса. Очевидно, что поправка за провес всегда отрицательна, так как дуга всегда больше хорды.

Из рис. 19 видим, что

$$f = OC - OD = r - r \cos \alpha = r (1 - \cos \alpha).$$

По малости угла α

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

Тогда

$$f = \frac{r\alpha^2}{2}.$$

Кроме того,

$$L = 2r\alpha; \quad AB = 2r \sin \alpha.$$

Тогда поправка за провес будет равна

$$\Delta L = L - AB = 2r (\alpha - \sin \alpha).$$

Разложив $\sin \alpha$ в ряд и ограничившись двумя первыми членами, получим

$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{6},$$

следовательно,

$$\Delta L = 2r \left(\alpha - \alpha + \frac{\alpha^3}{6} \right) = \frac{r\alpha^3}{3};$$

или

$$\Delta L = \frac{r^2 \alpha^4}{3r\alpha} = \frac{4f^2}{3r\alpha} = \frac{4f^2}{3} \frac{L}{2}.$$

Окончательно имеем:

$$\Delta L = \frac{8f^2}{3L}. \quad (I.8)$$

Однако из теоретической механики известно, что

$$f = \frac{qL^2}{8P},$$

где q — масса 1 м рулетки; P — натяжение рулетки. Тогда

$$\Delta L = \frac{8}{3L} \frac{q^2 L^4}{64P^2} = \frac{q^2 L^3}{24P^2}. \quad (I.9)$$

Пользуясь формулой (I.9), составляем выражение искомой поправки для двух случаев.

1. В измерении участвует вся рулетка длиной L_0 . Тогда

$$\Delta L_0 = \frac{q^2 L_0^3}{24P^2}.$$

2. В измерении участвует L — часть той же рулетки при прежнем натяжении. Тогда

$$\Delta L = \frac{q^2 L^3}{24P^2}; \quad \Delta L : \Delta L_0 = \frac{q^2 L^3}{24P^2} : \frac{q^2 L_0^3}{24P^2}.$$

Окончательно получим

$$\Delta L = \Delta L_0 \frac{L^3}{L_0^3}. \quad (I.10)$$

Формулой (I.10) устанавливается, что поправка за провес изменяется прямо пропорционально кубу расстояния, измеряемого рулеткой.

Практически поправку за провес рулетки определяют следующим образом. Опытным путем на земной поверхности при натяжении, с которым измеряют расстояния в шахте, находят f — стрелу провеса для всей рулетки и по формуле (I.8) вычисляют поправку на всю длину рулетки. Затем по формуле (I.10) опре-

деляют поправку за провес для каждого интервала стороны полигона.

Кроме рассмотренной поправки за провес рулетки, в результате измерений вводятся еще поправки за компарирование рулетки и температуру измерений. Первая определяется из результатов компарирования рулетки, вторая вычисляется по формуле

$$\Delta L_t = 0,0000115L(t - t_0), \quad (I.11)$$

где L — измеренная длина; t , t_0 — температура воздуха соответственно при измерении и компарировании рулетки.

По исправленной (за провес, компарирование и температуру) длине наклонной стороны и углу ее наклона δ вычисляют горизонтальную проекцию

$$l = L \cos \delta. \quad (I.12)$$

В горизонтальные проекции длин сторон подземных теодолитных ходов опорной сети должны быть введены дополнительные поправки за приведение их к уровню моря (средней уровенной поверхности) и на плоскость проекции Гаусса.

Поправка за приведение длин к уровню моря определяется по формуле

$$\Delta l_1 = -\frac{H}{R} l, \quad (I.13)$$

где H — абсолютная отметка измеренной стороны полигона над уровнем Балтийского моря; R — радиус Земли.

Поправка за приведение длин сторон на плоскость принятой проекции Гаусса с точностью, достаточной для маркшейдерских съемок, может быть определена по формуле (вывод дается в курсе высшей геодезии)

$$\Delta l_2 = \frac{Y^2}{2R^2} l, \quad (I.14)$$

где Y — ордината средней точки данной стороны хода; l — длина горизонтальной проекции стороны, приведенная к уровню моря.

Поправки Δl_1 и Δl_2 вводят в том случае, если их сумма превышает 1 : 15 000 длины измеренной линии.

§ 16. КОМПАРИРОВАНИЕ РУЛЕТОК

Рулетки, предназначенные для измерения длины сторон опорных сетей и съемочных сетей I разряда, должны быть прокомпарированы с относительной погрешностью не более 1 : 20 000. В каждом объединении горных предприятий должен быть простейший компаратор.

В маркшейдерской практике известно несколько видов компараторов: проф. Ф. Ф. Павлова, стенной, комнатный, полевой.

Рассмотрим лишь первые два вида, как наиболее удобные и распространенные.

Компаратор проф. Ф. Ф. Павлова (рис. 20) позволяет компарировать каждый метровый интервал стальной рулетки путем непосредственного сличения его с нормальным метром, уложенным на прочном столе.

Концы компарируемой рулетки соединяют между собой зажимом. Рулетка, образующая бесконечную ленту 5, проходит

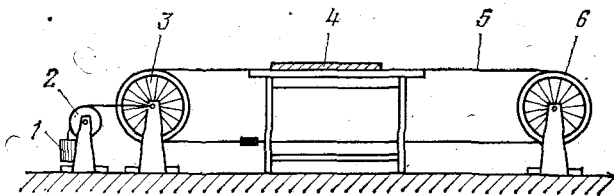


РИС. 20. Компаратор проф. Ф. Ф. Павлова

через два колеса: одно из них 6 закреплено неподвижно, а другое 3 — подвижное натягивается с необходимым усилием грузом 1, перекинутым через натяжной блок 2. Следует иметь в виду, что для придания компарируемой рулетке натяжения в 98 Н (10 кгс) подвижное колесо должно натягиваться грузом массой в 20 кг.

Рулетку, натянутую через два колеса, укладывают на стол рядом с нормальным метром 4, по которому берут несколько пар

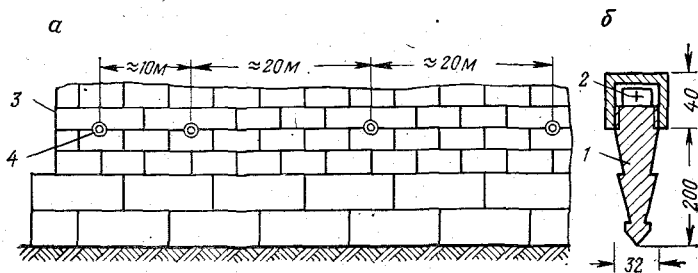


РИС. 21. Стенной компаратор:

а — схема расположения центров; б — конструкция центра; 1 — стальной стержень; 2 — центр знака; 3 — кирпичная стена; 4 — центры компаратора в кирпичной стене

отсчетов против левого (или правого) края двух смежных метровых ее делений. После сличения одного метрового интервала рулетку передвигают и весь процесс повторяется для смежного интервала. Общую длину рулетки находят как сумму длин ее отдельных интервалов.

Стенной компаратор (рис. 21) состоит из четырех знаков, забетонированных на одном уровне в кирпичной стене здания или в бетонной стенке 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 ин-

варной лентой с погрешностью не более 1 : 50 000. Компаратор позволяет эталонировать рулетки длиной 10, 20, 30 и 50 м.

При компарировании измеряют многократно (10 раз) рулеткой на весу с натяжением 98 Н (10 кгс) расстояние между соответствующими центрами компаратора. Фиксируют температуру и определяют стрелу провеса рулетки. В среднее значение измеренного рулеткой расстояния вводят поправку за провес. Затем вычисляют поправку за компарирование ΔL_k на всю длину рулетки

$$\Delta L_k = L_6 - L, \quad (I.15)$$

где L_6 , L — истинная и измеренная рулеткой длина базиса компаратора.

В измеренные длины сторон полигона поправка за компарирование ΔL_k вводится пропорционально длине отрезка рулетки, участвующего в измерении.

Сопоставляя два типа компараторов, необходимо отметить, что в первом из них эталонирование производится отдельно каждого метрового деления, во втором — эталонируется только вся длина рулетки, и, следовательно, не учитывается возможное неравенство метровых интервалов в различных частях рулетки.

§ 17. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СТОРОН ПОДЗЕМНЫХ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ ОПТИЧЕСКИМИ ДАЛЬНОМЕРАМИ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В съемочных сетях 1 и 2 разрядов длины сторон разрешается измерять оптическими дальномерами двойного изображения, которые в большинстве случаев представляют собой теодолит с дальномерной насадкой.

Измерение расстояний S основано на решении параллактического треугольника AOB (рис. 22), образуемого базисом AB и

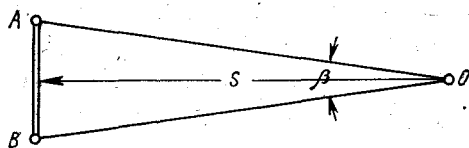


РИС. 22. Параллактический треугольник

лучами параллактического угла β оптической системы инструмента.

В параллактическом треугольнике измеряют либо базис AB при постоянном, заранее известном угле β , либо параллактический угол

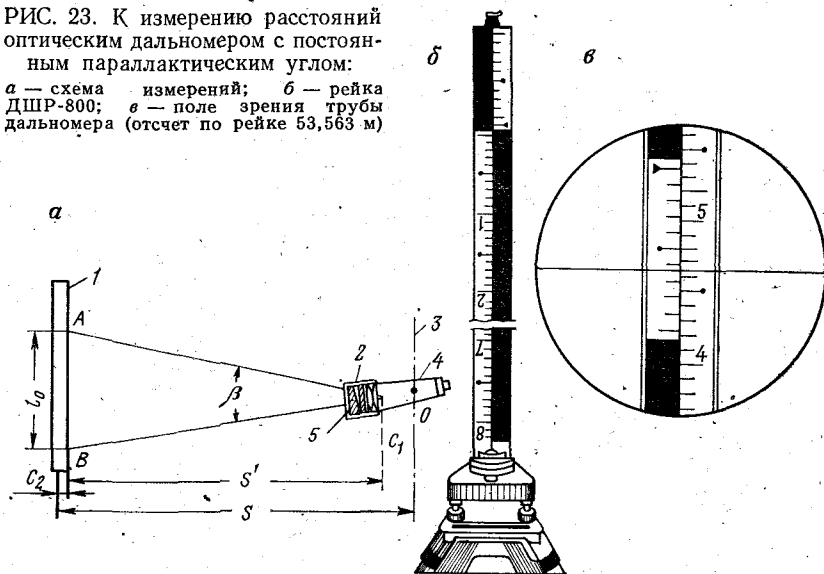
β при постоянном, заранее известном базисе AB . В соответствии с этим различают дальномеры с постоянным параллактическим углом и дальномеры с постоянным базисом.

Принцип работы дальномера с постоянным параллактическим углом представлен на рис. 23, а. Насадка 2 имеет два оптических клина 5, которые перекрывают половину объектива зрительной трубы 4 и отклоняют проходящие через них лучи на некоторый постоянный угол (вместо клиньев для создания постоянного

параллактического угла могут применяться также децентрированные полулинзы). При наведении зрительной трубы на рейку 1, установленную на втором конце линии, визирная ось, проходящая через свободную (не перекрытую клиньями) часть объектива, пересечет ее в точке В, а визирная ось, проходящая через клинья, — в точке А. В окуляр же зрительной трубы мы будем видеть точки А и В совмещенными между собой. Если измерить по рейке расстояние между совмещенными насадкой точками А

РИС. 23. К измерению расстояний оптическим дальномером с постоянным параллактическим углом:

а — схема измерений; б — рейка ДШР-800; в — поле зрения трубы дальномера (отсчет по рейке 53,563 м)



и В, то, очевидно, расстояние S от вертикальной оси инструмента 3 до оси рейки может быть определено из выражения

$$S = S' + C = l_0 \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = l_0 K C, \quad (I.16)$$

где K — коэффициент дальномера; $C = C_1 + C_2$ — постоянное слагаемое, равное суммарному расстоянию от вершины параллактического угла до вертикальной оси инструмента и от плоскости шкалы рейки до оси рейки.

Расстояние l_0 между совмещенными насадкой точками рейки определяется с помощью отсчета по специальной шкале рейки (рис. 23, б). Точность отсчета повышается с помощью шкалы нониуса и оптического микрометра, принцип действия которого основан на незначительной разности увеличений изображения через перекрытую (клиньями) и непокрытую части объектива.

При измерении линии на ее концах устанавливают дальномер (теодолит с насадкой) и рейку. Наводят горизонтальную нить сетки зрительной трубы теодолита на середину нониуса рейки и,

плавню вращая наводящий винт вертикального круга, добиваются точного совмещения одного из штрихов нониуса с любым штрихом основной шкалы рейки; при этом горизонтальная нить не должна выйти на пределы нониуса. В этом положении по рейке берут отсчет (рис. 23, в), состоящий из чисел: 1) числа целых делений основной шкалы до нулевого штриха нониуса; 2) номера совмещенного штриха нониуса; 3) числа целых интервалов нониуса и десятых долей их от нулевого штриха до горизонтальной нити сетки нитей.

Коэффициент дальномера K обычно равен 100, а постоянное слагаемое C зависит от параметров зрительной трубы и располо-

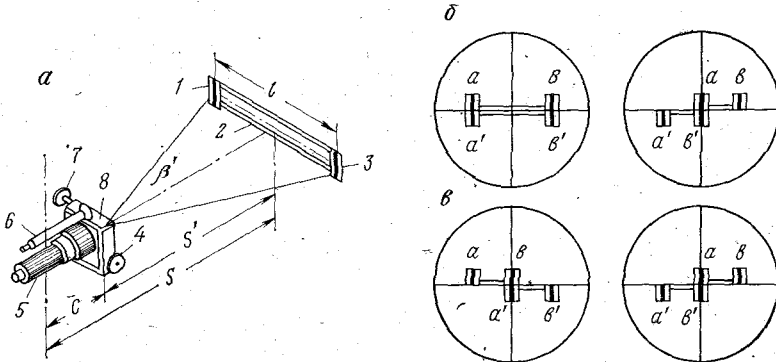


РИС. 24. К измерению расстояний оптическим дальномером с постоянным базисом:

a — схема измерений; b — совмещение марок при измерении одинарного параллактического угла; $в$ — совмещение марок при измерении двойного параллактического угла

жения нониуса относительно нуля основной шкалы рейки. В ряде комплектов $C = 0$. Тогда длина линии равна отсчету по рейке.

Принцип работы дальномеров с постоянным базисом основан на высокоточном измерении переменного параллактического угла (рис. 24, а) между двумя марками 1, 3 базиса 2.

При небольшой величине угла β расстояние S равно

$$S = S' + C = \frac{l\rho''}{\beta''} + C,$$

где l — длина базиса (расстояние между марками); C — расстояние от вершины параллактического угла до оси вращения инструмента; $\rho = 206\,265''$.

Поскольку параллактический угол в дальномерам измеряют в делениях линейной шкалы насадки, то в формулу необходимо ввести коэффициент K_1 , учитывающий масштаб шкалы. Тогда

$$S = \frac{l\rho''}{\beta} K_1 + C = \frac{K}{\beta} + C, \quad (I.17)$$

где β — параллактический угол в делениях шкалы насадки; $K = IK_{10}''$ — коэффициент дальномера (определяется многократным измерением заранее известного расстояния).

Параллактический угол измеряют с помощью линзового компенсатора насадки, оптическая система которого состоит из разрезанных по диаметру положительного и отрицательного длиннофокусных менисков (линз). Верхняя половина положительного мениска и нижняя половина отрицательного мениска укреплены в общей каретке и образуют измерительный компонент компенсатора. Два других полумениска укреплены во второй каретке и образуют установочный компонент.

При установке насадки 8 на зрительную трубу теодолита 5 компенсатор располагается перед объективом трубы и обладает тем свойством, что при совпадении оптических осей полуменисков с осью объектива визирная ось проходит без искажений и в окуляр трубы видны нераздвоенные изображения марок 1, 3 базиса. При перемещении ручкой 4 или 7 (рис. 24, а) одного из компонентов вдоль линии разреза менисков происходит (вследствие отклонения лучей) раздвоение изображений марок со смещением их в противоположные стороны. При этом величина параллактического угла пропорциональна величине перемещения компонента. На этом и основан принцип высокоточного измерения параллактических углов.

При измерении одинарного параллактического угла ручкой 4 устанавливают на шкале дальномерной насадки начальный отсчет, близкий нулю, а затем, действуя ручкой 7 измерительного компонента, последовательно добиваются совмещения изображений одноименных и разноименных марок (рис. 24, б). При совмещении одноименных марок в микроскоп 6 насадки берут по линейной шкале насадки отсчет n_1 , а при совмещении разноименных марок — отсчет n_2 . Одинарный параллактический угол в делениях шкалы равен

$$\beta = n_2 - n_1. \quad (I.18)$$

При измерении двойного параллактического угла ручкой 4 устанавливают начальный отсчет, а затем, вращая ручку 7 в противоположные от начального положения стороны, дважды совмещают разноименные марки (рис. 24, в) и берут отсчеты n_1 и n_2 . Двойной параллактический угол также равен разности отсчетов.

Двойной параллактический угол обеспечивает более высокую точность, но не может быть измерен при небольших для соответствующего базиса расстояниях.

Нами рассмотрены лишь общие принципы измерения расстояний оптическими дальномерами. Конкретная методика излагается в описаниях соответствующих приборов.

Выпускаемые в настоящее время дальномеры (ОТД; ДН-10; ВР006; Д1М; ТВ и др.) предназначены для применения на земной поверхности.

Для подземных съёмочных сетей I разряда наиболее перспективными являются разработанные ВНИМИ комплекты ПД-3 (ТТ-8) и ПД-8.

§ 18. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СТОРОН
ПОДЗЕМНЫХ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ
МАРКШЕЙДЕРСКИМИ СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ

Светодалномеры предназначены для высокоточного измерения длин линий при геодезических и маркшейдерских работах. Измерение расстояний сводится к определению времени, необходимого световому лучу на прохождение от излучателя к отражателю и обратно.

По характеру излучения светодалномеры делятся на импульсные (прерывистое излучение) и фазовые (непрерывное излучение). К настоящему времени распространение получили лишь фазовые дальномеры.

Большинство светодалномеров предназначено для измерения сравнительно больших расстояний (от сотен метров до десятков километров) и пригодно к работе на земной поверхности. Лишь маркшейдерские светодалномеры МСД изготавливаются во взрывобезопасном исполнении и предназначены для измерения расстояний небольшой длины (от 1 до 500 м) в горных выработках и на земной поверхности.

Приоритет в изготовлении маркшейдерских светодалномеров принадлежит Советскому Союзу. Первые образцы светодалномеров МСД разработаны и изготовлены в конце 60-х годов текущего столетия во ВНИМИ. В настоящее время ведутся разработки инструментов, позволяющих вести угловые и линейные измерения (например, светодалномер СГИ), что весьма важно для маркшейдерских работ. Однако они серийно еще не выпускаются.

Подробно с конструкцией и принципами работы различных светодалномеров студенты знакомятся в курсе «Радио — и светодалномеры». Здесь лишь кратко рассмотрим принцип работы и методику измерения длины линий маркшейдерским светодалномером МСД-1М.

Измерение расстояний основано на высокой степени постоянства скорости распространения света в воздушной среде.

Если на концах линии установить приемопередатчик и отражатель, а затем направить световой сигнал из передатчика на отражатель и принять отраженный сигнал приемником, то длина линии может быть определена из выражения

$$S = \frac{1}{2}ct, \quad (I.19)$$

где c — скорость распространения света в атмосфере; t — отрезок времени между излучением светового сигнала и приемом отраженного сигнала.

Непосредственно измерить отрезок времени τ с требуемой точностью весьма затруднительно. Поэтому в фазовых светодальномерах время определяется косвенным методом. Маркшейдерский светодальномер МСД-1М (рис. 25) представляет собой прибор фазового типа с полупроводниковым источником инфракрасного излучения, модулируемого тремя фиксированными частотами. Прибор изготавливается во взрывобезопасном исполнении и предназначен для измерения линий длиной до 500 м в горных

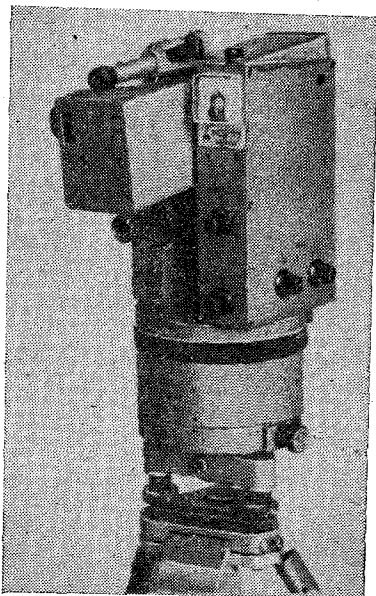


РИС. 25. Светодальномер МСД-1М

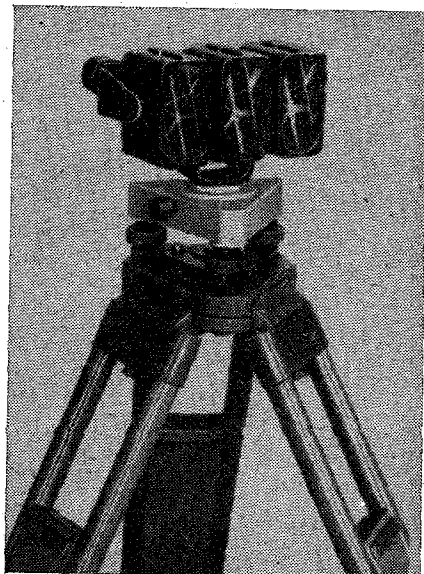


РИС. 26. Отражатели к светодальномеру МСД-1М

выработках и на земной поверхности со средней квадратической погрешностью $\pm(2 \pm 5 \cdot 10^{-6}S)$, мм, где S — измеряемое расстояние, мм.

В комплект прибора входят: светодальномер (приемопередатчик), подставки, оптические центриры, отражатели (рис. 26), блок аккумуляторов, зарядное устройство и два штатива. Масса светодальномера с подставкой равна 11 кг.

Измерение длины линии светодальномером МСД-1М. На концах измеряемой линии центрируют светодальномер (см. рис. 25) и отражатель (см. рис. 26), ориентируя их друг на друга. Процесс измерения длины линии состоит из двух полуприемов на каждой частоте.

Определение измеренного значения длины линии по результатам измерений на трех частотах (соответственно с отсчетами L_1 , L_2 , L_3 — по шкале прибора) заключается в следующем:

1. По результатам измерения на первой и третьей частотах грубо определяют число целых метров

$$S_1 = \frac{L_1 - L_3}{2}. \quad (I.20)$$

Результат округляют (в меньшую сторону) до целого кратного 20 м.

2. По результатам измерения на второй и третьей частотах определяют точное число метров сверх округленного в пункте 1

$$S_2 = 0,02(L_3 - L_2) + 0,001L_2. \quad (I.21)$$

Результат округляют (в меньшую сторону) до целых метров.

3. Вычисляют полное значение измеренного расстояния

$$S = S_1 + S_2 + L_3, \quad (I.22)$$

где S_1 и S_2 — округленные в пунктах 1, 2 значения соответствующих величин.

В измеренную длину вводят поправки: K — постоянная прибора; Δt — за отклонение температуры измерения от 20° ; ΔP — за отклонение атмосферного давления при измерениях от 0,101 МПа.

Значение постоянной K может быть определено методом двойного измерения неизвестного расстояния. Для этого строго по одной прямой линии (примерно горизонтальной) устанавливают на штативах три подставки (трегеры) и, устанавливая в подставки светодальномер и отражатель, четырьмя приемами измеряют интервалы между первой и второй подставками, второй и третьей подставками, а также всю линию между первой и третьей подставками. Тогда

$$K = S_{13} - S_{12} - S_{23}, \quad (I.23)$$

где S_{13} , S_{12} , S_{23} — измеренные, приведенные к горизонту длины всей линии и ее интервалов (без введения постоянной K).

§ 19. СЪЕМКА КОНТУРА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ВЕДЕНИЕ ЖУРНАЛА ПОДЗЕМНОЙ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Съемка контуров горных выработок заключается в определении положения стенок выработки относительно сторон теодолитного хода и производится, как правило, способом ординат.

По створу стороны хода растягивают рулетку и измеряют в характерных местах расстояния (ординаты) от стороны хода до левой и правой стенок выработки. Одновременно по растянутой рулетке фиксируют расстояния (абсциссы) от оснований ординат до младшей вершины теодолитного хода. Число измерений зависит от сложности конфигурации выработки и масштаба съемки. На прямолинейных участках можно ограничиться измерением ординат только в вершинах хода.

Результаты измерений проставляют на эскизной зарисовке контуров выработки, называемой абрисом (рис. 27). Ординаты проставляют с округлением до 0,05 м, а расстояния до младшего пункта хода — с округлением до 0,1 м. На абрисе проставляют также другие характерные параметры: размеры камер, ширину выработки на сопряжениях и т. п.

Абрис составляют, как правило, для каждой стороны хода в отдельности. Все зарисовки выполняют от руки в журнале теодолитной съемки или в специальных абрисных книжках.

Кроме контуров выработок, съемке подлежат геологические нарушения, места взятия проб, границы выклинивания залежи и прочие подробности, имеющие значение для правильной эксплуатации месторождения.

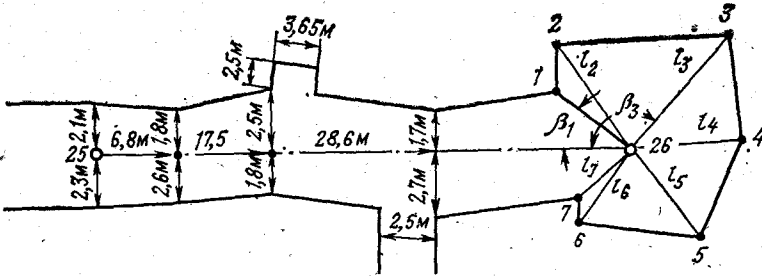


РИС. 27. Абрис и схема измерений при съемке контуров выработки способом ординат и полярным способом

При детальной съемке контуров выработок сложной конфигурации применяют полярный способ.

Для съемки характерных точек 1—7 (рис. 27) в точке 26 центрируют теодолит, и, установив начальный отсчет равным нулю, визируют лимбом на точку 25. Затем визируют алидадой (при неподвижном лимбе) последовательно на точки 1, 2, ..., 7 и берут отсчеты β_i . Одновременно рулеткой измеряют расстояния l_i от теодолита до названных точек. Измеренные направления и расстояния записывают в полевом журнале с обязательным указанием расположения точек на абрисе.

В заключение полевых работ при подземной теодолитной съемке остановимся кратко на полевом журнале. В него записывают результаты измерений углов, длин сторон, съемки контуров горных выработок. Это важнейший первичный технический и юридический документ, служащий основой для составления маркшейдерских планов горных выработок. Поэтому журнал подземной теодолитной съемки должен вестись весьма тщательно и аккуратно. Необходимо заполнять все графы журнала, определяющие место, условия и дату съемки, инструмент и лицо, выполнявшие съемку. В случае погрешности в измерениях неверные результаты нужно зачеркивать, а не стирать резинкой.

Несмотря на трудные условия подземной съемки, необходимо обеспечить чистоту каждой страницы журнала, оберегать его в шахте от действия воды и загрязнения.

Форма журнала должна быть простой, удобной и соответствовать применяемым инструментам и методике измерений.

§ 20. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

Перед вычислением координат пунктов теодолитного хода необходимо тщательно проверить журнал измерений с повторным вычислением измеренных углов, длин и их средних значений. Далее следует произвести в специальном журнале обработку длин с введением поправок, рассмотренных в § 15. После этого измеренные углы и горизонтальные длины сторон выписывают в специальный журнал, где и производят вычисление координат.

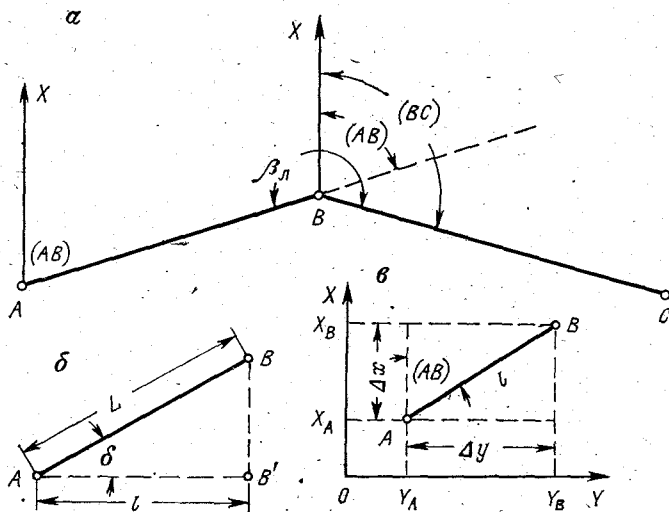


РИС. 28. К вычислению дирекционных углов (а), горизонтальных проложений сторон (б) и координат пунктов полигонометрического хода (в)

Вычисление прямоугольных координат пунктов в подземных теодолитных ходах (рис. 28) ведут по формулам, известным из геодезии, а именно:

$$(BC) = (AB) + \beta_n \pm 180^\circ; \quad (1.24)$$

$$l = L \cos \delta; \quad (1.25)$$

$$\Delta y = l \sin (AB); \quad \Delta x = l \cos (AB); \quad (1.26)$$

$$Y_B = Y_A + \Delta y; \quad X_B = X_A + \Delta x. \quad (1.27)$$

Для проверки вычислений приращений координат рекомендуется пользоваться контрольными формулами

$$\Delta y = \Delta x \operatorname{ctg}(AB)$$

или

$$\Delta x = \Delta y \operatorname{tg}(AB). \quad (I.28)$$

Перед вычислением приращений координат вычисляют фактическую угловую невязку. Она не должна превышать допустимую, определяемую по приведенным ниже формулам.

1. Для свободных замкнутых полигонов и полигонов, проложенных между двумя жесткими сторонами,

$$f_{\beta} = 2m_{\beta} \sqrt{n}. \quad (I.29)$$

2. Для свободных висячих полигонов, пройденных дважды,

$$f_{\beta} = 2m_{\beta} \sqrt{n_1 + n_2}. \quad (I.30)$$

3. Для полигонов, проложенных между двумя сторонами, дирекционные углы которых определены гирокомпасом,

$$f_{\beta} = 2\sqrt{2m_{\alpha}^2 + nm_{\beta}^2}, \quad (I.31)$$

где m_{β} — погрешность измерения углов в соответствующем виде съемки (см. § 7); n — число углов теодолитного хода; $n_1 + n_2$ — число углов в первом и втором ходах; m_{α} — погрешность гирокопического ориентирования.

Полученная невязка в углах теодолитного хода распределяется поровну на все его углы. В случае, если угловая невязка превышает установленный допуск, углы хода должны быть измерены вновь.

В замкнутых ходах, в ходах, пройденных дважды, и в ходах, пройденных между двумя жесткими пунктами, после определения приращений координат вычисляют линейные невязки f_x , f_y по координатным осям и общую линейную невязку

$$f_l = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (I.32)$$

Относительная невязка хода определяется по формуле

$$f_0 = \frac{f_l}{P}, \quad (I.33)$$

где P — периметр хода.

В опорных маркшейдерских сетях линейные невязки не должны превышать следующих значений:

1. В замкнутых полигонах — 1 : 3000 длины хода. При периметре хода менее 500 м общая линейная невязка f_l не должна превышать 15 см.

2. В дважды пройденных ходах без предварительного уравнивания углов — 1 : 2000 длины первого и второго ходов. При длине ходов менее 500 м общая линейная невязка не должна превышать 20 см.

3. В дважды пройденных ходах, опирающихся в конце на жесткий пункт (отвес), — 1 : 2000 длины хода, но не более 0,8 мм на плане.

4. В вытянутых ходах, разделенных на секции (с гироскопическим ориентированием сторон в секциях) и примыкающих в конце к жесткому пункту (отвесу), — 1 : 2000 длины хода, но не более 0,8 мм на плане.

В съемочных сетях относительные невязки не должны превышать следующих значений:

1. В замкнутых ходах: 1 : 1500 длины хода в сетях 1 разряда и 1 : 500 — в сетях 2 разряда.

2. В ходах, пройденных дважды, или в ходах, пройденных между двумя твердыми сторонами, — 1 : 1000 длины хода в сетях 1 разряда; 1 : 300 — в сетях 2 разряда.

Линейные невязки f_x и f_y распределяются с обратным знаком пропорционально длине каждой стороны. В свободных, дважды пройденных незамкнутых ходах угловые и линейные невязки могут вообще не распределяться. В этом случае уравнивание заключается в получении средних значений дирекционных углов сторон и координат точек.

Последовательность и методика вычислений координат пунктов теодолитного хода известны студенту из курса геодезии. Здесь ограничимся лишь общими указаниями:

1. Вычисления приращений и координат ведут с точностью до третьего знака после запятой, т. е. до миллиметра. Для обеспечения указанной точности натуральные значения тригонометрических функций должны определяться с точностью не ниже пятого знака после запятой.

2. В журнале вычислений координат должны быть указаны: а) подробное наименование горной выработки, в которой производилась съемка, и дата ее выполнения; б) номер и страницы журнала, в котором велись записи измерений элементов данного теодолитного хода.

3. Журнал должен быть снабжен схемой или абрисом горных выработок, в которых производилась съемка.

4. Вычисление координат рекомендуется производить на настольных клавишных электронных вычислительных машинах или на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ). Применение последних особенно эффективно при уравнивании крупных опорных сетей.

При отсутствии электронных вычислительных машин координаты пунктов могут вычисляться логарифмическим способом или с использованием арифмометра и таблиц натуральных значений тригонометрических функций.

§ 21. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМОК

Маркшейдерские съемки (измерения) выполняются бригадой, состоящей из маркшейдеров и горнорабочих маркшейдерского отдела, а также из студентов на учебно-методической или производственной практике. Простейшие виды съемок могут выполняться самостоятельно горнорабочими маркшейдерского отдела.

Подземные съемки связаны с пребыванием и передвижением в среде повышенной опасности. Кроме того, они отличаются особым характером работы: а) стесненные условия и ограничения в выборе мест закрепления пунктов и установки инструментов; б) разнообразие и сложность измерений в некоторых выработках; в) постоянное изменение рабочего места и значительное удаление исполнителей друг от друга; г) работа со сложными высокоточными приборами, что отвлекает внимание от окружающей обстановки. Поэтому безопасные условия работ могут быть обеспечены лишь в том случае, если все занятые на съемке будут строго соблюдать общие правила поведения людей в шахте (руднике) и меры предосторожности, связанные со спецификой выполнения маркшейдерских работ.

С общими правилами поведения людей в шахте студенты знакомятся в курсе «Охрана труда», а также при оформлении на учебную и производственные практики.

К мерам безопасности, связанным со спецификой подземных съемок, следует отнести следующие положения.

1. В отдаленных, редко посещаемых людьми выработках, а также в выработках с повышенной степенью опасности (неудовлетворительное состояние, слабая вентиляция, интенсивный транспорт и т. п.) съемки должны производиться под непосредственным руководством участкового (главного) маркшейдера. В редко посещаемых людьми выработках газовых шахт участковый (главный) маркшейдер должен иметь при себе газоопределитель.

2. В глухих забоях выработок съемка (измерение) может производиться только при работающем вентиляторе частичного проветривания и нормальном состоянии воздушного става. Особую осторожность следует проявлять при отсутствии в забое людей (проходчиков). На газовых шахтах заходить в такой забой и производить измерения разрешается только после измерения содержания метана 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 транспортных операций. Подъемная машина (лебедка) должна быть выключена и заблокирована. О работе в указанных выработках должны быть оповещены лебедчик, рукоятчик и надзор 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 инструментов и измерения следует производить по стороне для прохода людей.

5. При съемках в выработках круглого залегания необходимо особое внимание уделять предотвращению падения кусков породы, инструментов, предметов. Нечаянно задетый кусок угля или породы скатывается вниз с большой скоростью и может травмировать находящихся ниже людей.

6. Маркшейдерские пункты следует закреплять в безопасных местах. Перед закреплением точки надо осмотреть кровлю и убедиться, нет ли зависающих глыб породы и надежна ли крепь выработки. Точки (по возможности) закрепляют в стороне от рельсовых путей и троллейных проводов. Для закрепления точки в высокой выработке необходимо пользоваться лестницей или методами, предотвращающими падение.

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

8. В высоких выработках подвеску отвесов нужно производить с помощью лестницы или методами, предотвращающими падение. При подвеске отвесов следует избегать касаний 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 инструмента. При занятых инструментом габаритах выработки надо заблаговременно останавливать транспорт, помахивая индивидуальной лампой поперек выработки. Для пропуска транспортных средств все измерения должны быть прекращены, а инструменты убраны в безопасные места.

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

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

12. Запрещается закреплять точки, устанавливая инструмент, находиться и производить измерения в зоне действия работающих машин и механизмов. Для выполнения названных операций машины или механизмы должны быть выключены, а пушкатели заблокированы.

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

14. При съемке очистных забоев закрепление пунктов, установку инструментов и измерения необходимо производить по свободному проходу для людей. Рекомендуется съемку производить в нерабочую или ремонтную смену.

Приведенные выше правила безопасности и меры предосторожности не охватывают всех случаев и особенностей каждого горного предприятия. Ознакомление с ними должно быть произведено в период предварительного обучения при поступлении на шахту.

Глава II

ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

§ 22. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ориентирно-соединительная съемка имеет своей целью осуществление геометрической связи плановых съемок на земной поверхности и в подземных горных выработках. В результате выполнения ориентирно-соединительной съемки должны быть получены: а) координаты x и y начального пункта подземной опорной сети; б) дирекционный угол начальной стороны. Нахождение координат называют центрированием подземной опорной сети, а определение дирекционного угла — ее ориентированием.

Получение указанных элементов позволяет вычислять подземную опорную сеть в системе координат, принятой на поверхности. Благодаря этому становится возможным совместно изображать на маркшейдерском плане объекты поверхности и подземных горных работ, а также совмещать в случае необходимости планы разных пластов и горизонтов. Это, в свою очередь, позволяет определять положение любого участка горных работ относительно объектов поверхности или других участков.

Из сказанного видно, что без надлежащего выполнения ориентирно-соединительной съемки нельзя обеспечить правильное и безопасное ведение горных работ. Не зная положения горных выработок относительно поверхности, можно подработать те или иные сооружения или водоемы, наткнуться на старые горные работы смежной шахты, затопленные водой. В подобных случаях возможен выход из строя сооружения или прорыв в шахту больших масс воды.

Ориентирно-соединительная съемка является также необходимой частью ряда ответственных задач, решаемых маркшейдером шахты. К ним относятся прохождение встречными забоями горной выработки между двумя шахтами, проведение капитальных горных выработок (околоствольный двор, квершлаг и пр.) по имеющемуся проекту; согласованное расположение подземных и поверхностных сооружений подземного комплекса; заложение на поверхности земли шурфов или скважин, которые должны пересечь горные выработки в заданном месте.

Из двух элементов, определяемых в результате соединительной съемки, большей тщательности требует определение дирекционного угла. Как видно из рис. 29, а, погрешность ΔS , допущенная при определении положения начального пункта A_1 , вызывает лишь параллельное смещение всех последующих пунктов хода на ту же величину. Иными словами, влияние этой погрешности не изменяется с удалением от исходного пункта. Наоборот, влияние погрешности дирекционного угла исходной стороны увеличивается по мере удаления от нее (рис. 29, б). Если дирекционный

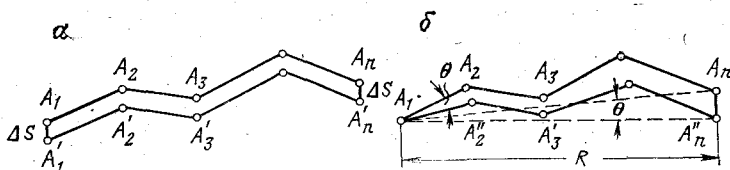


РИС. 29. Влияние погрешностей центрирования и ориентирования на положение последней точки подземного теодолитного хода

угол определен с погрешностью θ , то пункт A_n , удаленный от исходного на расстояние R , будет иметь погрешность

$$M_n = \frac{R\theta}{\rho}. \quad (\text{II.1})$$

Приняв, например, $\theta = 10'$, $R = 3000$ м и $\rho = 3438'$, получим

$$M_n = \frac{3000 \cdot 10}{3438} = 8,7 \text{ м.}$$

Как видим, сравнительно небольшая погрешность дирекционного угла приводит к тому, что положение удаленного пункта определяется с точностью, которая явно не обеспечивает безопасное ведение горных работ.

Таким образом, при выполнении ориентиро-соединительной съемки задача ориентирования является главной и требует гораздо большей тщательности, чем центрирование. По этой причине ориентированием издавна было принято называть весь комплекс работ по соединительной съемке. В настоящее время такой подход устарел, ибо с появлением новых технических средств ориентирование стало выполняться, как правило, независимо от центрирования и термин «ориентирование» приобрел вполне самостоятельное значение.

Это нашло отражение в «Технической инструкции по производству маршейдерских работ», которая установила допуски на ориентиро-соединительную съемку отдельно для ориентирования и центрирования подземной опорной сети. Ориентирование должно выполняться с такой точностью, чтобы разность двух независимых определений дирекционного угла стороны не превышала $3'$. Разность двух независимых определений положе-

ния начального пункта при центрировании сети через вертикальную выработку не должна превышать 5 см.

В качестве исходных для производства ориентирно-соединительной съемки принимаются подходящие пункты на поверхности, принадлежащие к аналитическим сетям или полигонометрии, не ниже I разряда.

В зависимости от способа соединения подземных выработок с поверхностью (способа вскрытия месторождения) различают три основных случая ориентирно-соединительной съемки: 1) через штольню или наклонный ствол; 2) через один вертикальный ствол; 3) через два вертикальных ствола, соединенных подземными выработками.

В первом случае соединительную съемку осуществляют путем прокладки в шахту обычного теодолитного хода. Второй и третий случаи требуют специальных приемов.

При соединительной съемке через вертикальные выработки ориентирование и центрирование осуществляется совместно или раздельно, причем каждая из этих задач может решаться геометрическим или физическим методами.

Центрирование на современном этапе осуществляется геометрическим способом с помощью отвесов, опускаемых в ствол. Физические способы центрирования, например, с использованием луча лазера, пока распространения не получили, хотя работы в этом направлении ведутся.

Наоборот, ориентирование выполняется в настоящее время, главным образом, физическими методами — с помощью гирокомпасов. Геометрическое ориентирование применяется обычно лишь в тех случаях, когда одновременно с ориентированием нужно осуществить центрирование сети.

Ранее в маркшейдерской практике использовались магнитный и оптический способы ориентирования. Однако в последнее время они полностью утратили свое значение, поскольку в современных шахтах резко усложнились условия для их производства.

§ 23. ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ

Ориентирно-соединительная съемка через один вертикальный ствол включает: 1) проектирование двух точек с поверхности в шахту; 2) примыкание к этим точкам на поверхности и к их проекциям на горизонте горных работ; 3) вычисления.

Проектирование осуществляется с помощью двух отвесов 4, опускаемых в ствол (рис. 30). Благодаря вертикальному положению отвесов, их координаты x и y на поверхности (точки A и B) и в шахте (точки A_1 и B_1), а также дирекционные углы створа отвесов α_{AB} и $\alpha_{A_1B_1}$ совпадают. Тем самым точки A и B и направление AB оказываются спроектированными с поверхности на горизонт горных работ.

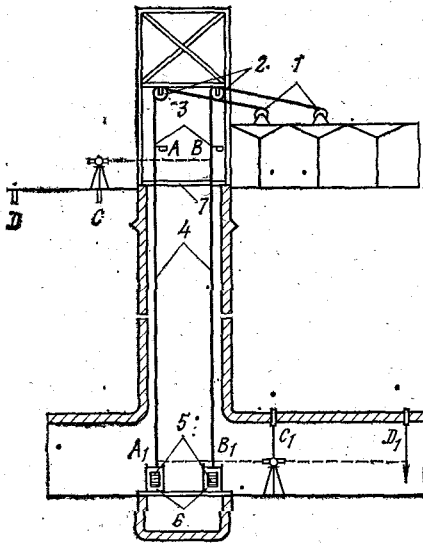


РИС. 30. Схема ориентирно-соединительной съемки через один вертикальный ствол

Примыкание к отвесам на поверхности заключается в производстве угловых и линейных измерений, которые позволяют от известных пунктов C и D найти координаты x_A, y_A, x_B, y_B отвесов на поверхности и дирекционный угол их створа α_{AB} . Соответственно, примыкание к отвесам на горизонте горных работ — это измерения, позволяющие по найденным координатам $x_{A_1}, y_{A_1}, x_{B_1}, y_{B_1}$ отвесов в шахте и дирекционному углу их створа $\alpha_{A_1B_1}$ определить координаты x_{C_1}, y_{C_1} начального пункта и дирекционный угол $\alpha_{C_1D_1}$ начальной стороны подземной опорной сети.

Следует заметить, что при ориентирно-соединительной съемке через один ствол проектирование и примыкание выполня-

ются особенно тщательно с использованием специальных приемов. Поэтому их подробное рассмотрение проведено ниже именно на примере съемки через один ствол.

При ориентирно-соединительной съемке через два или несколько стволов требования к точности проектирования и примыкания значительно ниже, поэтому методика их выполнения более проста.

§ 24. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОЧЕК С ПОВЕРХНОСТИ НА ГОРИЗОНТ ГОРНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ ОТВЕСОВ

Для осуществления проектирования с помощью отвесов необходимы: ручные лебедки 1 для спуска-подъема отвесов, блоки 2 для направления отвесов в шахту, центрировочные пластинки 3, стальная проволока 4, грузы 5, успокоитель 6. Размещение перечисленного оборудования показано на рис. 30.

Лебедки, на которые намотаны проволоки, устанавливаются на верхней приемной площадке надшахтного здания. С помощью прочных брусков на станке копра закрепляют направляющие блоки. Концы проволок пропускают через блоки и опускают в шахту, где к ним подвешиваются грузы. Для уменьшения колебаний отвеса грузы помещают в специальные сосуды, заполненные какой-либо жидкостью (успокоителем).

На высоте 1—2 м над уровнем нулевой площадки прочно закрепляют центрировочные пластинки, которые обеспечивают неизменность положения проектируемых точек A и B в течение

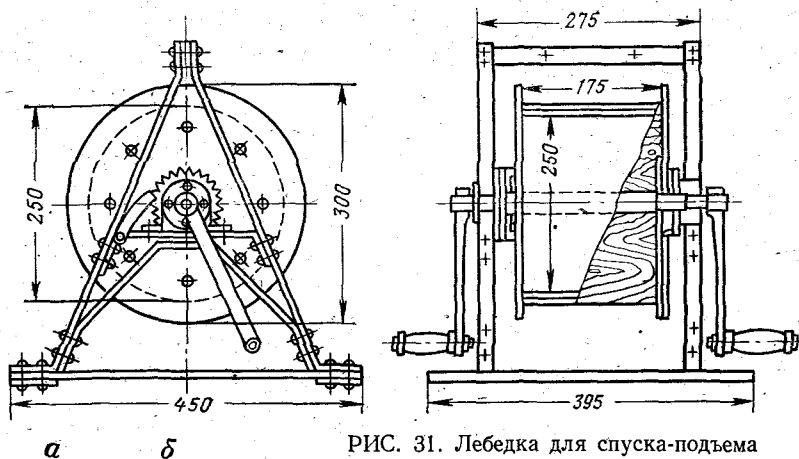


РИС. 31. Лебедка для спуска-подъема отвесов

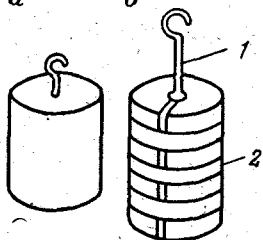


РИС. 32. Конструкции грузов

всего времени производства работ. Каждую из пластинок располагают так, чтобы опущенная с блока проволока в месте соприкосновения с V-образным вырезом пластинки имела небольшой перегиб. Благодаря этому проволока прочно прижимается к вершине выреза и остается неподвижной при возможных перемещениях направляющего блока.

Лебедка для спуска-подъема отвесов (рис. 31) должна иметь два храповика с собачками, а все ее детали должны выдерживать трехкратную максимальную нагрузку. Диаметр барабана должен быть не менее 250 мм. При меньшем диаметре стальная проволока получит нежелательные деформации и даже после подвешивания груза сохранит спиралеобразный вид.

Для отвесов применяют стальную проволоку самого лучшего качества, обладающую большим сопротивлением на разрыв. Диаметр проволоки выбирают в зависимости от глубины ствола и скорости движения воздуха в нем. При глубине до 300 м и скорости потока воздуха, не превышающей 0,7 м/с, рекомендуется применять тонкую проволоку диаметром до 1 мм. При больших глубине и скорости воздушной струи применяется проволока диаметром 1—2 мм.

Проволока, предназначенная для проектирования, не должна иметь изгибов и повреждений. Сращивание ее из отдельных

кусков не допускается. Особое внимание следует уделять навивке проволоки на барабан после окончания работ. Небрежная навивка может стать причиной большого числа изгибов, что делает проволоку непригодной для работы.

Грузы для шахтных отвесов могут быть литыми и составными. Литой груз (рис. 32, а) применяется для проектирования на глубину до 100 м. При больших глубинах применяется более удобная конструкция, состоящая из штанги 1 и комплекта чугунных дисков 2, имеющих радиальные вырезы для надевания на штангу (рис. 32, б).

Для уменьшения погрешности проектирования массу груза выбирают возможно большей, насколько это позволяет качество и диаметр проволоки. Обычно ее принимают равной 60% от предела прочности проволоки.

Успокоители применяются для уменьшения колебаний отвеса, вызываемых ударами капель воды, движением воздуха в стволе и другими причинами. В качестве успокоителей обычно используют баки с водой или вязкой жидкостью. Размеры бака должны быть значительно больше размеров груза, чтобы он в процессе колебаний не касался стенок или дна бака.

Перед началом работ устье и зумпф ствола перекрывают сплошным настилом из досок. Отвесы опускают в шахту поочередно; сначала один, а затем другой. Для спуска используют небольшие грузы массой 3—5 кг, которые в шахте заменяют рабочими грузами.

После подвески рабочих грузов проверяют, не касаются ли отвесы стенок ствола или расположенного в нем оборудования. Проверка осуществляется обычно посылкой «почты». Для этого на проволоку отвеса на поверхности надевают кольцо диаметром 2—3 см, изготовленное из мягкой проволоки. Под действием собственной тяжести кольцо опускается по отвесу и при отсутствии его касаний достигает горизонта горных работ. При наличии касания его местоположение в стволе можно установить способом маятника, сравнивая фактический полупериод колебаний отвеса с вычисленными.

Окончательный контроль отсутствия касания осуществляется сравнением расстояний между отвесами на поверхности и на горизонте горных работ (применяется только при ориентирно-соединительной съемке через один ствол). Расхождение не должно превышать 2 мм.

§ 25. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КАЧАНИЯМИ ОТВЕСОВ

Из-за влияния воздушной струи и капезжа колебания отвесов, как правило, окончательно не затухают. В этом случае проектирование осуществляют колеблющимся отвесом. Для повышения точности проектирования наблюдают качания отвеса с помощью центрировочной тарелки со шкалами. Цель этих наблюдений

состоит в том, чтобы по шкальным отсчетам против крайних положений отвеса найти отсчет, соответствующий его положению покоя. Закрепляя против этого отсчета отвес, можно вести от него измерение всех элементов примыкания.

Центрировочная тарелка (рис. 33) представляет собой прибор, который позволяет наблюдать качание отвесов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для этого на ее корпусе 1 имеются две шкалы *M* и *N*.

С помощью винтов 3 они закрепляются в гнездах 6 таким образом, чтобы плоскости шкал были примерно перпендикулярны друг к другу. Через отверстия 5 корпус тарелки привинчивается

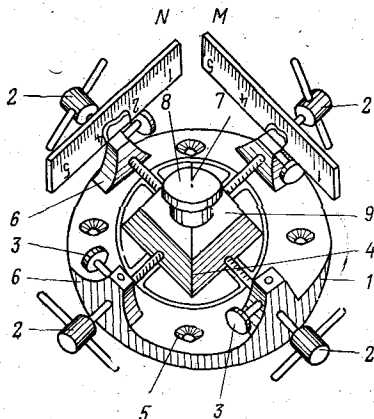


РИС. 33. Центрировочная тарелка со шкалами

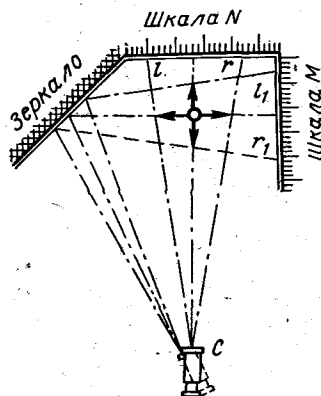


РИС. 34. Схема наблюдения качаний отвеса с помощью зеркала

к деревянным брускам, которые прочно прикрепляются к армировке ствола.

В центре тарелки имеется отверстие диаметром 7—10 см (на рис. 33 оно прикрыто съемной пирамидой 9). Перед наблюдением качаний пирамида вынимается, проволока отвеса пропускается через отверстие и к ее концу подвешивается рабочий груз. Колебания отвеса при проектировании происходят в пределах этого отверстия.

Наблюдение качаний отвеса осуществляется с помощью двух теодолитов. Наблюдая в окуляр теодолита, фиксируют отсчетами по шкале крайние положения отвеса, причем в качестве отсчетного индекса принимают либо внутренние, либо внешние края проволоки.

Взяв серию из 11—13 отсчетов, вычислим средний отсчет N_0 . Он соответствует положению покоя отвеса в направлении, параллельном шкале. Вычисление производят по формуле

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_k}{k}, \quad (II.2)$$

где $N_1 = \frac{l_1 + 2r_1 + l_2}{4}$; $N_2 = \frac{r_1 + 2l_2 + r_2}{4}$ и т. д.;

$$k = (n - 1) + (m - 1);$$

l_1, l_2, \dots, l_n и r_1, r_2, \dots, r_m — отсчеты по шкале, соответствующие крайним левым и правым положениям отвеса; n, m — число левых и правых отсчетов.

Из наблюдений по шкале M аналогично находят отсчет M_0 .

По отсчетам N_0 и M_0 отвес 7 устанавливается неподвижно в положении покоя с помощью пирамиды 9. Для этого через щель 4 он вводится в центральное отверстие пирамиды и закрепляется в нем с помощью медной пробки 8. После этого вращением двух взаимно перпендикулярных пар винтов 2 осуществляется необходимое перемещение пирамиды (а вместе с ней и отвеса) относительно шкал.

В стесненных условиях околовольных выработок не всегда возможно установить два теодолита. Для таких случаев в конструкции центрировочной тарелки предусмотрено плоское зеркало, которое устанавливается на корпус под углом 45° к каждой из шкал (рис. 34). Благодаря ему наблюдение качаний по обоим шкалам можно вести с помощью одного теодолита. При этом по шкале N отсчеты берутся обычным способом, а для отсчитывания по шкале M наводят теодолит на ее изображение в зеркале.

§ 26. ПРИМЫКАНИЕ К ОТВЕСАМ СПОСОБОМ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА И ЕГО ОБРАБОТКА

По окончании проектирования, когда оба отвеса закреплены в положении покоя, осуществляют примыкание к ним. Обычно оно производится одновременно на поверхности и в шахте. Способ примыкания выбирают таким образом, чтобы средние квадратические погрешности передачи дирекционного угла от исходной стороны на поверхности к створу отвесов и от створа отвесов к стороне подземной опорной сети не превышали каждая в отдельности $30''$.

Наиболее распространено примыкание способом соединительного треугольника. Оно складывается из выбора расположения примычных точек, угловых и линейных измерений.

Выбор расположения примычных точек. На рис. 35 показан случай, когда способ соединительного треугольника использован для примыкания и на поверхности, и на горизонте горных работ. При этом на поверхности и в шахте вблизи ствола закрепляют точки C и C_1 с таким расчетом, чтобы с них были видны оба отвеса, а также ближайший пункт поверхностной и подземной опорной сети. Вместе с проектируемыми точками A и B и их проекциями A_1 и B_1 выбранные точки образуют треугольники ABC и $A_1B_1C_1$, которые называются соединительными.

Точки C и C_1 выбирают таким образом, чтобы придать обоим соединительным треугольникам выгодную форму, при которой погрешности измерений оказывают минимальное влияние на точность примыкания.

В специальной части настоящего курса доказывается, что наиболее выгодную форму имеет треугольник с углами γ и α (или β), не превышающими $2-3^\circ$ и с возможно меньшим отношением $a : c$ и $b : c$. Соединительные треугольники невыгодной формы допускаются лишь при ориентировании второстепенных выработок протяженностью до 300 м.

Измерение углов. На закрепленных точках C и C_1 с помощью теодолитов измеряют углы γ , δ и ε (γ_1 , δ_1 и ε_1). Измерение производится не менее чем двумя приемами. Расхождение углов в приемах не должно превышать $10''$. Средняя квадратическая погрешность каждого из углов должна быть не более $7''$.

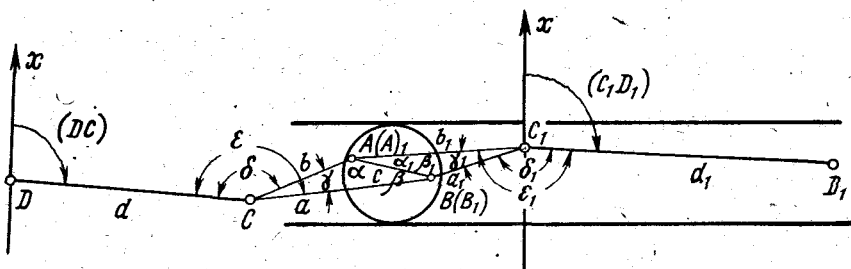


РИС. 35. Схема примыкания соединительным треугольником

Линейные измерения. С помощью рулетки измеряют все три стороны соединительного треугольника a , b , c (a_1 , b_1 , c_1). Каждая из сторон измеряется пять раз, причем разность между отдельными результатами не должна превышать 2 мм. За окончательное значение принимается среднее арифметическое. На этом измерения заканчивают и приступают к камеральной обработке примыкания. Она складывается из контроля правильности измерений, решения соединительного треугольника и вычисления дирекционного угла и координат.

Контроль измерений элементов соединительного треугольника осуществляется сравнением расстояния между отвесами, полученного из непосредственных измерений и вычисленного по формуле

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma. \quad (II.3)$$

Для треугольников, у которых $\gamma < 5^\circ$ и $b : c < 2$, пользуются более простой формулой

$$c = (b - a) + \frac{abh}{b - a}, \quad (II.4)$$

где

$$h = 1 - \cos \gamma.$$

Разность измеренного и вычисленного расстояний между отвесами не должна превышать 3 мм при примыкании на поверхности и 5 мм — при примыкании в шахте.

Решение соединительного треугольника — это вычисление углов α и β при отвесах по известным трем сторонам и углу γ . Вычисление производится по формулам синусов

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \gamma; \sin \beta = \frac{b}{c} \sin \gamma. \quad (\text{II.5})$$

В случае, когда $\beta < 2^\circ$ и $\alpha > 178^\circ$ (или наоборот), можно использовать упрощенные формулы.

$$\alpha'' = \gamma'' \frac{a}{c}; \beta'' = \gamma'' \frac{b}{c}. \quad (\text{II.6})$$

После вычисления углов при отвесах находят угловую навязку в треугольнике и распределяют ее поровну на вычисленные углы.

Вычисление дирекционного угла начальной стороны и координат начального пункта подземной опорной сети производится по обычным формулам обработки теодолитного хода. В частности, для схемы, изображенной на рис. 35, вычисление может быть проведено по формулам

$$\alpha_{C_1 D_1} = \alpha_{DC} + \varepsilon + \beta + \beta_1 - \delta_1 \pm 3 \cdot 180^\circ; \quad (\text{II.7})$$

$$\begin{aligned} x_{C_1} &= x_C + a \cos \alpha_{CB} + a_1 \cos \alpha_{B_1 C_1}; \\ y_{C_1} &= y_C + a \sin \alpha_{CB} + a_1 \sin \alpha_{B_1 C_1}. \end{aligned} \quad (\text{II.8})$$

Достоинством примыкания соединительным треугольником является прежде всего простая схема выполнения измерений и вычислений. Кроме того, этот способ позволяет получить довольно высокую точность примыкания за счет создания треугольника выгодной формы и тщательного выполнения измерений. Поэтому при производстве ориентирно-соединительной съемки через один ствол геометрическим методом примыкание почти всегда осуществляется соединительным треугольником. Лишь при невозможности создания треугольников выгодной формы пользуются другими способами примыкания. Для контроля ориентирно-соединительная съемка через один ствол выполняется дважды (при двух положениях отвесов). Если фактическая разность двух определений дирекционного угла $\alpha_{C_1 D_1}$ не превышает $3'$, а расхождение в определении координат точки C_1 — 5 см, то за окончательное значение принимают среднее арифметическое.

§ 27. ПРИМЫКАНИЕ К ОТВЕСАМ СОЕДИНИТЕЛЬНЫМ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИКОМ

Способ соединительного четырехугольника используется только для примыкания к отвесам в шахте. Работы по примыканию этим способом включают выбор и закрепление примычных

точек P_1 и P_2 , измерение углов при точках P_1 и P_2 , измерение расстояний (рис. 36).

Выбор расположения примычных точек определяется прежде всего конфигурацией околоствольных выработок. В зависимости от нее расположение точек P_1 и P_2 по отношению к створу отвесов AB может быть двусторонним (рис. 36, а) и односторонним (рис. 36, б). В каждом из этих случаев места закрепления точек P_1 и P_2 выбирают таким образом, чтобы соединительный четырехугольник AP_2BP_1 (или ABP_2P_1) по форме был близок к квадрату. Это его наиболее выгодная форма, при которой погрешности измерений оказывают наименьшее влияние на точность примыкания.

Угловые измерения заключаются в определении углов $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ при точках P_1 и P_2 . Кроме того, при одной из точек измеряется угол β_0 , связывающий линию P_1P_2 с первой стороной подземной опорной сети.

Измерение линейных элементов заключается в определении расстояний P_1P_2 и AB . Первое из них служит для вычисления примыкания, второе необходимо для контроля положения отвесов.

Решение соединительного четырехугольника обычно производится способом условного азимута. При этом исходными данными служат координаты отвесов x_A, y_A, x_B, y_B и дирекционный угол (AB) их створа.

Для решения одну из определяемых точек, например P_1 , принимают за начало условной системы координат, а направление P_1P_2 — за ось абсцисс.

Сначала из треугольника P_1AP_2 находят расстояния

$$AP_1 = \frac{P_1P_2 \sin \alpha_2}{\sin \gamma_A}; \quad AP_2 = \frac{P_1P_2 \sin \alpha_1}{\sin \gamma_A}, \quad (\text{II.9})$$

где $\gamma_A = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)$.

Вычисляют координаты отвеса A в условной системе. Вычисление производится по формулам

$$\begin{aligned} x'_A &= AP_1 \cos (360 - \alpha_1) = P_1P_2 + AP_2 \cos (180 + \alpha_2); \\ y'_A &= AP_1 \sin (360 - \alpha_1) = AP_2 \sin (180 + \alpha_2). \end{aligned} \quad (\text{II.10})$$

Аналогично определяют условные координаты отвеса B , используя для этого элементы треугольника P_1BP_2 .

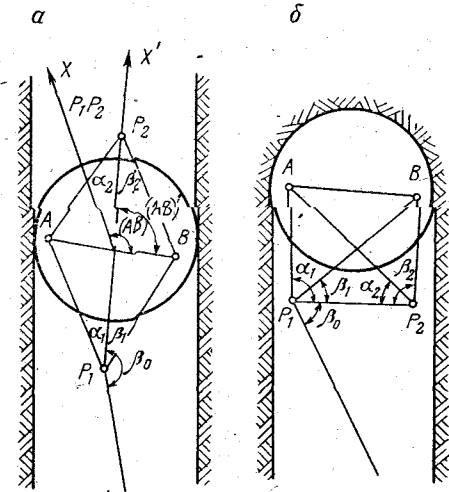


РИС. 36. Схема примыканий к отвесам соединительным четырехугольником

По условным координатам отвесов A и B находят условный азимут их створа

$$\operatorname{tg}(AB)' = \frac{y'_B - y'_A}{x'_B - x'_A}, \quad (\text{II.11})$$

а также расстояние между отвесами

$$c = AB = \frac{y'_B - y'_A}{\sin(AB)'} = \frac{x'_B - x'_A}{\cos(AB)'}. \quad (\text{II.12})$$

Разность вычисленного и измеренного расстояния AB не должна превышать 3 мм.

Определяют дирекционный угол стороны P_1P_2 в системе координат, принятой на поверхности, по формуле

$$(P_1P_2) = (AB) - (AB)'. \quad (\text{II.13})$$

После этого вычисляют дирекционные углы сторон четырехугольника и координаты примычных точек P_1P_2 в системе координат, принятой на поверхности. Вычисление производится по формулам:

$$(P_1A) = (P_1P_2) - \alpha_1; \quad (P_2A) = (P_1P_2) \pm 180^\circ + \alpha_2; \quad (\text{II.14})$$

$$(P_1B) = (P_1P_2) + \beta_1; \quad (P_2B) = (P_1P_2) \pm 180^\circ - \beta_2.$$

$$x_{P_1} = x_A + AP_1 \cos(AP_1) = x_B + BP_1 \cos(BP_1);$$

$$y_{P_1} = y_A + AP_1 \sin(AP_1) = y_B + BP_1 \sin(BP_1);$$

$$x_{P_2} = x_A + AP_2 \cos(AP_2) = x_B + BP_2 \cos(BP_2);$$

$$y_{P_2} = y_A + AP_2 \sin(AP_2) = y_B + BP_2 \sin(BP_2). \quad (\text{II.15})$$

Для заключительного контроля по найденным координатам вычисляется расстояние P_1P_2 . Оно должно отличаться от измеренного не более чем на 5 мм.

По точности способ соединительного четырехугольника примерно равноценен способу треугольника, но требует больших затрат труда на измерения и вычисления. Поэтому он используется сравнительно редко.

§ 28. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКЕ ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ

На время выполнения ориентирно-соединительной съемки останавливается всякое движение подъемных сосудов в стволе, что нарушает нормальный производственный процесс шахты или рудника. Поэтому маркшейдер обязан заранее тщательно продумать организацию и методику выполнения работ, чтобы свести вынужденную остановку подъема к минимуму.

Все работы по ориентирно-соединительной съемке разделяют на два вида: а) подготовительные, которые могут и должны быть

выполнены до остановки подъема; б) основные, которые могут быть выполнены только после остановки подъема;

К подготовительным работам относятся:

1. Выбор схемы ориентирно-соединительной съемки, т. е. мест расположения отвесов и способов решения задач проектирования и примыкания.

2. Подготовка и проверка всех инструментов и снаряжения, необходимых для производства работ.

3. Закрепление точек примыкания к отвесам и их привязка к подходным пунктам на поверхности и к пунктам подземной опорной сети.

4. Выбор мест закрепления лебедок, блоков, центрировочных пластинок, брусьев для шкал.

5. Подготовка материалов для перекрытия зумпфа и устья ствола.

Основные работы осуществляются двумя группами исполнителей, одна из которых находится на поверхности, а другая — в шахте. Работа обеих групп должна выполняться в соответствии с заранее установленной очередностью и с соблюдением мер безопасности. Для обеспечения согласованной работы обеих групп ориентируемый горизонт должен быть связан с поверхностью телефонной связью. Во время производства работ не допускается нахождение в надшахтном здании и возле ствола в шахте лиц, непосредственно не участвующих в ориентировании.

Обычно ориентирно-соединительную съемку выполняют в следующем порядке:

1. Спускают в шахту людей и необходимое оборудование.

2. Освобождают ствол от подъемных сосудов.

3. Перекрывают зумпф и устье ствола сплошными полками из прочных досок. Для пропуска проволоки в них оставляют отверстия диаметром не более 10—15 см.

4. Устанавливают лебедки, блоки и центрировочные пластинки.

5. Спускают отвесы с легкими грузами (3—5 кг) на ориентируемый горизонт. Скорость спуска не должна превышать 1 м/с. Руководитель работ обязан проверить всю проволоку, пропустив ее «через руку». В процессе спуска (подъема) отвесов не допускается нахождение людей вблизи ствола на горизонте горных работ.

По окончании спуска подземная группа приступает к работе в стволе шахты. Об этом руководитель группы должен предупредить находящихся на поверхности. Они, в свою очередь, обязаны предельно осторожно работать над стволом, не допуская падения в него инструментов, кусков породы и других предметов, которые могут стать причиной травмы.

6. На ориентируемом горизонте спускаемые грузы заменяют рабочими грузами, которые погружают в успокоитель.

7. Закрепляют центрировочные тарелки для наблюдения качаний отвесов.

8. Проверяют отвесы «почтой».

9. Наблюдают качания отвесов и закрепляют их в положении покоя по вычисленным средним отсчетам.

10. Измеряют угловые и линейные элементы соединительных фигур на поверхности и в шахте.

11. Сравнивают для контроля измеренные расстояния между отвесами на поверхности и в шахте.

12. По окончании измерений рабочие грузы заменяют легкими, а оборудование демонтируют.

Общие затраты времени на ориентирно-соединительную съемку зависят от условий производства работ и составляют обычно 1,5—2 смены.

§ 29. ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИРОКОМПАСА

При выполнении ориентирно-соединительной съемки через один ствол с помощью двух отвесов главная трудность состоит в необходимости особо тщательного решения задачи проектирования. На проектирование затрачивается обычно основная часть рабочего времени, но несмотря на это, точность передачи дирекционного угла в шахту двумя отвесами остается, по современным понятиям, невысокой, из-за небольшого расстояния между отвесами.

Наличие маркшейдерского гирокомпаса позволяет осуществлять ориентирно-соединительную съемку через один ствол значительно более производительным и точным методом. Главная особенность этого метода состоит в том, что задачи центрирования и ориентирования подземной опорной сети решаются раздельно. При этом передача координат, как и в обычном способе, осуществляется с помощью отвеса, а определение дирекционного угла — путем гироскопического ориентирования, т. е. независимо от решения задачи проектирования.

Работы по съемке выполняются в три этапа:

- 1) проектирование точки с поверхности в шахту;
- 2) примыкание на поверхности и в шахте;
- 3) гироскопическое ориентирование первой стороны подземной опорной сети.

Проектирование осуществляется с помощью одного отвеса, опускаемого в шахтный ствол. При этом размещение оборудования и последовательность производства работ остаются такими, как описано выше (см. § 24).

Примыкание к отвесу на поверхности имеет целью определение его координат x_0, y_0 . Оно осуществляется путем прокладки теодолитного хода 2 разряда от исходной стороны 7501—7502 на поверхности к отвесу O (рис. 37).

Примыкание в шахте состоит в измерении теодолитом угла на точке I и в определении расстояния l_{O-I} от нее до отвеса. Примы-

вание позволяет по координатам отвеса найти координаты первой точки подземной опорной сети.

Гирскопическое ориентирование стороны $I-II$ производится по методике, которая подробно излагается в следующей главе. Из ориентирования получают дирекционный угол α_{I-II} стороны $I-II$.

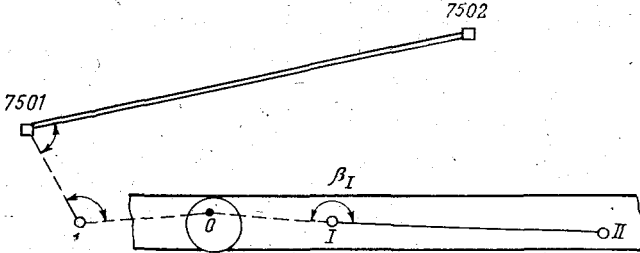


РИС. 37. Схема ориентирно-соединительной съемки через один ствол с использованием гирскопического ориентирования

Для получения координат точки I сначала находят дирекционный угол стороны $O-I$ по формуле

$$\alpha_{O-I} = \alpha_{I-II} - \beta_I \pm 180^\circ, \quad (\text{II.16, а})$$

а затем вычисляют координаты

$$\begin{aligned} x_I &= x_O + l_{O-I} \cos \alpha_{O-I}; \\ y_I &= y_O + l_{O-I} \sin \alpha_{O-I}. \end{aligned} \quad (\text{II.16, б})$$

Главное достоинство описанного метода ориентирно-соединительной съемки состоит в том, что точность передачи дирекционного угла в шахту не зависит от погрешности проектирования. Поэтому проектирование можно осуществлять по упрощенной методике (без использования центрировочных тарелок со шкалами), что значительно сократит затраты труда и времени. На методику проектирования накладывается в этом случае единственное легко выполнимое требование — она должна обеспечивать необходимую точность центрирования подземной опорной сети (см. § 22).

Благодаря указанному достоинству описанный способ получил в последнее время широкое распространение, а на глубоких стволах он полностью вытеснил классический метод ориентирно-соединительной съемки с помощью двух отвесов.

§ 30. ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛА

При ориентирно-соединительной съемке через два вертикальных ствола геометрическую связь поверхностной и подземной съемок осуществляют с помощью двух отвесов, опускаемых по одному

в каждый ствол. В этом случае расстояние между отвесами исчисляется десятками и даже сотнями метров, благодаря чему значительно уменьшается угловая погрешность проектирования. Если, например, линейная погрешность проектирования составляет 3 мм, а расстояние между стволами 100 м, то

$$\theta = \frac{3}{100000} 206\,265 = 6''.$$

Это значительно меньше, чем дают другие источники погрешностей.

Таким образом, основным достоинством ориентирно-соединительной съемки через два ствола является незначительная угловая погрешность проектирования. Поэтому в практике маркшейдерского дела при наличии двух сообщающихся вертикальных стволов принято производить ориентирно-соединительную съемку способом через два ствола. Если учесть, что большинство шахтных полей вскрывается не менее чем двумя вертикальными стволами, то станет ясно, что рассматриваемый способ весьма распространен в маркшейдерской практике.

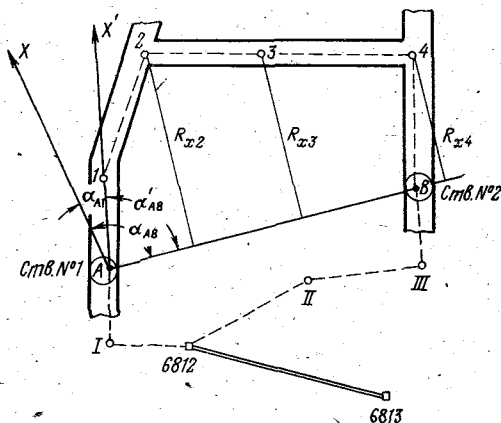


РИС. 38. Схема ориентирно-соединительной съемки через два вертикальных ствола

Ориентирно - соединительная съемка через два вертикальных ствола складывается из следующих операций: а) проектирования точек с поверхности на горизонт горных работ; б) примыкания к отвесам на поверхности с целью определения их координат x, y ; в) примыкания к отвесам в шахте; г) вычислений.

Проектирование точек в рассматриваемом способе осуществляется преимущественно с помощью свободно висящих неподвижных отвесов. Лишь при расстояниях между отвесами менее 50 м следует для повышения точности проектирования производить наблюдение качаний отвесов по шкалам. Оборудование для проектирования устанавливается так, как описано выше (см. § 24).

Примыкание к отвесам на поверхности может быть осуществлено по двум схемам. Первая из них применяется, когда оба ствола расположены на одной промплощадке и расстояние между ними невелико. В этом случае от подходного пункта 6812 к отвесам прокладываются теодолитные ходы с числом сторон в каждом не более трех (рис. 38).

Измерение углов и длин в ходах производится инструментами и методами, принятыми для полигонометрии 2 разряда.

Вторая схема используется при большом расстоянии между стволами. В этом случае к каждому из стволов предварительно вставляется подходной пункт. От этих пунктов до отвесов, опущенных в шахту, прокладываются теодолитные ходы. Число сторон в каждом из них также не должно превышать трех.

Примыкание к отвесам на горизонте горных работ осуществляется проложением между ними теодолитного хода (см. рис. 38). Он должен быть по возможности вытянутым вдоль створа отвесов и иметь наименьшую протяженность. При прокладке хода соблюдаются нормы точности, предусмотренные для подземных опорных сетей.

При осуществлении примыкания основная часть теодолитных ходов на поверхности и в шахте прокладывается заранее, а после спуска отвесов производится лишь непосредственная привязка к ним. Для этого измеряются угол на последней точке теодолитного хода и расстояние от нее до отвеса (например, угол на точке I и расстояние AI при примыкании к отвесу A в шахте).

Вычисление ориентирно-соединительной съемки через два ствола производят в такой последовательности:

1. По результатам измерений на поверхности вычисляют координаты обоих отвесов x_A, y_A, x_B, y_B . По координатам находят дирекционный угол створа отвесов α_{AB} и расстояние между ними c . Вычисления производят по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \quad (\text{II.17})$$

$$c = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{AB}}. \quad (\text{II.18})$$

2. Вводят условную систему координат $x'Ay'$. Начало системы принимают в точке A , а ось абсцисс направляют по первой стороне подземного теодолитного хода (см. рис. 38). Тогда

$$x'_A = y'_A = 0; \quad \alpha_{A-1} = 0^\circ 00' 00''.$$

По этим исходным данным вычисляют условные координаты всех вершин подземного теодолитного хода, в том числе отвеса B .

3. По условным координатам отвесов A и B находят дирекционный угол створа отвесов α'_{AB} в условной системе координат и расстояние между ними c . Вычисление производят по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha'_{AB} = \frac{y'_B}{x'_B}; \quad (\text{II.19})$$

$$c = \frac{y'_B}{\sin \alpha'_{AB}} = \frac{x'_B}{\cos \alpha'_{AB}}. \quad (\text{II.20})$$

4. Осуществляют контроль измерений и вычислений, сопоставляя расстояния между отвесами c и c' . Расхождение $\Delta c = c - c'$ не должно превышать

$$\Delta c = \pm 2 \sqrt{\frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [R_{x_i}^2] + \mu^2 [l_i \cos^2 \varphi_i] + \lambda^2 c^2}, \quad (\text{II.21})$$

где m_{β} — средняя квадратическая погрешность измерения угла в подземном теодолитном ходе; μ и λ — коэффициенты случайного и систематического влияния при линейных измерениях в шахте; l_i — длина стороны подземного теодолитного хода; φ_i — угол, составленный стороной l_i со створом отвесов AB ; $[R_{x_i}^2]$ — сумма квадратов расстояний от вершин подземного хода до створа отвесов; c — горизонтальное расстояние между отвесами.

4. Вычисляют дирекционный угол первой стороны подземного теодолитного хода в истинной системе координат (принятой на поверхности). Для вычислений используют формулу

$$\alpha_{A1} = \alpha_{AB} - \alpha'_{AB}. \quad (\text{II.22})$$

5. Вычисляют координаты всех вершин подземного теодолитного хода и отвеса B в истинной системе. В качестве исходных для вычислений принимают координаты отвеса A , полученные из примыкания на поверхности, и дирекционный угол первой стороны, найденный по формуле (II.22).

Сравнение координат отвеса B , полученных из примыкания на поверхности и из подземного теодолитного хода, служит дополнительным контролем измерений и вычислений.

Г л а в а III

ГИРОСКОПИЧЕСКОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ

§ 31. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГИРОКОМПАСОВ В МАРКШЕЙДЕРСКОМ ДЕЛЕ

В последние годы в методах подземной маркшейдерской съемки произошли коренные изменения, обусловленные применением малогабаритных взрывобезопасных гироскопических компасов.

Гироскопический компас (или гиротеодолит) — это угломерный инструмент, в котором конструктивно объединены гироскоп и теодолит. Гироскоп служит для указания направления меридиана, а с помощью теодолита фиксируется положение стороны теодолитного хода относительно этого направления, т. е. определяется ее дирекционный угол. Процесс определения дирекционного угла стороны гироскопическим компасом называется гироскопическим ориентированием.

Разработкой маркшейдерских гирокомпасов в СССР с 1948 г. занимается лаборатория гироскопических приборов ВНИМИ. Здесь в 1950 г. на базе морского гирокомпаса «Курс» был создан первый отечественный маркшейдерский гирокомпас М-1. В этом приборе гироскоп помещался в сферическом чувствительном элементе (ЧЭ), который поддерживался во взвешенном состоянии благодаря погружению в жидкость и действию специального электромагнита. Гирокомпас М-1 обеспечивал определение дирекционного угла с точностью $1'—1'30''$. Это был громоздкий (масса комплекта 500 кг) и малопроизводительный прибор. Он питался от шахтной сети и имел невзрывобезопасное исполнение.

Несмотря на эти недостатки, создание гирокомпаса М-1 имело принципиально важное значение, так как с его помощью впервые была обеспечена необходимая точность ориентирования шахты гироскопическим способом.

В последующие годы на базе М-1 были созданы более совершенные модели М-3 и МУГ-2. Однако, как и М-1, они применялись для решения только одной задачи — ориентирования начальной стороны подземной маркшейдерской съемки.

Новым важным этапом явилось создание в 1958 г. первого в мировой практике взрывобезопасного гирокомпаса МВ1, а в 1962 г. — его улучшенной модели МВ2. В этих приборах впервые была применена цилиндрическая форма ЧЭ с центрированием его на шпилье, а также обеспечена автономность питания. При массе около 160 кг гирокомпасы МВ имели точность $35''$. Однако главным их достоинством, безусловно, являлось взрывобезопасное исполнение. Благодаря ему в шахтах, опасных по газу и пыли, стало возможным решать принципиально новую задачу — ориентировать гирокомпасом удаленные стороны маркшейдерской съемки. Это позволило осуществлять контроль угловых измерений в ходах к ориентированным сторонам.

В 1962—1967 гг. с помощью гирокомпасов МВ1 и МВ2 на шахтах Донбасса было ориентировано несколько сот удаленных сторон маркшейдерской съемки. Результаты проведенных работ показали, что дирекционные углы примерно 20% ориентированных сторон определены из маркшейдерской съемки с неудовлетворительной точностью. Тем самым было доказано, что контроль угловых измерений по невязкам между двумя ходами не дает полной гарантии выявления грубых погрешностей. Следовательно, для получения надежной сети подземных теодолитных ходов в нее нужно периодически включать стороны, ориентированные гирокомпасом. Возрастающие размеры шахтных полей делали эту задачу особенно актуальной. Для ее решения необходимо было создать взрывобезопасный переносной гирокомпас достаточно высокой производительности.

Работы над таким гирокомпасом велись одновременно по двум направлениям и завершились созданием в 1967 г. принципиально различных моделей МВ2М и МВТ2.

Гирокомпас МВ2М явился в сущности уменьшенной модификацией предшествующих гирокомпасов МВ. Для снижения массы он был снабжен малогабаритными аккумуляторами и полупроводниковым преобразователем тока. Гирокомпас МВ2М обеспечивал точность 35" и имел массу в транспортном положении 55 кг.

В отличие от гирокомпаса МВ2М и всех прежних моделей, имевших жидкостный подвес, в гирокомпасе МВТ2 ЧЭ был подвешен в воздушной среде на тонкой и узкой металлической ленте — торсионе. Это позволило при сохранении точности резко улучшить остальные характеристики прибора. По сравнению с гирокомпасом МВ2М он имел в 1,6 раза меньшую массу, в 2 раза большую производительность и, что очень важно, был несравненно надежнее в работе.

Все это убедительно доказало преимущества торсионных гирокомпасов перед жидкостными. Поэтому, начиная с 1968 г. выпускаются и конструируются исключительно торсионные гирокомпасы. В 1972 г. на базе гирокомпаса МВТ2 был создан более совершенный гирокомпас МВТ4. В последние годы ведутся работы по созданию маркшейдерской взрывобезопасной буссоли МВБ. Уже подготовлены опытные образцы этого прибора, которые проходят государственные испытания.

В настоящее время маркшейдерская служба горной промышленности в достаточной мере обеспечена гирокомпасами МВТ2 и МВТ4. Определение дирекционных углов этими гирокомпасами имеет существенные преимущества перед геометрическими способами ориентирования. Главными из них являются:

- 1) значительно более высокая точность и производительность;
- 2) возможность определения дирекционного угла стороны в любом месте шахтного поля.

Указанные достоинства позволяют широко использовать современные гирокомпасы для решения главной задачи маркшейдерской службы — создания подземных опорных сетей. Включение в опорную сеть гироскопически ориентированных сторон резко ослабляет влияние погрешностей угловых измерений и повышает точность определения координат пунктов. Нетрудно видеть, что при этом попутно решаются и прежние задачи по ориентированию и контролю съемки. Поэтому применение гирокомпасов для создания сетей является в настоящее время наиболее рациональным направлением, позволяющим полностью использовать их возможности.

По мере дальнейшего совершенствования гирокомпасов круг задач, решаемых с их помощью, будет расширяться. В недалеком будущем гироскопические приборы появятся на каждой шахте. Поэтому знание принципа работы и устройства гирокомпаса, методики работы с ним и его возможностей становится абсолютно необходимым для успешной деятельности инженера-маркшейдера.

§ 32. СВОБОДНЫЙ ГИРОСКОП И ЕГО ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Гир о с к о п о м называется механическое устройство, которое состоит из симметричного быстровращающегося тела (ротора) и системы его подвеса, позволяющей оси вращения ротора изменять свое положение в пространстве. В маркшейдерских гироскопах таким телом с быстрым вращением является ротор специального электродвигателя (гиромотора), способного развивать большую частоту вращения.

Если система подвеса обеспечивает ротору возможность одновременного вращения вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, то гироскоп называется трехстепенным. Конструкции подвеса трехстепенного гироскопа могут быть весьма разнообразными. Наиболее распространенной из них является система подвеса в кардановых кольцах, изображенная на рис. 39. Здесь ротор подвешен с помощью внутреннего и внешнего колец, которые обеспечивают ему, помимо вращения вокруг главной оси X , еще свободу поворота вокруг оси чувствительности Y и оси прецессии Z .

В идеально изготовленном гироскопе все три оси пересекаются в одной точке. При одновременном вращении ротора вокруг осей X , Y и Z точка их пересечения O остается неподвижной относительно основания, так что ротор фактически вращается вокруг нее. Создается иллюзия, что ротор подвешен в точке O , которая поэтому называется точкой подвеса.

Гироскоп, у которого центр тяжести совпадает с точкой подвеса, называется уравновешенным или астатическим. При любом положении такого гироскопа сила тяжести не создает вращательных моментов относительно осей подвеса.

Астатический гироскоп, у которого в опорах подвеса отсутствуют силы трения, называется свободным. Разумеется, свободный гироскоп можно рассматривать лишь теоретически. В любой реальной модели всегда имеется некоторое смещение центра тяжести относительно точки подвеса и остаточное трение в опорах.

При быстром вращении свободного гироскопа его движение под действием внешних сил приобретает специфические особенности. Они характеризуются теоремой Резаля, по которой скорость

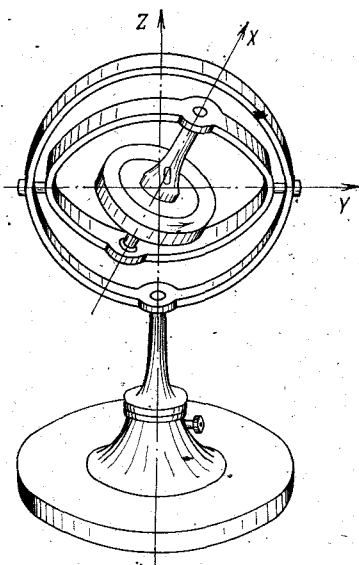


РИС. 39. Гироскоп в кардановых кольцах

конца вектора кинетического момента \vec{H} ротора равна по величине и направлению суммарному моменту \vec{M} внешних сил, приложенных к ротору относительно точки подвеса.

Вспомним, что скорость конца вектора есть производная от этого вектора по времени. Тогда сформулированную теорему можно представить выражением

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \vec{M}. \quad (\text{III.1})$$

Не приводя доказательства теоремы, которое дается в курсе теоретической механики, ограничимся рассмотрением ее сущности.

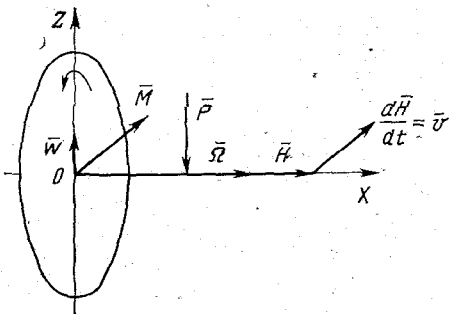
Пусть ротор свободного гироскопа вращается вокруг главной оси с большой угловой скоростью $\vec{\Omega}$ (рис. 40). Его кинетический момент выражается формулой

$$\vec{H} = J\vec{\Omega}, \quad (\text{III.2})$$

где J — момент инерции ротора относительно главной оси.

Как и угловая скорость, кинетический момент направлен по оси вращения.

РИС. 40. Прецессия оси свободного гироскопа под действием внешней силы



Приложим к ротору момент внешней силы \vec{M} , направленный за плоскость чертежа перпендикулярно к ней. Это можно сделать, приложив, например, к оси ротора вертикальную силу \vec{P} , которая стремится повернуть ротор относительно точки подвеса O по часовой стрелке. Согласно теореме Резаля конец вектора кинетического момента \vec{H} приобретает линейную скорость $\frac{d\vec{H}}{dt}$,

направленную, как и вектор \vec{M} , за плоскость чертежа и равную ему по абсолютной величине. Иными словами, под действием вертикальной силы вектор кинетического момента будет поворачиваться в горизонтальной плоскости с некоторой угловой скоростью. При быстром вращении ротора вектор кинетического момента практически совпадает по направлению с главной осью вращения. Поэтому ось будет поворачиваться вместе с ним с той же угловой скоростью.

Из теоремы Резаля вытекают два свойства свободного гироскопа, на использовании которых основывается гироскопический способ ориентирования.

1. *Свойство устойчивости.* Главная ось быстровращающегося гироскопа сохраняет неизменным свое направление в мировом

пространстве, если суммарный момент внешних сил, приложенных к ротору относительно точки подвеса, равен нулю.

Свойство устойчивости непосредственно следует из уравнения (III.1). В самом деле, если момент внешних сил равен нулю, то в правой части выражения (III.1) имеем $\bar{M} = 0$. Тогда

$$\frac{d\bar{H}}{dt} = 0 \text{ и } \bar{H} = \text{const.} \quad (\text{III.3})$$

Постоянство по величине и направлению вектора \bar{H} означает, что и главная ось гироскопа будет сохранять неизменным свое направление в мировом пространстве.

2. *Свойство прецессии.* Под действием внешней силы главная ось быстровращающегося свободного гироскопа поворачивается (прецессирует) в плоскости, перпендикулярной к действующей силе.

При рассмотрении теоремы Резаля было показано, что главная ось гироскопа под действием вертикальной силы P поворачивается в горизонтальной плоскости. Это, в сущности, и является доказательством второго свойства.

Направление прецессии определяется по следующему правилу. Если вектор действующей силы повернуть на 90° по направлению вращения ротора, то он укажет направление прецессии оси. Соответствие этого правила теореме Резаля легко проверить по рис. 40.

Прецессируя, конец вектора кинетического момента описывает окружность с радиусом \bar{H} . Тогда его линейную скорость можно представить выражением

$$\frac{dH}{dt} = \omega H, \quad (\text{III.4})$$

где ω — угловая скорость прецессии.

Подставляя выражение (III.4) в (III.1) и учитывая формулу (III.2), получаем выражение

$$\omega = \frac{M}{J\Omega}. \quad (\text{III.5})$$

Из него следует, что угловая скорость прецессии прямо пропорциональна моменту внешних сил и обратно пропорциональна скорости собственного вращения ротора.

Установим свободный гироскоп на поверхности Земли в произвольной точке M (рис. 41). Сообщим ему быстрое вращение и рассмотрим, как изменяется взаимное положение оси гироскопа и плоскости горизонта точки стояния.

В силу первого свойства ось гироскопа сохраняет неизменным свое направление в мировом пространстве. Следовательно, изменение ее положения относительно плоскости горизонта обусловлено исключительно перемещением последней вместе с Землей. Рассмотрим закономерности этого перемещения.

Вращение Земли, если его наблюдать со стороны Северного полюса, представляется происходящим против часовой стрелки. Поэтому вектор угловой скорости вращения направлен по оси Земли в сторону Северного полюса. В течение звездных суток, равных 86 164,1 с, совершается один оборот. Следовательно, частота вращения (c^{-1})

$$\omega = \frac{2\pi}{86164,1} = 7,3 \cdot 10^{-5}.$$

Вместе с Землей с той же угловой скоростью вращается плоскость горизонта точки M . Ее движение вокруг земной оси можно рассматривать как сумму двух движений: поступательного и вращательного (вокруг прямой MP , параллельной оси Земли).

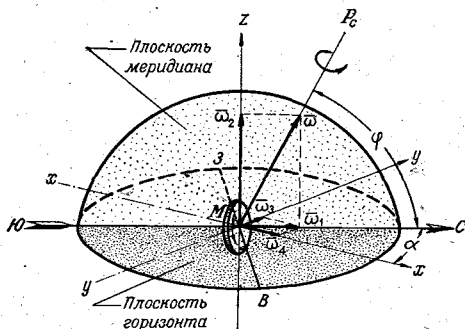


Рис. 41. Движение оси свободного гироскопа относительно плоскости горизонта

Поступательное движение представляет собой параллельный перенос плоскости горизонта вместе с гироскопом. Оно не изменяет их взаимного положения, поэтому в дальнейшем можно ограничиться рассмотрением только вращательного движения.

Представим вращение плоскости горизонта вокруг прямой MP как сумму одновременных вращений ее вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Одна из них совпадает с полуденной линией, т. е. лежит в плоскости горизонта точки M и направлена на север, другой является отвесная линия. Тем самым вектор угловой скорости вращения Земли ω разложится на две составляющих (см. рис. 41):

$$\omega_1 = \omega \cos \varphi; \quad \omega_2 = \omega \sin \varphi. \quad (\text{III.6})$$

Вектор ω_1 называется горизонтальной составляющей земного вращения. Она определяет скорость вращения плоскости горизонта вокруг полуденной линии и внешне проявляется в подъеме звезд над восточной половиной горизонта при их движении по небосклону.

Вектор ω_2 называется вертикальной составляющей земного вращения, которая определяет скорость вращения плоскости горизонта вокруг отвесной линии. Внешне она проявляется в изменении положения звезд по азимуту.

Пусть главная ось свободного гироскопа, установленного в точке M , в начальном положении горизонтальна и ее северный конец отклонен к востоку от меридиана на произвольный угол α (см. рис. 41).

Благодаря вертикальной составляющей направление меридиана в точке M изменяется с угловой скоростью ω_2 . В то же время направление оси гироскопа в силу первого свойства остается постоянным. Поэтому первоначальный угол отклонения ее от меридиана увеличивается.

Разложим горизонтальную составляющую ω_1 на два вектора: ω_3 — в направлении оси чувствительности гироскопа и ω_4 — в направлении его главной оси. Из рисунка следует, что

$$\omega_3 = \omega \cos \varphi \sin \alpha; \quad \omega_4 = \omega \cos \varphi \cos \alpha. \quad (\text{III.7})$$

Составляющая ω_4 на очень малую величину $1/86\,400$ с меняет частоту вращения гироскопа в мировом пространстве. По этой причине она не имеет никакого практического значения. Составляющая ω_3 определяет угловую скорость вращения плоскости горизонта вокруг оси чувствительности гироскопа. Она проявляется в подъеме северного конца оси гироскопа над плоскостью горизонта. Как видно из формулы (III.7), скорость подъема зависит от угла отклонения оси от меридиана. Она равна нулю при $\alpha = 0$ и возрастает с увеличением α .

Таким образом, в результате вращения Земли северный конец оси гироскопа будет отклоняться на восток от меридиана с угловой скоростью ω_2 и одновременно подниматься над горизонтом со скоростью ω_3 . Это явление называют **в и д и м ы м у х о д о м** о с.и. Впервые оно было обнаружено Фуко в 1852 г.

Свойство устойчивости оси является, на первый взгляд, более подходящим для ориентирования маркшейдерской съемки. Ведь ориентирование — это в сущности перенос направления с поверхности в шахту. Казалось бы, для его осуществления достаточно придать оси быстровращающегося гироскопа на поверхности определенное направление и затем перенести его в шахту, где в силу устойчивости ось должна указывать прежнее направление. Однако практически такой путь осложняется действием на гироскоп момента внешних сил, возникающих из-за трения в опорах подвеса. Этот момент вызывает прецессию оси, в результате чего за время переноса гироскопа с поверхности в шахту его ось уходит от первоначального направления. Величина ухода даже у наиболее совершенных гироскопов превосходит необходимую точность ориентирования маркшейдерской съемки. По этим причинам свободный гироскоп не применяется для целей ориентирования, хотя на начальном этапе были попытки это сделать.

§ 33. МАЯТНИКОВЫЙ ГИРОСКОП

Несколько изменим конструкцию свободного гироскопа, прикрепив к его главной оси специальный груз (рис. 42). При этом центр тяжести гироскопа окажется смещенным ниже точки подвеса, за счет чего будет обеспечено удержание главной оси в горизонтальном положении. При отсутствии вращения действие груза

на ротор напоминает в данном случае обыкновенный маятник, поэтому гироскопы такой конструкции получили название маятниковых.

В маятниковом гироскопе ротор может без всякого ограничения вращаться вокруг главной оси X и оси прецессии Z . В то же время

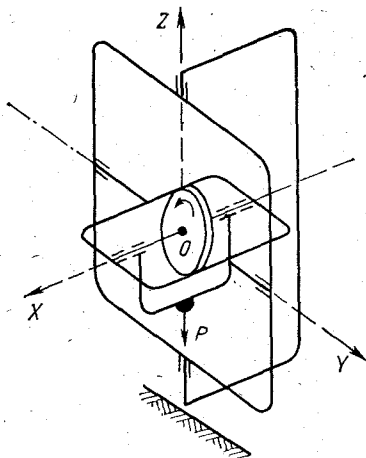


РИС. 42. Схема маятникового гироскопа

свобода вращения вокруг оси чувствительности Y частично ограничена сопротивлением груза. Поэтому иногда говорят, что маятниковый гироскоп имеет 2,5 степени свободы.

Благодаря ограничению одной степени свободы маятниковый гироскоп приобретает ориентирующее свойство, т. е. способность указывать направление меридиана. Практически оно проявляется в том, что главная ось гироскопа совершает относительно меридиана симметричные колебания. При этом северный конец оси описывает траекторию в виде вытянутого эллипса (рис. 43). Рассмотрим физическую сущность этого явления.

Пусть в начальный момент ось маятникового гироскопа занимает горизонтальное положение, а ее северный конец отклонен к востоку от меридиана на произвольный угол α . На рисунке это положение оси изображено точкой 1 траектории.

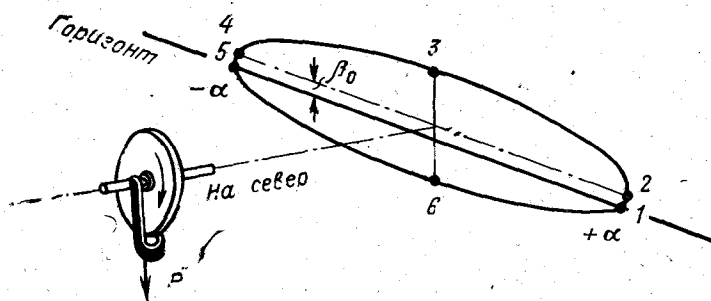


РИС. 43. Траектория движения северного конца оси маятникового гироскопа

Как было сказано выше, вследствие вращения Земли северный конец оси поднимается над плоскостью горизонта с угловой скоростью ω_3 . Из рис. 44 видно, что при этом центр тяжести гироскопа смещается с вертикали, проходящей через точку подвеса. В ре-

зультате к главной оси гироскопа прикладывается внешний момент

$$M = Pl \sin \beta, \quad (\text{III.8})$$

где P — вес гироскопа; l — расстояние от точки подвеса до центра тяжести; β — угол подъема оси над плоскостью горизонта.

Под действием возникающего момента ось гироскопа начинает прецессировать. При этом ее северный конец поворачивается в сторону меридиана, что легко проверить с помощью уже известного правила.

Согласно выражению (III.5) угловая скорость прецессии ω зависит от внешнего момента M , а следовательно, и от угла β .

Первоначально, пока угол β очень мал, скорость прецессии ω не превосходит величины ω_2 . Поэтому, несмотря на прецессию оси к меридиану, угол между ними увеличивается (участок 1—2 траектории на рис. 43). Так продолжается до тех пор, пока возрастающий угол подъема не станет равным некоторому значению β_0 , называемому компенсирующим углом. Это угол, при котором угловая скорость прецессии равна величине ω_2 .

Следовательно, ось занимает неизменное положение относительно меридиана (точка 2 траектории на рис. 43). Однако ее подъем

над горизонтом продолжается, поэтому уже в следующее мгновение угловая скорость прецессии становится больше ω_2 . В результате ось начинает приближаться к меридиану. Пока северный конец оси находится к востоку от меридиана, угол наклона ее к горизонту продолжает возрастать. При этом, естественно, увеличивается и угловая скорость прецессии (участок 2—3 траектории).

В точке 3 ось гироскопа проходит плоскость меридиана, имея максимальный угол подъема над плоскостью горизонта и наибольшую скорость прецессии. Пройдя меридиан, ось попадает в западную половину горизонта, где составляющая ω_3 имеет противоположное направление. Поэтому угол наклона оси уменьшается и соответственно падает скорость прецессии (участок 3—4 траектории). В точке 4 угол наклона снова становится равным компенсирующему углу, а скорость прецессии — величине ω_2 . При этом ось достигает максимального отклонения от меридиана.

При дальнейшем уменьшении угла наклона, а значит, и скорости прецессии меридиан начинает «догонять» ось. Поэтому угол отклонения ее от плоскости меридиана уменьшается (участок 4—5 траектории на рис. 43).

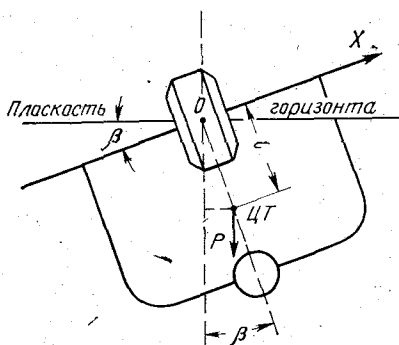


РИС. 44. Схема возникновения маятникового момента при подъеме конца оси гироскопа

В точке 5 прецессия оси на запад полностью прекращается, так как ось приходит в горизонтальное положение. Поскольку подъем западной половины горизонта продолжается, северный конец оси начинает уходить под плоскость горизонта. При этом возникает маятниковый момент обратного направления, вызывающий прецессию оси к меридиану с возрастающей угловой скоростью (участок 5—6 траектории). В точке 6 северный конец оси проходит меридиан, имея максимальный угол наклона под плоскость горизонта и наибольшую скорость прецессии.

Пройдя меридиан, ось продолжает прецессировать на восток с убывающей угловой скоростью. Это объясняется уменьшением маятникового момента по мере опускания восточной половины горизонта и соответствующего уменьшения угла наклона оси. Прецессия на восток продолжается, пока ось не окажется в исходном положении (точка 1 траектории), после чего описанный процесс повторяется снова.

Таким образом, под действием вращения Земли ось идеального маятникового гироскопа совершает незатухающие гармонические колебания относительно плоскости меридиана.

Строгое математическое описание движения оси маятникового гироскопа получается на основе динамических уравнений Эйлера, известных из курса теоретической механики. Если на гироскоп действует только маятниковый момент, то уравнения Эйлера после ряда преобразований, которые опущены вследствие громоздкости, приводятся к дифференциальному уравнению второго порядка, описывающему колебательное движение,

$$\frac{H^2}{Pl} \ddot{\alpha} + H\omega \cos \varphi \alpha = 0, \quad (\text{III.9})$$

где α — угол отклонения оси от меридиана.

Его решение в общем случае имеет вид

$$\alpha = \alpha_m \sin(Kt + \psi), \quad (\text{III.10})$$

где ψ — начальная фаза колебаний; α_m — максимальная амплитуда; $K = \sqrt{\frac{Pl\omega \cos \varphi}{H}}$ — круговая частота.

Выражение (III.10) полностью подтверждает ранее сделанный вывод, что ось идеального маятникового гироскопа совершает относительно плоскости меридиана незатухающие гармонические колебания. Период этих колебаний равен

$$T = \frac{2\pi}{K} = 2\pi \sqrt{\frac{H}{Pl\omega \cos \varphi}}. \quad (\text{III.11})$$

Благодаря ориентирующему свойству маятниковый гироскоп принят в качестве указателя направления во всех маркшейдерских гироскопах.

Из курса теоретической механики известно дифференциальное уравнение колебаний материальной точки под действием восста-

навливающей силы. Для случая, когда сила направлена к положению равновесия и пропорциональна отклонению от него, уравнение имеет вид

$$m\ddot{x} + cx = 0, \quad (III.12)$$

где m — масса точки; x — линейное отклонение ее от положения равновесия; c — коэффициент пропорциональности (соответственно cx — сила).

Нетрудно видеть полную аналогию уравнений (III.9) и (III.12). Линейным отклонениям x материальной точки соответствуют угловые отклонения α оси гироскопа. Роль массы m играет величина $\frac{H^2}{Pl}$, причем, как и следовало ожидать, при вращательных колебаниях она имеет вместо размерности массы размерность момента инерции. Силе cx соответствует величина $H\omega \cos \varphi \alpha$, которая вызывает вращательные колебания и поэтому имеет размерность момента.

Из приведенной аналогии следует, что уравнение (III.9) описывает вращательные колебания под действием момента

$$M_n = H\omega \cos \varphi \alpha \quad (III.13)$$

некоторого условного тела (с моментом инерции $\frac{H^2}{Pl}$), каким является быстровращающийся гироскоп.

Момент M_n всегда стремится повернуть ось к меридиану и поэтому получил название направляющего момента. Более строго направляющий момент выражается формулой

$$M_n = H\omega \cos \varphi \sin \alpha. \quad (III.14)$$

Однако конструкции отечественных гирокомпасов обеспечивают малую амплитуду колебаний, поэтому для них остается справедливой и формула (III.13).

Из выражения (III.14) видно, что направляющий момент равен нулю при $\alpha = 0$ и возрастает с увеличением угла отклонения оси от меридиана. При $\alpha = \frac{\pi}{2}$ он достигает максимального значения. Величина M_n зависит также и от широты точки стояния. В частности, при $\varphi = 90^\circ$ направляющий момент равен нулю. Это значит, что на полюсе маятниковый гироскоп не имеет ориентирующего свойства. Наоборот, на экваторе M_n имеет максимальное значение.

В любой реальной модели направляющему моменту приходится преодолевать в процессе колебаний не только силы инерции гироскопа, но и трение в оси прецессии. Поэтому от величины M_n существенно зависит гармоничность колебаний оси, а значит и точность прибора. Учитывая это, при характеристике гирокомпаса принято в качестве одного из важнейших показателей указывать значение направляющего момента для $\varphi = 60^\circ$ и $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

У современных приборов величина M_n не превосходит 10^{-5} Н·м. Столь малое его значение обусловлено ничтожной величиной угловой скорости ω , входящей в выражение (III.14).

Ориентирующее свойство маятникового гироскопа известно давно, однако практическое его использование осложнялось крайне малой величиной направляющего момента. Для получения рабочей модели нужно было создать такой подвес гироскопа, в котором силы трения значительно меньше величины M_n . В современных гироскопах это обеспечивается применением торсионного подвеса. Его принципиальная схема изображена на рис. 45. В защитном

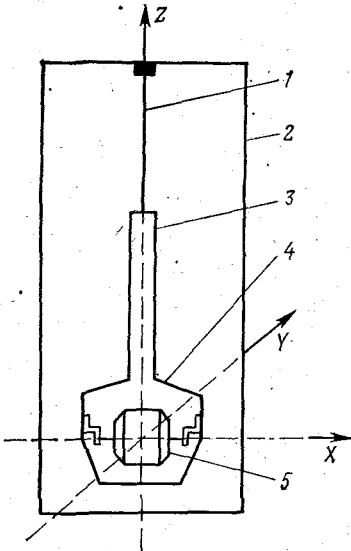


РИС. 45. Схема торсионного подвеса

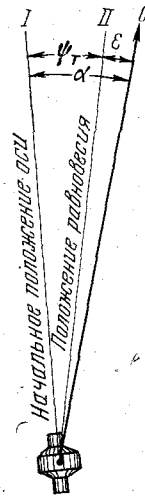


РИС. 46. Влияние закручивания торсиона на положение равновесия оси

корпусе 2 на тонкой металлической ленте — торсионе 1 подвешен чувствительный элемент (ЧЭ). Он состоит из полый цилиндрической штанги 3 и прикрепленной к ней снизу гирокамеры 4. Внутри гирокамеры жестко закреплен гиромотор 5. При свободно висящем ЧЭ ось гиromотора занимает горизонтальное положение.

На первый взгляд, описанная конструкция мало похожа на маятниковый гироскоп. Однако при более внимательном рассмотрении она обнаруживает все его признаки. В самом деле, ротор помимо свободы вращения вокруг собственной оси X вместе с ЧЭ может вращаться вокруг вертикальной оси Z . В то же время свобода вращения его вокруг оси Y ограничена массой ЧЭ, который за счет подвески на торсионе удерживает горизонтально главную ось.

Таким образом, конструкция, показанная на рис. 45, действительно является маятниковым гироскопом. При сообщении ротору

быстрого вращения его ось совершает прецессионные колебания относительно меридиана. При этом движение оси происходит вместе с ЧЭ и внешне колебания выглядят как повороты ЧЭ в одну и другую сторону вокруг вертикальной оси. Вследствие сопротивления воздуха движению ЧЭ колебания медленно затухают.

Из всего сказанного становится более или менее очевидна принципиальная схема устройства маркшейдерского гирокомпаса. Он должен представлять собой маятниковый гироскоп, на который сверху установлен теодолит. К алидаде теодолита крепится специальная визирная трубка (автоколлиматор), которая позволяет фиксировать крайние положения колебаний (точки реверсии).

Такой прибор устанавливается на одном из концов стороны и ротору сообщается быстрое вращение. С помощью автоколлиматора точки реверсии фиксируются отсчетами по лимбу. Очевидно, что среднее из них соответствует направлению меридиана. Затем зрительной трубой теодолита измеряется направление на другой конец стороны. Это позволяет получить угол между меридианом и данной стороной, т. е. ориентировать ее. Совокупность указанных операций принято называть п у с к о м г и р о к о м п а с а. Практически методика производства пуска, конечно, сложнее рассмотренной и детально будет рассмотрена ниже, в § 35.

При колебаниях ЧЭ торсионного гирокомпаса верхний конец торсиона остается неподвижным, поскольку он жестко закреплен на корпусе, а нижний конец поворачивается вместе с ЧЭ. Вследствие этого происходит закручивание торсиона и в нем возникает момент сопротивления. Рассмотрим, какое влияние оказывает этот момент на колебания оси относительно меридиана.

Для простоты последующих рассуждений предположим, что в начальный момент ЧЭ неподвижно висит на торсионе, в котором отсутствуют крутящие усилия. При этом ось гиromотора занимает положение I и составляет с меридианом угол α (рис. 46).

При сообщении ротору быстрого вращения возникает направляющий момент, который заставляет его ось поворачиваться к меридиану. При этом угол отклонения α уменьшается, а следовательно, убывает и величина направляющего момента. В то же время уход оси из положения I вызывает закручивание торсиона и появление в нем момента сопротивления. По мере поворота оси к меридиану величина этого момента растет. Если бы на ось действовал только направляющий момент M_n , то равновесным было бы положение оси, при котором $M_n = 0$, т. е. направление меридиана. Однако в данном случае на нее одновременно действуют два противоположных по знаку момента: убывающий направляющий момент M_n и растущий момент кручения торсиона $M_{кр}$. Очевидно, что еще до того, как ось достигнет меридиана и M_n станет равным нулю, должен наступить момент, при котором M_n и $M_{кр}$ окажутся равными по абсолютной величине, но противо-

положно направленными. Положение оси, при котором имеет место равенство

$$M_H = M_{кр}, \quad (III.15)$$

и является фактическим положением равновесия оси торсионного гирокомпаса. Как видно из рис. 46, оно смещено относительно меридиана на некоторый угол ε . Величина ε является той поправкой, которую следует ввести в фактическое положение равновесия, чтобы сделать его соответствующим меридиану.

Выведем формулу для вычисления поправки ε . Для этого предварительно введем некоторые вспомогательные понятия.

Назовем удельным моментом кручения торсиона $M_{кр}^0$ тот момент сопротивления, который возникает в торсионе при закручивании его нижнего конца на 1° . Тогда в положении равновесия II, когда торсион закручен на угол ψ , в нем возникает момент кручения.

$$M_{кр} = M_{кр}^0 \psi. \quad (III.16)$$

Удельный момент кручения является постоянной величиной для данного гирокомпаса, поскольку зависит от таких неменяющихся параметров как длина и сечение торсиона, его натяжение под массой ЧЭ, упругие свойства материала.

Соответственно удельным направляющим моментом M_H^0 назовем момент, возникающий в маятниковом гироскопе при отклонении его оси от меридиана на 1° . Тогда в положении равновесия II, когда ось составляет с меридианом угол ε , на нее действует направляющий момент

$$M_H = M_H^0 \varepsilon. \quad (III.17)$$

Удельный направляющий момент также является постоянной характеристикой гирокомпаса для данной широты, поскольку зависит только от кинетического момента ротора.

Подставляя выражения (III.16) и (III.17) в равенство (III.15) и решая его относительно ε , приходим к выражению

$$\varepsilon = \psi \frac{M_{кр}^0}{M_H^0}. \quad (III.18)$$

Обозначив в нем

$$D = \frac{M_H^0}{M_{кр}^0}, \quad (III.19)$$

получим окончательно

$$\varepsilon = \frac{\psi}{D}. \quad (III.20)$$

Отношение D называется добротностью гирокомпаса. Это индивидуальная характеристика прибора, которая дается в его паспорте в зависимости от широты. Кроме этого, ве-

личина D может быть довольно просто определена экспериментально.

Из формулы (III.20) следует, что для определения поправки ϵ необходимо знать угол закручивания торсиона ψ . Поэтому методика ориентирования торсионным гирокомпасом предусматривает обязательное определение этого угла, о чем подробнее будет сказано ниже (см. § 35).

§ 34. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫЙ ТОРСИОННЫЙ ГИРОКОМПАС МВТ2

Гирокомпас МВТ2 предназначен для гироскопических определений при построении подземных опорных сетей, а также для ориентирования и контроля подземной теодолитной съемки. Он серийно выпускается опытно-экспериментальным заводом ВНИМИ и в настоящее время является основным гироскопическим прибором отечественной маркшейдерской службы.

В рабочем диапазоне температур от 0 до 40 °С гирокомпас МВТ2 обеспечивает точность 20—30" (в зависимости от качества изготовления прибора). Продолжительность одного пуска вместе с установкой и укладкой прибора 25—30 мин. Масса комплекта гирокомпаса в транспортном положении 33 кг.

Гирокомпас МВТ2 состоит из основного прибора, устанавливаемого на штативе, и блока питания 6 (рис. 47). При транспортировке основной прибор снимается и вместе с соединительным кабелем 5, укладывается в футляр 7.

Прибор устанавливается с помощью трегера 3. Он опирается на площадку штатива тремя подъемными винтами 4, которые жестко прижимаются к ней накладными гайками. Этим самым обеспечивается неподвижность всего прибора в процессе работы.

В центральной части трегера расположен поворотный корпус 2. Он представляет собой полый стакан, который может вращаться вокруг вертикальной оси с помощью бесконечного микрометрического винта 9. Сверху в поворотный корпус вставлена угломерная часть 1 гирокомпаса, а снизу — гиروطставка 8. При поворотах корпуса они вращаются вместе с ним.

Внутри гиروطставки на торсионе подвешен чувствительный элемент (рис. 48), состоящий из гирокамеры 14 и полый цилиндрической штанги 18. В гирокамере установлен гиromотор 15 типа ГМА-2,5, имеющий при нормальной угловой скорости (1256 рад/с) кинетический момент 0,108 н·м·с. Это обеспечивает гирокомпасу направляющий момент $3,9 \cdot 10^{-6}$ н·м и период колебаний 7 мин (на широте 60°).

В гирокомпасе МВТ2 применен торсион особой конструкции. Он состоит из трех тонких и узких лент, сложенных в пучок плоскими сторонами. Благодаря этому при двойном запасе прочности торсион имеет малый удельный момент кручения. Нижний конец торсиона 4 с помощью втулки 23 жестко закреплен на ЧЭ. Верхний

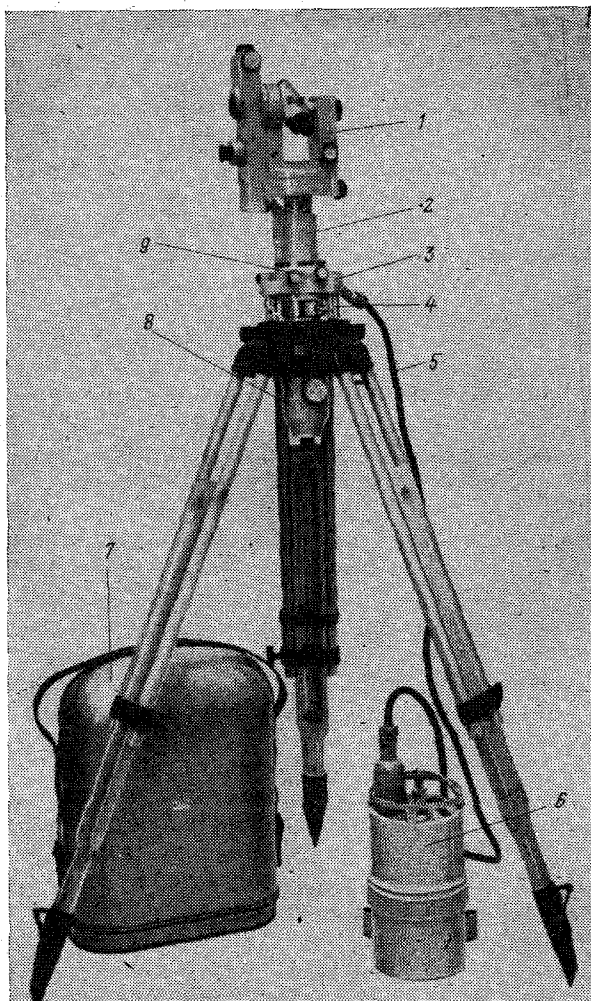


РИС. 47. Гирокомпас MBT2 в рабочем положении

конец зажат в специальном устройстве 2, которое обеспечивает возможность регулирования его положения по высоте и направлению относительно корпуса гироприставки. В процессе колебаний ЧЭ торсион закручивается. Специальные ловители ограничивают угол закручивания и тем самым предохраняют торсион и токоподводы от повреждения.

Перед транспортировкой во избежание обрыва торсиона ЧЭ закрепляется в гироприставке (арретируется). Для этого поворотом маховика 16 приводится во вращение коническая шестерня 17.

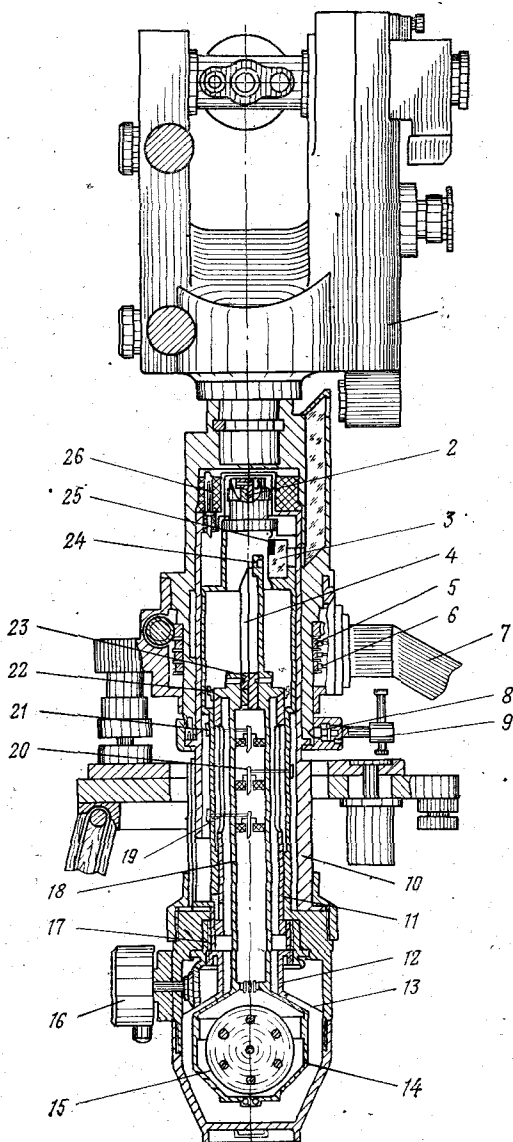


РИС. 48. Устройство гирокомпаса MBT2

Внутри ее ввинчены верхняя 11 и нижняя 12 гайки, имеющие резьбу разных направлений. Поскольку вращение гаек ограничено специальным стопором, то при повороте шестерни они перемещаются поступательно (одна вверх, другая вниз). Верхняя гайка упирается ловителями 22 в выступы на штанге ЧЭ, а ниж-

няя — в крышку гирокамеры. Действие их строго синхронно, поэтому при арретировании положение ЧЭ по высоте практически не меняется. Благодаря этому натяжение торсиона остается почти неизменным, что весьма важно для сохранения его физико-механических свойств.

В нижней части гироприставки расположен магнитный экран 13, который со всех сторон охватывает гиромотор и надежно предохраняет его от воздействия внешних магнитных полей напряженностью до 238 А/м.

Для защиты от атмосферных влияний и механических повреждений гироприставка закрыта снаружи пылевлагонепроницаемым корпусом 10.

На головке гироприставки располагается вилка 26 штепсельного разъема, который обеспечивает электрическую связь гироприставки с поворотным корпусом трегера.

Подача тока к разъему от кабеля 7 осуществляется через щетки 6 и контактные кольца 5, а затем по монтажным приводам (на рис. 48 не показаны). Такими же проводами штыри вилки соединены с колодками внутри гироприставки.

Передача тока с корпуса гироприставки на ЧЭ, висящий на торсионе, осуществляется с помощью трех пар маломоментных проводников 19. Они соединяют токопроводящие штыри 20 на ЧЭ с колодками 21 корпуса гироприставки. Благодаря специальной конструкции проводников обеспечиваются свобода колебаний ЧЭ в достаточных пределах и минимальное сопротивление колебаниям. Передача тока с токоподводящих штырей на обмотки статора гиромотора осуществляется монтажными проводами, расположенными внутри штанги ЧЭ.

При установке прибора гироприставка вставляется снизу в поворотный корпус и закрепляется байонетным затвором 8. Гайка затвора после полного закрепления гироприставки стопорится с помощью пускового ключа 9. Только после запираания гайки ключ может быть извлечен из гнезда на корпусе прибора и вставлен в блок питания для включения. Подобная блокировка делает невозможным извлечение гироприставки при включенном электропитании и тем самым гарантирует взрывобезопасность прибора.

Кроме того, затворный механизм гироприставки соединен с арретиром и не может быть открыт без предварительного арретирования ЧЭ. Этим исключается возможность обрыва торсиона при снятии гироприставки с незаарретированным ЧЭ.

При подаче тока к гиромотору его ось вместе с ЧЭ совершает колебания относительно плоскости меридиана. Осуществить непосредственное наблюдение колебаний оси технически сложно, поскольку она находится за оболочками гирокамеры и гироприставки. Поэтому практически наблюдают колебания не самой оси, а жестко связанного с ней плоского зеркала 24, которое закреплено на верхушке ЧЭ.

Для наблюдения колебаний в верхней части корпуса гиросприставки имеется смотровое окно, закрытое защитным стеклом 3. Через нижнюю половину стекла можно наблюдать колебания зеркала ЧЭ, а верхняя половина покрыта с внутренней стороны амальгамой и является зеркалом 25 корпуса гиросприставки.

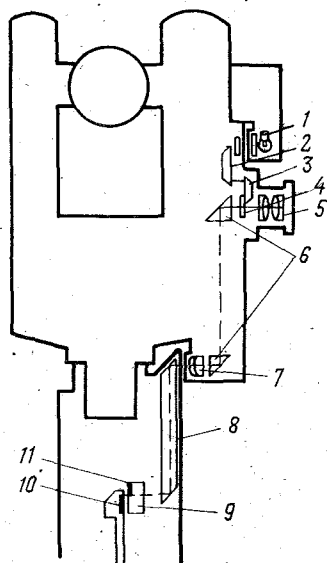
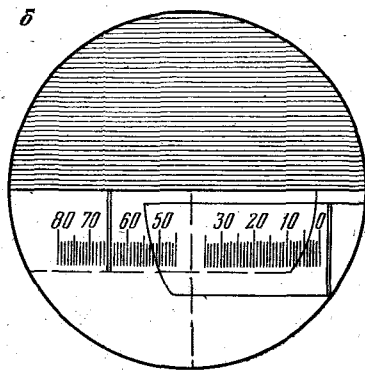
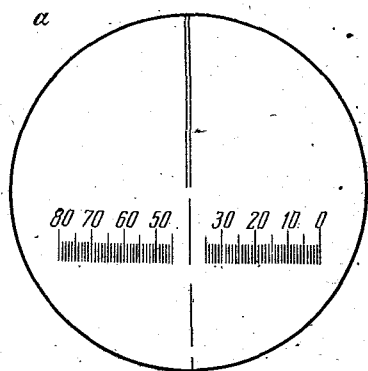


РИС. 49. Схема оптики автоколлиматора гиросприставки МВТ2

РИС. 50. Сетка нитей и поле зрения автоколлиматора гиросприставки МВТ2



Угломерная часть 1 гиросприставки МВТ2 представляет собой серийный теодолит ОТШ, в стойку которого вмонтирован автоколлиматор. С его помощью и осуществляются наблюдения за колебаниями зеркала ЧЭ.

Автоколлиматор и зеркало образуют единую оптическую систему, схема которой представлена на рис. 49. Для обеспечения компактности оптическая ось автоколлиматора сделана ломаной.

Визирный луч от глаза наблюдателя идет сначала горизонтально через окуляр 5 и сетку нитей 4. Затем после двойного преломления призмами 6 он попадает через объектив 7 в ромбическую призму 8. Здесь визирный луч снова дважды преломляется, проходит защитное стекло 9 и попадает на зеркала 10 и 11 (ЧЭ и корпуса гиропроставки).

Верхняя половина сети нитей — биссектор закрыта со стороны окуляра призмой 3. Для освещения биссектора служит лампа 1, свет от которой направляется призмами 2 и 3.

Полностью сетка нитей автоколлиматора изображена на рис. 50, а. Поскольку биссектор закрыт от наблюдателя, в поле зрения видна только нижняя часть сетки — шкала. Изображение биссектора можно видеть отраженным от зеркала ЧЭ или корпуса при определенном положении автоколлиматора (рис. 50, б).

Устройство автоколлиматора позволяет просто и точно устанавливать его визирную ось перпендикулярно к зеркалу ЧЭ. Это обеспечивается с помощью принципа Гаусса, суть которого поясняется на рис. 51. Здесь для простоты изображения визирная ось автоколлиматора сделана прямолинейной, а не ломаной.

Пусть перед автоколлиматором 2 перпендикулярно к его визирной оси (но с некоторым отклонением от вертикального положения) закреплено зеркало 1. При таком взаимном положении их биссектор сетки нитей отразится от зеркала и его изображение расположится в поле зрения строго посередине шкалы (рис. 51, а).

При повороте зеркала на угол δ отраженный луч отклоняется на угол 2δ и изображение биссектора смещается относительно середины шкалы (рис. 51, б). Чтобы вновь поставить визирную ось перпендикулярно к зеркалу, достаточно поворотом автоколлиматора совместить в поле зрения биссектор с центром шкалы. Таким образом, сущность принципа Гаусса состоит в возможности устанавливать визирную ось трубы строго перпендикулярно к зеркалу путем совмещения изображений в поле зрения.

Поскольку автоколлиматор закреплен на алидаде угломерной части, с его помощью можно зафиксировать отсчет по лимбу любое положение зеркала ЧЭ. Для этого достаточно поворотом алидады поставить автоколлиматор перпендикулярно к зеркалу ЧЭ (совместить центральный штрих шкалы и отраженный биссектор) и взять отсчет по лимбу. Практически это делается в точках реверсии, когда зеркало несколько мгновений стоит неподвижно.

Биссектор отражается не только от зеркала ЧЭ, но и от зеркала корпуса, поэтому в поле зрения видны два его изображения (см. рис. 50, б). При наблюдении колебаний одно из них перемещается, а другое неподвижно. Наличие второго зеркала позволяет фиксировать положение гиропроставки в пуске относительно лимба угломерной части. Это делается совершенно аналогично фиксации зеркала ЧЭ в точках реверсии.

Блок питания гирокомпаса МВТ2 состоит из аккумуляторной батареи 10 КНГК-3,5 и полупроводникового преобразователя тока,

заклученных в общий взрывобезопасный корпус. В верхней части корпуса помещается преобразователь, в нижней — батарея. Она состоит из 10 кадмиево-никелевых (КН), герметичных (Г), комбинированных (К) аккумуляторов и имеет количество электричества 3,5 Аг. Это позволяет выполнить без перезарядки 15—18 пусков гирокомпаса.

Постоянный ток от аккумуляторной батареи первоначально поступает на стабилизатор. В диапазоне рабочих напряжений батареи 10—12,5 В стабилизатор дает постоянное выходное напряжение 9,4 В, которое подается на преобразователь. Здесь постоян-

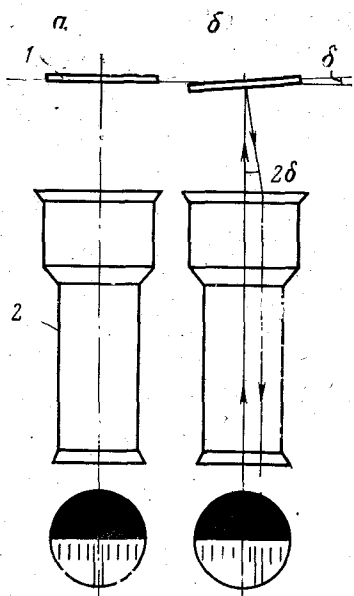
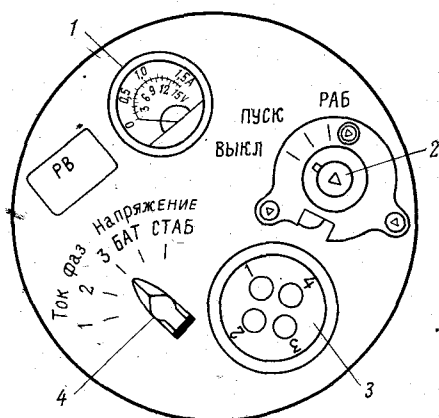


РИС. 51. Принцип работы автоклиматора

РИС. 52. Верхняя панель блока питания гирокомпаса МВТ2



ный ток преобразуется в трехфазный напряжением 30 В и частотой 430 Гц, используемый для питания гиromотора. Благодаря стабилизатору соблюдаются постоянные условия электропитания преобразователя. Это обеспечивает стабильность частоты трехфазного тока, а значит и скорость вращения гиromотора, что имеет большое значение для точности прибора.

Включение питания гирокомпаса осуществляется с помощью пускового ключа 2 (рис. 52), вставляемого в гнездо на верхней панели блока питания. Он имеет три положения, которые обеспечивают разные режимы работы гиromотора. С их помощью в каждом пуске осуществляется приведение оси в меридиан, о чем подробнее будет сказано ниже.

Контроль режима электропитания осуществляется по вольтметру-амперметру 1. Он позволяет с помощью переключателя 4

измерять силу тока в каждой фазе, а также напряжение батареи и стабилизатора.

Кроме этого, на верхней панели блока питания расположена розетка 3 для вилки кабеля трехфазного тока.

§ 35. ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ГИРОКОМПАСОВ МВТ2

При гироскопическом ориентировании отдельной стороны, как правило, выполняется четыре пуска гироскопа: пуск на поверхности на стороне с известным дирекционным углом; два пуска в шахте на ориентируемой стороне; заключительный пуск на поверхности на той же исходной стороне.

Установка прибора. Перед началом пуска гироскопа центрируется на одном из концов стороны и ориентируется осью на север с точностью 20° . Для этого с помощью винта поворотного корпуса прибор разворачивается таким образом, чтобы смотровое окно гироскопа было обращено на запад.

Наблюдение свободных колебаний. Свободные колебания представляют собой повороты разарретированного ЧЭ вокруг вертикальной оси в одну и другую сторону. Они происходят без подачи тока к гироскопу только за счет упругости торсиона. Целью наблюдений свободных колебаний является определение нуля торсиона ϵ_r . Эта величина используется в дальнейшем для вычисления поправки за закручивание торсиона.

Для удобства наблюдений до их начала автоколлиматор устанавливается перпендикулярно к зеркалу корпуса. Для этого поворотом алидады центральный штрих шкалы в поле зрения автоколлиматора совмещается с биссектором корпуса. Затем производится разарретирование ЧЭ. При этом он начинает совершать крутильные колебания, которые видны в поле зрения по движению биссектора ЧЭ. Осторожным разарретированием можно добиться небольшой амплитуды, так что колебания биссектора будут происходить в пределах шкалы. Их наблюдение заключается во взятии отсчетов по шкале против крайних положений биссектора (в точках реверсии). Обычно фиксируют четыре точки реверсии свободных колебаний (по две с каждой стороны). Положение равновесия n_0 вычисляется по формулам

$$n'_0 = \frac{\frac{n_1 + n_3}{2} + n_2}{2}; \quad n''_0 = \frac{\frac{n_2 + n_4}{2} + n_3}{2};$$
$$n_0 = \frac{n'_0 + n''_0}{2}, \quad (\text{III.21})$$

где n_1, n_2, n_3, n_4 — отсчеты по шкале в точках реверсии.

Запись результатов измерений и их обработка производятся в специальном бланке (табл. 1). Сюда же заносится отсчет по шкале n_k , соответствующий биссектору корпуса (обычно $n_k = 40$).

Точка визирования II

Наблюдатель

Иванов М. В.

Отсчеты N'_K, N''_K			Вычисление ε			
0	I	II	0	I	II	
124	51	48	125	22	52	$N_{от}$
124	51	42	124	51	45	N_K
			+0	31	07	ε_K
			+0	08	24	ε_T
			+0	39	31	$\varepsilon_K + \varepsilon_T$
			+0	01	46	ε

Измерение примычного направления и вычисление Γ

0	I	II	0	I	II	0	I	II	
278	17	54	278	17	48				
98	17	42				278	17	46	N
278	17	48	278	17	45	125	24	38	N_0
98	17	42				152	53	08	Γ

Попутно заметим, что у гирокомпыаса всегда работают два человека. Один из них выполняет измерения, другой параллельно производит их запись и обработку.

Нуль-пункт торсиона вычисляется по формуле

$$\varepsilon_T = t(n_K - n_0), \quad (III.22)$$

где $t = 52''$ — цена деления шкалы.

Величина ε_T представляет собой угол между нормальными к зеркалу гиропроставки и зеркалу ЧЭ в момент, когда он свободно и неподвижно висит на торсионе (в положении равновесия свободных колебаний). Значение нуль-пункта может изменяться от пуска к пуску в некоторых пределах. Это объясняется главным образом смещениями верхнего зажима торсиона при транспортировке, а также влиянием температуры. Для учета изменений величины ε_T методика работ предусматривает ее определение в каждом пуске.

Остановка свободных колебаний. Для точного приведения оси в меридиан необходимо, чтобы в начальный момент ЧЭ неподвижно висел на торсионе. Поэтому перед включением прибора выполняется остановка свободных колебаний. В момент реверсии ЧЭ, когда торсион закручен на максимальный угол, верхний зажим торсиона быстро поворачивается на тот же угол в сторону раскручивания. В результате момент кручения торсиона снимается, и ЧЭ в точке реверсии остается на месте. Практически для этого биссектор из точки реверсии переводится на отсчет положения равновесия n_0 с помощью бесконечного винта поворотного корпуса.

Приведение оси в меридиан необходимо для того, чтобы обеспечить в пуске небольшую амплитуду вынужденных колебаний (до 2°). Только при малой амплитуде справедливо равенство (III.17), а значит и равномерно вычисление поправки за закручивание торсиона по формуле (III.20).

Для осуществления режима приведения пусковой ключ на блоке питания ставится в положение «Пуск». При этом к гиromотору подается малый ток и он получает небольшую частоту вращения, примерно равную 0,1 номинальной. Возникает направляющий момент, который заставляет ось двигаться к меридиану.

Поскольку скорость вращения, а значит и кинетический момент ротора малы, период колебаний также получается небольшим (менее 4 мин). Поэтому ось прецессирует достаточно быстро и через строго определенное время после включения (40—60 с в зависимости от широты) достигает меридиана. В этот момент, определяемый, по секундомеру, пусковой ключ переводится в положение «работа». В результате ток резко усиливается и за счет этого происходит быстрый разгон гиromотора. Приложение большого разгоняющего момента к гиromотору тормозит ось около меридиана и дальнейшие ее колебания происходят с небольшой амплитудой (1—2°).

Физическая сущность этого явления поясняется на рис. 53. Здесь показан момент прохода осью меридиана, когда ее северный конец приподнят над горизонтом на угол β . Приложение к ротору разгоняющего момента M вызывает появление противоположного момента реакции M_p , приложенного к ЧЭ. Его можно разложить на две составляющие. Горизонтальная составляющая M_p' нейтрализуется отклонением ЧЭ от вертикального положения. Вертикальная составляющая M_p'' стремится повернуть ось гиromотора вокруг оси прецессии ZZ . Согласно теореме Резаля под действием

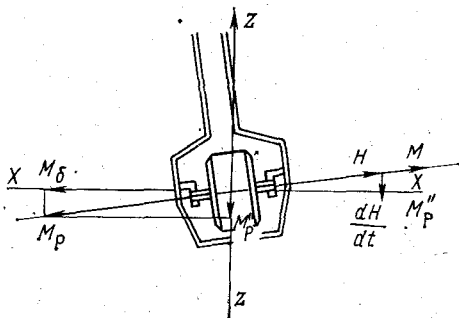


РИС. 53. Опускание северного конца оси за счет реактивного момента статора

момента M_p' конец вектора кинетического момента H приобретает линейную скорость $\frac{dH}{dt}$, направленную, как и вектор M_p' , вертикально вниз. Иными словами при разгоне гиromотора северный конец его оси опускается до горизонтального положения. При этом, естественно, прецессия прекращается, т. е. ось тормозится около меридиана.

В процессе приведения торсион удерживается в незакрученном состоянии, чтобы его момент сопротивления не влиял на движение ЧЭ. Для этого верхнее защемление торсиона вместе с гиropриставкой поворачивается синхронно с движением ЧЭ при помощи винта поворотного корпуса. Практически это осуществляется путем удерживания движущегося биссектора ЧЭ на отсчете n_0 до полного разгона гиromотора (около 2 мин).

Наблюдение вынужденных колебаний. Оно заключается в том, что в точках реверсии визирная ось автоколлиматора совмещается с нормалью к зеркалу ЧЭ и в этот момент берется отсчет по лимбу. Практически это осуществляется путем введения центрального штриха шкалы в остановившийся биссектор ЧЭ в момент реверсии. Как и в свободных колебаниях, наблюдают четыре точки реверсии. Положение равновесия также вычисляют по формулам

$$N'_{от} = \frac{\frac{N_1 + N_3}{2} + N_2}{2}; \quad N''_{от} = \frac{\frac{N_3 + N_4}{2} + N_3}{2};$$

$$N_{от} = \frac{N'_{от} + N''_{от}}{2}, \quad (III.23)$$

где N_1, N_2, N_3, N_4 — отсчеты по лимбу в точках реверсии.

Полученное положение равновесия $N_{от}$ называют отключенным или фактическим в отличие от истинного положения равновесия N_0 , которое имело бы место при отсутствии момента сопротивления торсиона.

Разность между промежуточными средними $N'_{от}$ и $N''_{от}$ не должна превышать $30''$. При невыполнении этого условия наблюдают дополнительные точки реверсии, пока указанный допуск не будет соблюден.

Измерение примычного направления. Попутно с наблюдением колебаний дважды измеряют примычное направление (обычно в начале и в конце пуска). При каждом измерении зрительную трубу наводят при КП и КЛ на другой пункт стороны и берут отсчеты по лимбу.

Разность начального и конечного измерений не должна превышать $30''$. За окончательное значение M принимается среднее из двух измерений.

Фиксирование зеркала корпуса. Дважды в течение пуска отсчетом по лимбу фиксируется положение зеркала гиropриставки. Эта операция выполняется аналогично фиксированию точек реверсий с той разницей, что против центрального штриха шкалы

равновесия оси II отклоняется от направления меридиана на величину ε . Под углом Δ к положению II располагается отклоненное положение равновесия V нормали к зеркалу ЧЭ. Оно определяется на лимбе отсчетом $N_{от}$, найденным из вынужденных колебаний, и также составляет со своим истинным положением IV угол ε .

Из рис. 54 видно, что при переходе нормали к зеркалу ЧЭ из начального положения VII в положение равновесия V торсион закручивается на угол

$$\psi = \varepsilon_t + \varepsilon_k. \quad (III.24)$$

В этом выражении значение ε_t уже определено из наблюдения свободных колебаний. Величина ε_k находится как разность отсчетов, соответствующих положениям V и VI , по формуле

$$\varepsilon_k = N_{от} - N_k. \quad (III.25)$$

Из измерений в пуске получены все необходимые данные для вычисления поправки за закручивание торсиона по формуле

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_k}{D}. \quad (III.26)$$

Вычисление гироскопического азимута стороны. Поправка ε вводится со своим знаком в отклоненное положение равновесия

$$N_0 = N_{от} + \varepsilon. \quad (III.27)$$

После этого рассчитывают гироскопический азимут стороны по формуле

$$\Gamma = N - N_0. \quad (III.28)$$

Значение Γ является конечным результатом любого пуска. Его геометрический смысл рассмотрен ниже.

Поправка гирокомпас. Полученный отсчет N_0 характеризует истинное положение равновесия IV нормали к зеркалу. В этом положении нормаль составляет с меридианом угол Δ . Если поворотом алидады установить на лимбе отсчет N_0 , то визирная ось автоколлиматора совместится с положением равновесия нормали IV и тоже составит с меридианом угол Δ .

Автоколлиматор и зрительная труба жестко закреплены на угломерной части и образуют неизменный угол τ , который называется постоянной угломерной части (в МВТ2 $\tau \approx 90^\circ$). Когда ось автоколлиматора находится в положении IV , ось зрительной трубы занимает положение I . При этом она составляет с меридианом угол

$$\delta = \tau - \Delta, \quad (III.29)$$

называемый поправкой гирокомпаса. Если принять, что τ и Δ могут быть сами по себе положительными и отрица-

тельными величинами, то значение поправки можно выразить алгебраической суммой

$$\delta = \tau + \Delta. \quad (\text{III.30})$$

Таким образом, поправкой giroкомпы называется угол, который образует визирная ось зрительной трубы с меридианом в момент, когда ось автоколлиматора совпадает с истинным положением равновесия нормали к зеркалу ЧЭ, т.е., когда на лимбе установлен отсчет N_0 .

Из выражения (III.29) видно, что поправка giroкомпы есть постоянная величина. Ее стабильность обеспечивается жесткостью

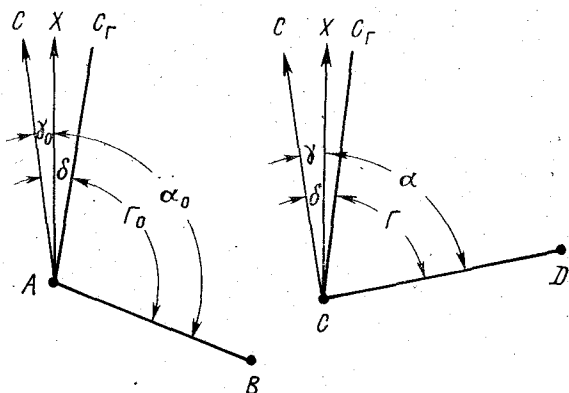


РИС. 55. Схема производства гироскопического ориентирования

ЧЭ и угломерной части giroкомпы. Из этого следует, что в любом пуске при установке на лимбе отсчета N_0 ось зрительной трубы располагается под неизменным углом δ к меридиану. Это направление принято называть гироскопическим меридианом. Он развернут относительно истинного меридиана на постоянный для данного прибора угол δ .

Как видно из формулы (III.28), гироскопический азимут Γ стороны представляет собой угол, образуемый данной стороной с гироскопическим меридианом. Он отличается от истинного азимута на величину поправки giroкомпы.

Определение дирекционного угла. Гироскопическое ориентирование начинается с определения поправки giroкомпы. Для этого производится его пуск на поверхности на стороне AB с известным дирекционным углом (рис. 55). Сравнивая истинный азимут этой стороны с ее гироскопическим азимутом Γ_0 , полученным из пуска, можно вычислить поправку giroкомпы по формуле

$$\delta = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0. \quad (\text{III.31})$$

где α_0 — дирекционный угол исходной стороны; γ_0 — сближение меридианов для точки стояния гирокомпаса на поверхности.

Затем из пуска в шахте определяется гирокопический азимут ориентируемой стороны CD . Как следует из рис. 55, ее дирекционный угол

$$\alpha = \delta + \Gamma - \gamma, \quad (\text{III.32})$$

где γ — сближение меридианов для точки стояния гирокомпаса в шахте.

Подставляя в выражение (III.32) значение поправки из выражения (III.31), получаем окончательную формулу

$$\alpha = \alpha_0 + \Gamma - \Gamma_0 + \delta\gamma, \quad (\text{III.33})$$

где $\delta\gamma = \gamma_0 - \gamma$ — разность сближений меридианов для точек стояния гирокомпаса на поверхности и в шахте, которая вычисляется по формуле

$$\delta\gamma = \mu_0 Y_0 - \mu Y, \quad (\text{III.34})$$

где Y_0 и Y — ординаты точек стояния гирокомпаса на поверхности и в шахте (даются с точностью до 0,01 км); μ_0 и μ — разности сближений меридианов на 1 км разности ординат для тех же точек (определяются по таблицам в зависимости от широты).

Если исходная и ориентируемая стороны расположены близко друг от друга, то $\mu_0 = \mu$ и формула (III.34) приобретает более простой вид

$$\delta\gamma = \mu (Y_\sigma - Y). \quad (\text{III.35})$$

Для контроля и повышения точности гирокопический азимут ориентируемой стороны определяется обычно двумя пусками. За его окончательное значение принимается среднее из двух результатов.

Число пусков на исходной стороне (для определения поправки гирокомпаса) может быть и больше двух. Это зависит от характера задач, которые будут решаться на основе результатов гирокопического ориентирования. Однако в любом случае должен быть обеспечен контроль неизменности поправки путем ее определения до и после работ в шахте. Вопрос о допустимом интервале времени между начальным и заключительным определением поправки пока строго не решен. При производстве работ гирокомпасом МВТ2 он обычно составляет несколько дней. За это время бригада исполнителей производит пуски на 5—10 ориентируемых сторонах. Для гирокомпасов с более стабильной поправкой указанный интервал увеличивается до 2—3 месяцев.

Окончательный контроль гирокопического ориентирования осуществляется по разности определений гирокопического азимута одной и той же стороны (исходной или ориентируемой). Для гирокомпаса МВТ2 она не должна превышать 2'.

Из отечественных гирокомпасов (помимо МВТ2) представляют интерес модели МВТ4 и МВБ3. Первая из них уже выпускается и имеется на ряде горных предприятий, вторая готовится к производству. Зарубежные гирокомпасы отечественной маркшейдерской службой используются редко. Поэтому ниже при их рассмотрении отмечены лишь принципиальные конструктивные отличия этих приборов от гирокомпаса МВТ2.

Гирокомпас МВТ4 разрабатывался на базе гирокомпаса МВТ2 с целью получить более легкий и компактный прибор, способный нормально работать при небольших побочных вибрациях корпуса, поэтому в нем сохранились основные узлы исходной модели. Масса прибора в транспортном положении 27,5 кг. Он позволяет за 25 мин определить гироскопический азимут стороны с точностью 30" (при наблюдении четырех реверсий).

Общий вид гирокомпаса МВТ4 представлен на рис. 56. Как и гирокомпас МВТ2, он состоит из трегера 3 с поворотным корпусом 2, в который сверху вставлена угломерная часть 1, а снизу гироблок 4.

Важной особенностью прибора является объединение блока питания и гироприставки в одном гироблоке.

Угломерная часть МВТ4 выполнена на базе более совершенного теодолита Т5. Что же касается оптической системы автоколлиматор — зеркало ЧЭ, то она, как видно из рис. 57, практически не изменилась.

Внутри гироблока на торсионе 1 подвешен ЧЭ. Он состоит из гиروزла 7 и штанги 3, к верхушке которой прикреплено зеркало 14. Системы токоподвода 13 и арретирования 5 по сравнению с гирокомпасом МВТ2 принципиальных изменений не претерпели.

Главной конструктивной особенностью гирокомпаса МВТ4 является наличие демфирующего устройства. Оно предназначено

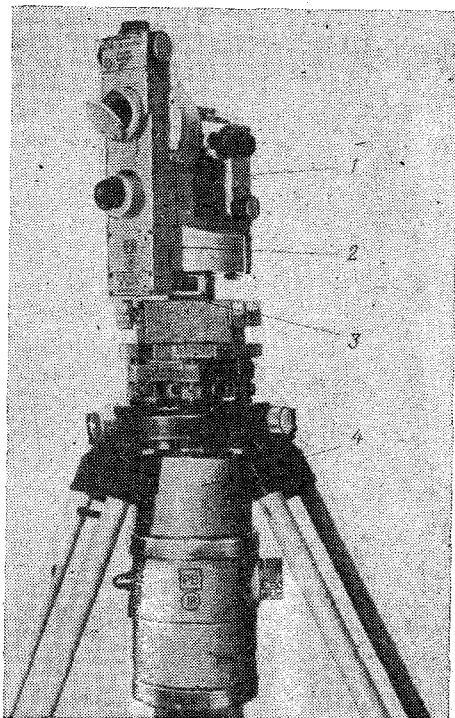


РИС. 56. Общий вид гирокомпаса МВТ4

для успокоения побочных колебаний ЧЭ, которые могут возникнуть из-за действия на прибор ветра или вибраций основания. Демпфирующее устройство представляет собой два одинаковых по конструкции демпфера, расположенных симметрично относительно центра тяжести ЧЭ (на рис. 57 показан только один из них). Демпфер состоит из резервуара 11, заполненного вязкой жидкостью, и погруженного в нее цилиндра 10. Резервуар закреплен на верхней арретирной гайке 4, а цилиндр вместе с крышкой 12 резервуара — на ЧЭ.

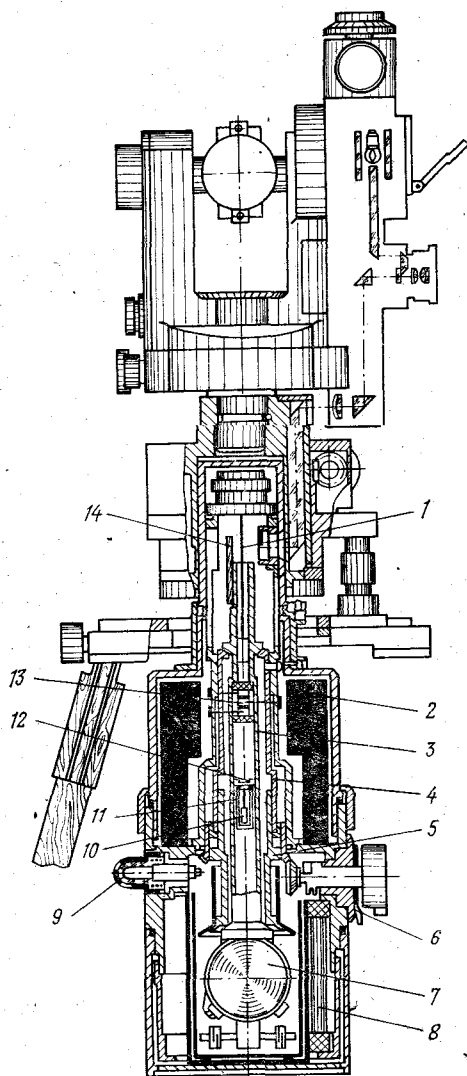


РИС. 57. Устройство гирокомаса МВТ4

В рабочем положении цилиндр полностью погружен в жидкость, но между резервуаром и крышкой имеется небольшой зазор. Нахождение цилиндра в жидкости гасит побочные колебания ЧЭ и в то же время не мешает его свободным и вынужденным колебаниям в процессе пуска. При арретировании ЧЭ вместе с арретирной гайкой поднимается резервуар. При этом крышка плотно прижимается к резервуару, закрывая его и обеспечивая сохранность жидкости во время транспортировки.

Опыт применения гирокомаса МВТ4 показал, что демпфер такой конструкции является эффективным средством гашения побочных колебаний ЧЭ. Однако в нем, к сожалению, не обеспечивается полная герметичность резервуара при арретировании. Поэтому в процессе эксплуатации прибора приходится периодически доливать жидкость.

Внутри гироблока помещена аккумуляторная батарея 8. Она состоит из 12 цилиндрических аккумуляторов, которые соединены в виде подковы, охватывающей гироузел. Батарея имеет емкость

110

110

0,9 А·ч, что обеспечивает производство 6—8 пусков. Разряд батареи контролируется лампой 9.

Постоянный ток от батареи поступает на преобразователь 2. Управление работой преобразователя (переключение в режимы приведения, разгона и работы) осуществляется с помощью рукоятки 6, которая закреплена соосно с маховиком арретира.

Измерения в пуске и их запись производятся так же, как у гирокомпаса МВТ2. Несколько иначе (при закрученном торсионе) осуществляется лишь режим приведения.

Кроме этого в гирокомпасе МВТ4 положение равновесия ЧЭ может определяться ускоренным способом из наблюдения двух точек реверсии и двух контрольных точек. При этом способе, помимо взятия отсчетов N_1 и N_2 в первых двух точках реверсии, отсчетами по лимбу N_1^k и N_2^k фиксируются два положения ЧЭ во время его движения. Первое из них выбирается примерно через 20—30 с после первой реверсии, второе — строго через половину периода колебаний после первого (для этого используется секундомер).

Нетрудно видеть, что выбранные положения одинаково отстоят от точек реверсии и потому симметричны относительно положения равновесия. Это позволяет дважды вычислить положение равновесия ЧЭ

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2}{2}; \quad N_0^k = \frac{N_1^k + N_2^k}{2}. \quad (\text{III.36})$$

Если разность N_0 и N_0^k не превышает 45", то за окончательное значение принимается среднее арифметическое. Остальные измерения в пуске выполняются как обычно. При этом способе отпадает необходимость в наблюдении третьей и четвертой реверсий. За счет этого продолжительность пуска сокращается на 4—5 мин.

Маркшейдерская взрывобезопасная буссоль (гиробуссоль) МВБЗ имеет точность 45—60" и предназначена для ориентирования при повседневных маркшейдерских работах. Масса прибора в транспортном положении 19 кг.

Конструктивно гиробуссоль резко отличается от предшествующих моделей (рис. 58). В ней прежде всего отсутствует привычная угломерная часть в виде теодолита с автоколлиматором. Ее роль играет специальный измерительный блок 4, который устанавливается в трегере 2 и при незакрепленном винте 3 может вращаться вокруг вертикальной оси. Сверху на нем укреплен гироэлектронный блок (гироблок) 1, который поворачивается относительно измерительного с помощью винта ручного привода 5.

Внутри гироблока помещаются ЧЭ 5, аккумуляторная батарея 1 и преобразователь 3 (рис. 59). Подвеска ЧЭ на торсионе 2, токоподвод 4 и система арретирования 6 выполнены примерно так же, как в гирокомпасах МВТ. В нижней части гироблока располагается зеркало 11 корпуса. Принципиальной особенностью конструкции являются две зеркальные призмы 7. Каждая из них

имеет 12 граней и развернута относительно другой на 15° . Обе призмы закреплены на днище ЧЭ, но входят в оптическую систему измерительного блока.

Измерительный блок предназначен для наблюдения свободных и вынужденных колебаний ЧЭ и измерения примычного направления. Его оптическая система включает автоколлиматор, зрительную трубу, две зеркальные призмы и зеркало корпуса.

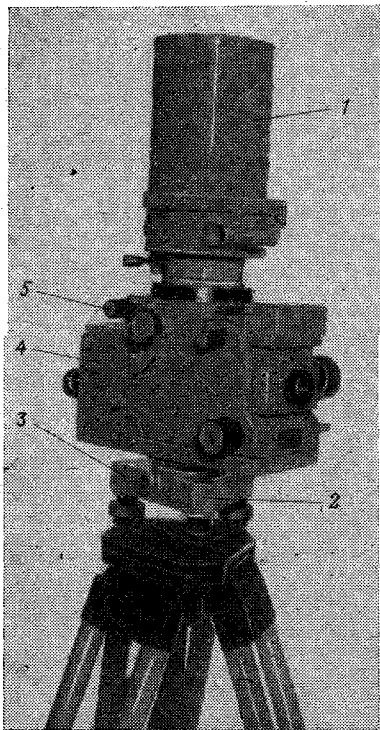


РИС. 58. Общий вид гиросуссоли МВБЗ

Автоколлиматор и зрительная труба частично объединены (они имеют общий окуляр 8 и сетку нитей 9). Дальнейший ход визирного луча и соответственно включение зрительного или автоколлимационного канала регулируется зеркалом 10.

Определение гироскопического азимута гиросуссолью МВБЗ складывается из тех же этапов, что и у гироскопов МВТ. Некоторые особенности наблюдений связаны со специфической системой отсчитывания. В ней, во-первых, отсутствует теодолит и, во-вторых, совмещенные автоколлиматор и зрительная труба в течение всего пуска занимают неизменное положение.

Пуск начинается с измерения примычного направления. Для этого поворотом измерительного блока труба наводится на второй пункт таким образом, чтобы визирный сигнал (отвес) попал на горизонтальную шкалу, имеющуюся в поле зрения трубы. Отсчет примычного направления N берется

против сигнала прямо по шкале и с учетом ее цены деления переводится в минуты и секунды.

Далее гироскоп ориентируется на север, труба переводится в автоколлимационный режим и после разарретирования ЧЭ наблюдаются свободные колебания. При этом роль зеркала играет та грань призмы, которая в результате разарретирования оказывается перед автоколлиматором.

Затем осуществляется режим приведения и по одной из граней наблюдаются вынужденные колебания. Обработка свободных и вынужденных колебаний вплоть до получения положения равновесия N_0 производится по формулам (III.21)—(III.27) так же, как у гироскопа МВТ2.

Отсчеты N_0 и N фиксируют положение равновесия нормали к рабочей грани и примычное направление относительно оси зрительной трубы. Тем самым оказывается зафиксированным и положение равновесия нормали к нулевой грани, так как последняя

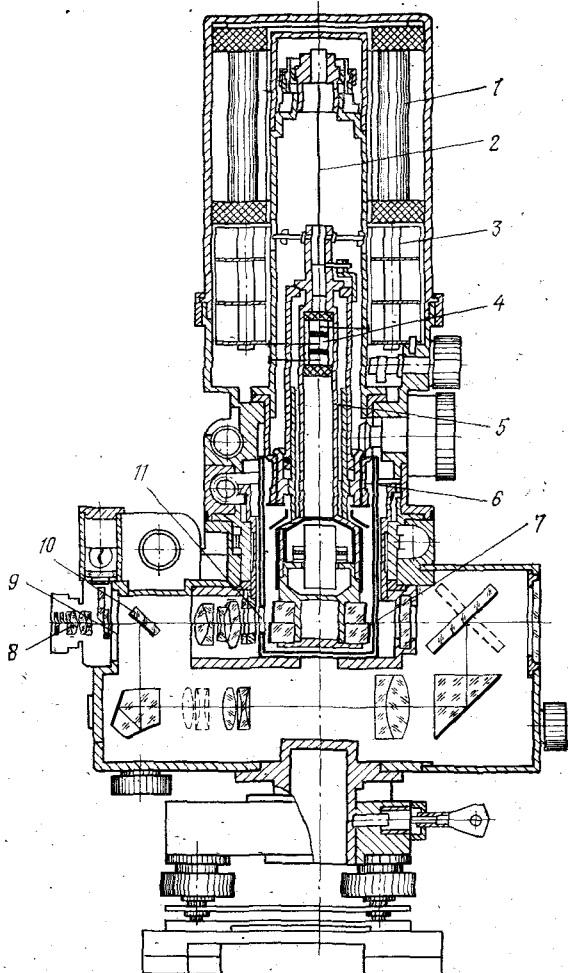


РИС. 59. Устройство гиросуссоли МВВЗ

располагается к рабочей под углом $15^\circ i$, где i — номер рабочей грани. Добавив этот угол к примычному направлению и взяв разность

$$\Gamma = N + 15^\circ i - N_0, \quad (\text{III.37})$$

получим угол между примычным направлением и положением равновесия нормали к нулевой грани, т. е. гироскопический азимут.

Из зарубежных моделей следует выделить гиротеодолиты венгерской фирмы МОМ, которые поставляются в нашу страну и имеются на ряде предприятий.

§ 37. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ

Под точностью гироскопического ориентирования обычно понимается средняя квадратическая погрешность определения дирекционного угла ориентируемой стороны относительно исходной стороны на поверхности. Она определяется точностью гирокомпаса и выбранной методикой ориентирования.

Под точностью гирокомпаса понимается средняя квадратическая погрешность m определения гироскопического азимута из одного пуска. Она является паспортной характеристикой прибора и при его выпуске с завода устанавливается экспериментально путем многократных пусков гирокомпаса на одной и той же стороне в разных условиях. Вычисление величины m производится по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n-1}}, \quad (\text{III.38})$$

где n — число определений гироскопического азимута; ε — отклонение отдельного значения гироскопического азимута от среднего арифметического.

Знание средней квадратической погрешности m позволяет достаточно просто оценивать точность определения дирекционного угла при любой методике ориентирования. Если рассмотреть дирекционный угол, вычисляемый по формуле (III.33), как функцию измеренных величин Γ и Γ_0 , то его средняя квадратическая погрешность выразится формулой

$$m_\alpha = \sqrt{m_{\Gamma_0}^2 + m_\Gamma^2}, \quad (\text{III.39})$$

где m_{Γ_0} и m_Γ — средние квадратические погрешности гироскопических азимутов исходной и ориентируемой сторон.

Каждый из этих азимутов в общем случае определяется как среднее арифметическое из нескольких пусков. Погрешности средних значений, очевидно, составляют

$$m_{\Gamma_0} = \frac{m}{\sqrt{k_0}}; \quad m_\Gamma = \frac{m}{\sqrt{k}}, \quad (\text{III.40})$$

где k_0 и k — число определений гироскопического азимута исходной и ориентируемой сторон.

Подставляя уравнение (III.40) в выражение (III.39), получаем окончательную формулу

$$m_{\alpha} = m \sqrt{\frac{1}{k_0} + \frac{1}{k}}. \quad (\text{III.41})$$

Если в выражении (III.41) принять $k_0 = k = 2$, то получим $m_{\alpha} = m$. Иными словами, при ориентировании с двукратным измерением гироскопических азимутов исходной и ориентируемой сторон точность определения дирекционного угла равна точности гирокомпаса.

Формула (III.41) позволяет объективно оценить точность гироскопического ориентирования лишь при условии, если средняя квадратическая погрешность m установлена достаточно надежно. Последнее может быть достигнуто, если пуски для нахождения величины m производятся в разных условиях. В частности, при заводском определении m изменение условий обеспечивается выполнением пусков во всем рабочем диапазоне температур гирокомпаса и транспортной тряской прибора между пусками. В результате средняя квадратическая погрешность устанавливается достаточно надежно.

При определении m по данным производственных измерений необходимо также использовать пуски, выполняемые в разных условиях. Этому требованию лучше удовлетворяют измерения на исходной стороне. Они выполняются до и после работ в шахте, т. е. со значительным разрывом во времени. Это, естественно, обеспечивает большую независимость измерений, чем при пусках на ориентируемых сторонах, которые выполняются друг за другом почти без смены условий.

При обработке по формуле (III.38) многократных определений гироскопического азимута исходной стороны приходится использовать совокупность пусков на этой стороне, выполненных в течение нескольких недель или даже месяцев. За этот период может произойти изменение поправки гирокомпаса, в результате чего гироскопический азимут исходной стороны также изменится. В таком случае использование всех его значений для нахождения m по формуле (III.38) дает завышенную величину, поскольку в каждое уклонение ϵ войдет изменение поправки гирокомпаса. Поэтому в производственных условиях более целесообразно вычислять погрешность m по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[d_0 d_0]}{2n}}, \quad (\text{III.42})$$

где d_0 — разность двух ближайших определений гироскопического азимута исходной стороны, выполненных в разных условиях (например, до и после работы в шахте); n — число разностей.

Достоинство формулы (III.42) состоит в том, что обнаруженное изменение поправки входит только в одну разность d_0 и по-

этому существенно не влияет на величину m . Однако и формула (III.42) не всегда дает объективный результат. Это объясняется тем, что смежные пуски на исходной стороне, несмотря на значительный разрыв во времени, выполняются при близких температурах. Поэтому разности d_0 слабо отражают те изменения температурных условий, которые происходят между пусками на поверхности и в шахте. Это видно хотя бы из того, что точность гирокомпаса МВТ2 по данным производственных измерений получается, как правило, в 1,5—2 раза выше паспортной.

Влияние температуры на гироскопические измерения проявляется главным образом в виде температурных деформаций гирокомпаса, которые происходят между пусками на поверхности и в шахте. Возникающее при этом изменение поправки прибора полностью входит в погрешность дирекционного угла. В летнее и зимнее время, когда разность температур на поверхности и в шахте особенно значительна, изменение поправки достигает 10—15" и таким образом существенно сказывается на точности определения дирекционного угла.

По указанным причинам при оценке точности гироскопического ориентирования необходимо принимать во внимание перепад температур. Если он не превышает 3—4°, то оценку точности можно производить по формулам (III.41) и (III.42). При большей разности температур для получения надежной оценки следует использовать в формуле (III.41) паспортную точность гирокомпаса.

В последнем случае возможен и другой путь, при котором зависимость поправки гирокомпаса от температуры предварительно определяется из специальных исследований прибора, а затем в результаты ориентирования вводится поправка, учитывающая эту зависимость.

Практическое использование такого пути целесообразно только при особо ответственных работах, когда для достижения высокой точности экономически выгодно произвести специальные исследования гирокомпаса.

Некоторые особенности имеет оценка точности гироскопических определений, выполняемых для создания подземных опорных сетей. Дело в том, что при производстве таких определений одно значение поправки гирокомпаса используется для вычисления дирекционных углов нескольких ориентируемых сторон. При этом погрешность определения поправки входит как систематическая часть в значения всех дирекционных углов. Наличие систематической погрешности весьма неблагоприятно сказывается на точности пунктов создаваемой сети. Поэтому, чтобы правильно оценить пригодность результатов гироскопических определений, для создания сети следует, помимо средней квадратической погрешности каждого из них, указывать погрешность определения поправки, которая является их общей систематической частью.

Глава IV ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА

§ 38. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вертикальной съемкой называется совокупность измерений и вычислений, в результате которых определяются высоты (координаты Z) отдельных точек.

Вертикальная съемка в шахте производится для следующих основных целей: а) определения координат Z пунктов, заложенных в горных выработках; б) контроля уклонов основных откаточных выработок; в) задания направления в вертикальной плоскости выработкам, проходимым встречными забоями; г) исследования и изображения формы залегания полезного ископаемого.

Для сопоставления съемок соседних шахт и для увязки их с земной поверхностью все подземные вертикальные съемки должны вестись в единой системе высот. В настоящее время высоты всех пунктов вычисляются, как правило, относительно нуля Кронштадтского футштока, фиксирующего средний (за много лет) уровень Балтийского моря. Эта система высот называется **Б а л т и й с к о й**.

На территории СССР проложена государственная нивелирная сеть I, II, III, IV классов с отметками реперов в Балтийской системе высот. Подземные съемки должны опираться на реперы государственной сети не ниже IV класса. В отдельных районах могут применяться условные (местные) системы высот.

Определение высот пунктов подземной вертикальной съемки складывается из четырех этапов: а) геометрическое нивелирование на поверхности от репера или марки IV класса (не ниже) государственной сети до устья шахты; б) передача высотной отметки в шахту; в) геометрическое нивелирование в горизонтальных или наклонных (не более $5-8^\circ$) выработках; г) тригонометрическое нивелирование в наклонных выработках.

Геометрическое нивелирование на поверхности осуществляется инструментами и методами, рассмотренными в курсе геодезии.

Передача координаты Z через вертикальный ствол может быть осуществлена глубиномером (дальномером) или длинной лентой. Известен также способ передачи координаты Z стальной проволокой. Однако он отличается высокой трудоемкостью и в настоящее время практически не находит применения.

Нивелирование в шахте ведется между реперами, постоянными пунктами теодолитных ходов и по головке рельсов. Реперы закладываются на каждом горизонте горных выработок в местах, обеспечивающих их незыблемость и сохранность. Репер может быть заложен в почве или в боку выработки (рис. 60), реже — в кровле выработки или в фундаментах стационарных установок.

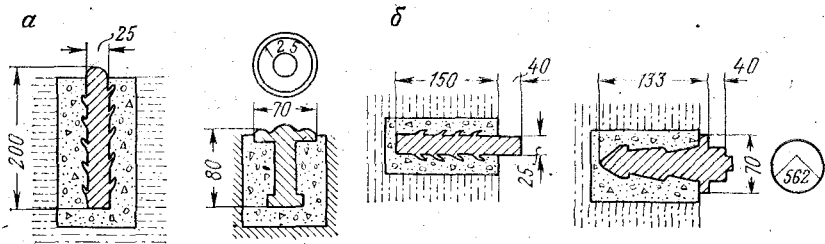


РИС. 60. Подземные реперы:
а — в почве выработки; б — в стенке выработки

Закладываться реперы должны парами на расстоянии 20—50 м друг от друга. Расстояние между парами реперов не должно быть более 300—500 м. Разрешается в качестве реперов использовать постоянные пункты теодолитной съемки.

В околостольном дворе шахты закладывают не менее трех реперов. Высотные отметки их определяются при передаче координаты Z с поверхности в шахту.

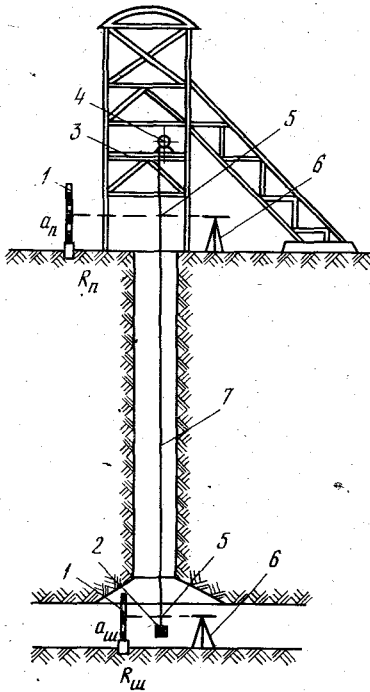


РИС. 61. Передача координаты Z длинной лентой:

1 — нивелирные рейки; 2 — груз; 3 — временный полук; 4 — лебедка с лентой; 5 — отсчеты по ленте; 6 — нивелиры; 7 — лента

§ 39. ПЕРЕДАЧА ВЫСОТНОЙ ОТМЕТКИ ДЛИННОЙ ЛЕНТОЙ

Сущность задачи состоит в следующем. На поверхности имеется репер $R_{п}$, заложенный вблизи устья ствола шахты, высотная отметка $Z_{п}$ которого известна (рис. 61). В шахте заложен другой репер $R_{ш}$. Требуется определить отметку $Z_{ш}$ репера $R_{ш}$ с помощью длинной ленты.

Ленты бывают длиной 100, 200, 400 и даже 1000 м. Длина ленты, применяемой для решения рассматриваемой задачи, должна быть не меньше превышения репера $R_{п}$ над репером $R_{ш}$.

Для производства измерений на верхней приемной площадке устраивается временный полук, на котором устанавливается лебедка с лентой. Лента опускается в шахту, где на ее нижнем конце подвешивается груз Q_0 , по массе равный грузу, при кото-

ром производилось компарирование данной ленты. На поверхности и в шахте устанавливаются два нивелира. Каждый нивелир устанавливается так, чтобы в его трубу были видны лента и рейка, установленная на соответствующем репере.

При измерениях одновременно (по сигналу) берут в нивелиры отсчеты $N_n, N_{ш}$ — по ленте, а затем отсчеты $a_n, a_{ш}$ — по рейкам, установленным на реперах R_n и $R_{ш}$. Кроме того, измеряют среднюю температуру воздуха в стволе шахты

$$t_{cp} = \frac{t_n + t_{ш}}{2}. \quad (IV.1)$$

Высотная отметка $Z_{ш}$ репера $R_{ш}$ в шахте определяется по формулам:

$$Z_{ш} = Z_n - \Delta Z; \quad (IV.2)$$

$$\Delta Z = (N_n - N_{ш}) + (a_{ш} - a_n) + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_t + \Delta L_k, \quad (IV.3)$$

где ΔL_1 — поправка за удлинение ленты от собственной массы; ΔL_2 — поправка за удлинение ленты от массы груза, если она не равна массе груза Q_0 при компарировании; ΔL_t — поправка за температуру; ΔL_k — поправка за компарирование ленты.

Поправку ΔL_1 находят следующим образом. Пусть лента AB , общая длина которой L подвешена в точке A (рис. 62). На небольшом расстоянии от начала ленты возьмем произвольную точку C и найдем растяжение участка $L' = AC$. Рассматриваемый участок ленты подвергнут воздействию сил тяжести массы конца ленты CB и собственной массы участка ленты AC .

Сила тяжести (H) конца ленты CB равна

$$F_{CB} = (L - L') S \gamma g, \quad (IV.4)$$

где $L - L'$ — длина конца ленты CB , м; S — площадь поперечного сечения ленты, м²; γ — плотность металла ленты (для стали $\gamma = 7874$ кг/м³); $g = 9,81$ м/с² — ускорение свободного падения.

Сила тяжести участка AC ленты равна

$$F_{AC} = L' S \gamma g. \quad (IV.5)$$

Но сила растягивающего усилия собственной массы изменяется от $F = F_{AC}$ в точке A до $F = 0$ в точке C . Следовательно, растягивающий эффект собственной массы участка AC эквивалентен действию силы $F = 1/2 F_{AC}$, приложенной в точке C .

Тогда по закону Гука растяжение участка AC (м) под действием силы тяжести всей ленты составит

$$\Delta L'_1 = \frac{(F_{CB} + 1/2 F_{AC}) L'}{ES}, \quad (IV.6)$$

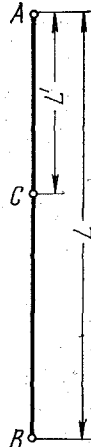


РИС. 62. К определению поправки за удлинение ленты от собственной массы

где E — модуль упругости (Юнга) металла ленты (модуль Юнга для углеродистой стали $E = 2,5 \cdot 10^{11}$ Па).

Подставим выражения (IV.4) и (IV.5) в уравнение (IV.6) и получим

$$\Delta L'_1 = \frac{\gamma g (L - 1/2L') L'}{E}.$$

Если принять $L' = L$, т. е. определить растяжение всей ленты, то

$$\Delta L_1 = \frac{L^2 \gamma g}{2E}, \quad (\text{IV.7})$$

Поправку ΔL_2 за растяжение (м) от груза массой Q находим по закону Гука:

$$\Delta L_2 = \frac{L(Q - Q_0)g}{ES}, \quad (\text{IV.8})$$

где Q_0 — масса груза натяжения ленты при компарировании, кг.

Поправку Δl_t находим по формуле

$$\Delta l_t = \alpha L (t_{cp} - t_0), \quad (\text{IV.9})$$

где t_{cp} — средняя температура воздуха в стволе шахты; t_0 — температура компарирования ленты; α — коэффициент линейного расширения материала, из которого сделана лента ($\alpha = 0,0000115$).

Поправку за компарирование ΔL_k берут по аттестату ленты.

Передача в шахту высотной отметки должна быть сделана дважды. При втором измерении меняются высота обоих нивелиров и положение ленты в стволе. Последняя должна быть несколько приподнята или опущена.

Разность двух определений высотной отметки (мм) не должна превышать величины

$$\Delta h = (10 + 0,2H), \quad (\text{IV.10})$$

где H — измеряемая глубина ствола, м.

§ 40. ПЕРЕДАЧА ВЫСОТНОЙ ОТМЕТКИ ДЛИНОМЕРОМ ДА-2

Впервые рассматриваемый способ передачи координаты Z через вертикальный шахтный ствол был осуществлен глубиномером проф. Ф. Ф. Павлова. В его приборе стальная проволока диаметром 0,8 мм с лебедки через направляющий ролик проходит по окружности мерного диска (угол обхвата более 180°) и под действием закрепленного на конце небольшого груза опускается в ствол шахты. Опускание груза вызывает вращение мерного диска, число оборотов которого (целое число и доли) определяется отсчетами по счетчику оборотов.

Путь ΔZ , пройденный грузом (концом проволоки), очевидно, может быть найден из выражения

$$\Delta Z = \mu (N_2 - N_1), \quad (IV.11)$$

где μ — цена одного деления счетчика оборотов, т. е. расстояние, на которое опускается груз при повороте диска на одно деление счетчика оборотов; N_1, N_2 — отсчеты по счетчику оборотов мерного диска до и после спуска груза.

На основе глубиномера проф. Ф. Ф. Павлова ВНИМИ в содружестве с Харьковским заводом маркшейдерских инструментов создали автоматический длиномер ДА-2, который выпускает указанный завод.

В приборе ДА-2 (рис. 63) мерный диск 2 и барабан 3 с, намотанной на нем проволокой смонтированы на общей горизонтальной оси, установленной в станине 6 ручной лебедки. Проволока направляется с барабана на мерный диск системой роликов 4, огибая его на 270° . Барабан лебедки жестко соединен с горизонтальной осью прибора и вращается рукояткой 5. Мерный диск свободно (независимо от барабана) вращается на той же горизонтальной оси.

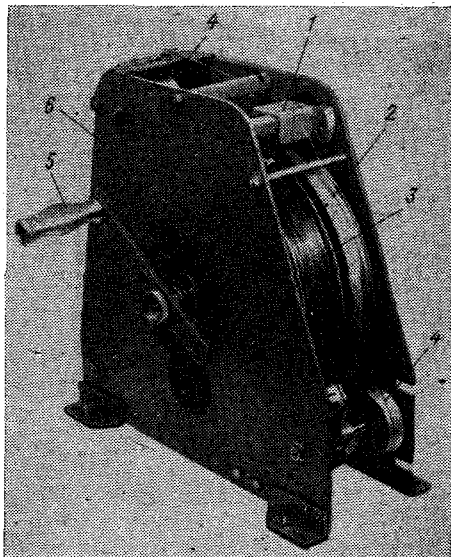


РИС. 63. Длинномер ДА-2

Если конец проволоки, разматывая с барабана, опускать в шахту, то это вызывает вращение огибаемого ею мерного диска.

Мерный диск шестернями соединен со счетчиком оборотов 1, по которому отсчитываются сотни, десятки и единицы полных оборотов диска. Длина окружности диска равна 1 м. Поэтому по счетчику оборотов отсчитывается целое число метров пути, пройденного концом проволоки. Для определения долей оборотов окружность одной реборды диска разделена на 100 частей. Десятые доли делений оцениваются на глаз. Из сказанного следует, что в целом число оборотов мерного диска оценивается с точностью до третьего знака после запятой, а путь, пройденный концом проволоки до миллиметра.

Мерный диск сделан из металла с небольшим коэффициентом теплового расширения. Для учета температуры диска к нему прикреплен термометр.

На нижний конец проволоки подвешивается рейка-груз (рис. 64, а), представляющая собой стальной цилиндр, залитый свинцом. На поверхности цилиндра нанесены сантиметровые деления, оцифрованные в шахматном порядке. Такое устройство рейки-груза и ее оцифровка позволяют брать отсчеты даже при ее вращении. В комплекте прибора имеется также контрольная рейка (рис. 64, б), надеваемая на проволоку на 1—2 м выше рейки-

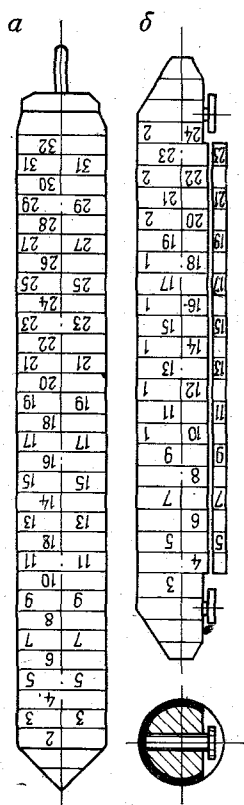
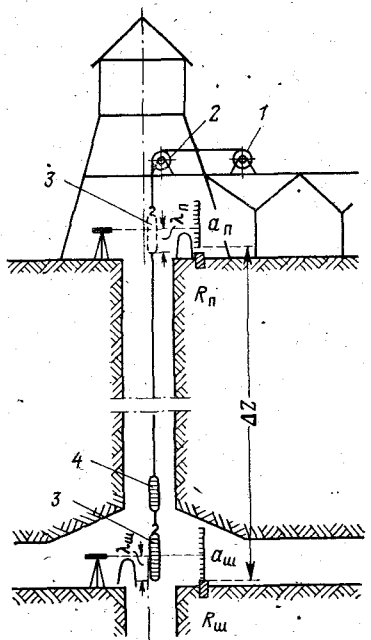


РИС. 64. Рейки к длиномеру ДА-2:
а — груз-рейка; б — контрольная рейка

РИС. 65. Передача координаты Z длиномером ДА-2



груза. Контрольная рейка изготовлена из алюминия и крепится на проволоке двумя зажимными винтами.

Для передачи координаты Z через вертикальный ствол (рис. 65) с поверхности в шахту (с репера R_n на репер $R_{ш}$) прибор ДА-2 устанавливают над стволом (например, на полу поднятой и закрепленной клетки) или на приемной площадке. В последнем случае проволока в ствол пропускается через закрепленный в станке копра направляющий блок 2. К концу проволоки подвешивают рейку-груз 3, а на расстоянии 1—2 м закрепляют на проволоке контрольную рейку 4 (в верхнем положении на рис. 65 не показана). Разматывая проволоку с барабана лебедки, опускают

рейку-груз на уровень нивелира, установленного на нулевой площадке ствола, и при неподвижном положении ее (барабан лебедки на защелке) берут отсчеты:

λ — в нивелир по рейке-грузу;
 N_{II} — по счетчику и делениям мерного диска дальномера;
 a_{II} — по рейке, установленной на репере R_{II} .

Затем на уровень нивелира опускают контрольную рейку и вновь берут отсчеты. Сделав два цикла отсчетов на поверхности, опускают рейку-груз (равномерно разматывая лебедку) на уровень нивелира, установленного в околоствольном дворе, где аналогичным образом берут отсчеты λ_{III} , N_{III} , a_{III} при измерениях по рейке-грузу и контрольной рейке.

Второй полурием измерений выполняют при подъеме рейки-груза, изменяя предварительно начальное положение рейки-груза и горизонты нивелиров.

В начале и конце работы измеряют температуру воздуха в околоствольном дворе и на поверхности, а также температуру мерного диска.

Измеренные превышения ΔZ в каждом полуриеме определяются (раздельно для рейки-груза и контрольной рейки) по формуле

$$\Delta Z = (N_{II} - N_{III}) + (a_{II} - a_{III}) + (\lambda_{III} - \lambda_{II}). \quad (IV.12)$$

В измеренные превышения вводят следующие поправки (м):
 1. За диаметр проволоки

$$\Delta d_{II} = 0,001\pi d (N_{II} - N_{III}), \quad (IV.13)$$

где d — диаметр проволоки (по паспорту или измеряется микрометром), мм; N_{II} , N_{III} — отсчеты по длиномеру, м;

$$\pi = 3,1416.$$

2. За разность температуры проволоки в стволе и на земной поверхности

$$\Delta t_{II} = \alpha_{II} (N_{II} - N_{III}) (t_{cp} - t_{II}); \quad (IV.14)$$

$$t_{cp} = \frac{t_{II} + t_{III}}{2}, \quad (IV.15)$$

где α_{II} — коэффициент линейного расширения металла проволоки (для стали $\alpha_{II} = 0,0000115$); t_{II} , t_{III} — температура воздуха соответственно на поверхности и в околоствольном дворе.

3. За разность температуры мерного диска при измерении и компарировании

$$\Delta t_{d} = \alpha_{d} (N_{II} - N_{III}) (t_{d} - t_0), \quad (IV.16)$$

где α_{d} — коэффициент линейного расширения металла диска; t_{d} , t_0 — температура диска соответственно при измерении и компарировании.

4. За компарирование мерного диска

$$\Delta k = (N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}) \cdot (l - 1), \quad (\text{IV.17})$$

где l — длина окружности мерного диска по паспорту завода, м.

Исправленное превышение $\Delta Z_{\text{и}}$ между реперами вычисляется для каждого полуприема по формуле

$$\Delta Z_{\text{и}} = \Delta Z + \Delta d_{\text{д}} + \Delta t_{\text{п}} + \Delta t_{\text{д}} + \Delta k. \quad (\text{IV.18})$$

Расхождение между превышениями $\Delta Z_{\text{и}}$ при спуске и подъеме (мм) не должно превышать величины

$$\Delta h = (10 + 0,2H), \quad (\text{IV.19})$$

где H — глубина ствола, м.

Высотную отметку определяемого репера $R_{\text{ш}}$ вычисляют по формуле

$$Z_{\text{ш}} = Z_{\text{п}} + \Delta Z_{\text{ср}}, \quad (\text{IV.20})$$

где $Z_{\text{п}}$ — отметка исходного репера $R_{\text{п}}$ на поверхности; $\Delta Z_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение превышения при спуске и подъеме (при передаче координаты Z с поверхности в шахту ΔZ имеет отрицательное значение).

Формулы (IV.12—IV.20) алгебраические. Если соответствующие отсчеты на горизонте исходного репера обозначать индексом «п», а на горизонте определяемого репера — индексом «ш», то ими можно пользоваться как при передаче отметки с верхнего горизонта на нижний, так и в обратном направлении.

Следует иметь в виду, что измерения по контрольной рейке не являются полностью независимыми от соответствующих измерений по рейке-грузу. Поэтому передачу отметки одним полуприемом (только при спуске) с измерениями по рейке-грузу и контрольной рейке можно допустить лишь в зимний период в случае обледенения проволоки. В то же время разрешается пользоваться только рейкой-грузом (без контрольной рейки) с измерениями при спуске и подъеме.

§ 41. ИНСТРУМЕНТЫ

ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В ШАХТЕ

Горные нивелиры должны быть малогабаритными, хорошо защищенными от пыли и влаги, с небольшим расстоянием минимального визирования.

В СССР производство нивелиров регламентировано ГОСТ 10528—76. Выпуску подлежат следующие виды нивелиров.

1. Высоточные нивелиры типа Н-05 с оптическим микрометром для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 0,5 мм на 1 км двойного хода.

2. Точные нивелиры типа НЗ для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода.

3. Технические нивелиры типа Н-10 для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода.

В зависимости от устройства для приведения визирной оси в горизонтальное положение нивелиры должны выпускаться в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. В последнем случае в шифре нивелира добавляется буква К. При наличии у нивелира лимба в шифре добавляется буква Л (например, НЗ, НЗК, Н10КЛ, НЗКЛ).

Для подземных высотных съемок применяют в основном те же точные и технические нивелиры, что и на поверхности. Шахтные рейки имеют конструкцию и деления, аналогичные поверхностным. Это позволяет ограничиться здесь лишь общей характеристикой и особенностями некоторых нивелиров, применяемых в горных выработках.

Нивелир НЗ (рис. 66) относится к классу точных инструментов и предназначен для геометрического нивелирования III—IV классов на земной поверхности со средней квадратической погрешностью ± 3 мм на 1 км двойного хода. Он компактный, легкий (масса 2 кг), удобный в работе и широко применяется при геометрическом нивелировании в шахте.

Зрительная труба имеет увеличение $30,5\times$ и внутреннюю фокусировку. С левой стороны в приливе корпуса трубы расположен цилиндрический уровень с ценой деления $15''$. Изображение концов пузырька уровня передается системой призм в поле зрения трубы и наблюдается исполнителем в момент взятия отсчетов по рейке. Отсчет берут после точного совмещения концов пузырька уровня с помощью элевационного винта (рис. 67).

В рабочее положение нивелир приводится подъемными винтами трегера по круглому уровню с ценой деления $5'$.

Нивелир НКЗ (НСЗ) (рис. 68) относится к точным оптико-механическим нивелирам с самоустанавливающейся линией визирования. Предназначен для геометрического нивелирования на

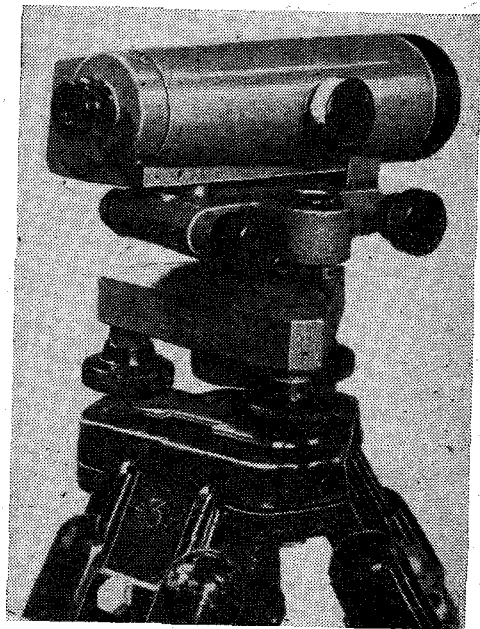


РИС. 66. Нивелир НЗ

поверхности (III—IV класс) и в шахте. Средняя квадратическая погрешность нивелирования ± 4 мм на 1 км хода, а погрешность определения превышения на станции $\pm 1,5$ мм.

Установка инструмента в рабочее положение достигается с помощью подъемных винтов по круглому уровню с ценой деления $\pm 5'$. Дальнейшее приведение линии визирования в горизонтальное положение осуществляется автоматически с помощью компенсатора, что значительно повышает удобство и производительность работ. Предел работы компенсатора $\pm 10'$.

Нивелиры технической точности. Из данного типа инструментов промышленностью выпускается малогабаритный (масса 1 кг)

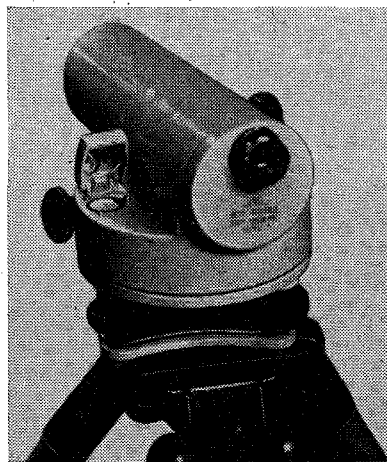
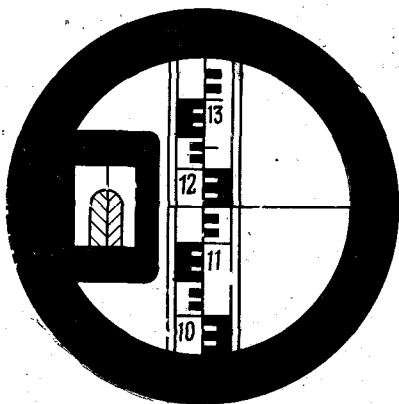


РИС. 67. Поле зрения трубы нивелиров НЗ, Н10

РИС. 68. Нивелир НЗК (НСЗ)

нивелир Н10Л. Средняя квадратическая погрешность нивелирования ± 10 мм на 1 км двойного хода (по ГОСТ 10528—76). Погрешность определения превышения на станции ± 6 мм.

Отличительной особенностью инструмента является установка его на шаровой пяте штатива (отсутствуют подъемные винты) и наличие горизонтального круга. Шаровая пята позволяет весьма быстро (от руки) приводить прибор в рабочее положение по круглому уровню с ценой деления $10'$. Лимб горизонтального круга имеет градусные деления с точностью отсчитывания $\pm 20'$.

К недостаткам прибора следует отнести слабую герметизацию от влаги и пыли, что несколько ограничивает применение его в шахтных условиях.

Для подземных маркшейдерских работ перспективными являются разработанные ВНИМИ горные нивелиры ТН6, ТН7, ТН9 (серийно не выпускаются). Они представляют собой малогабаритные (массой 0,75; 1,8; 2,5 кг) приборы технической точности

с самоустанавливающимися линиями визирования (предел работы компенсаторов $\pm 30'$, $\pm 6^\circ$, $\pm 30'$).

Все три прибора имеют горизонтальный круг с точностью отсчитывания 1° и выдвижное устройство к штативу для быстрого изменения горизонта инструмента. Нивелиры ТН6 и ТН7 имеют поворотные окуляры для наблюдения с наиболее удобного для исполнителя положения. Нивелир ТН9 содержит нивелирную и уклономерную части. Последняя предназначена для измерения и задания уклонов в интервале до $\pm 0,04$ с погрешностью $\pm 0,0001$.

Зарубежные нивелиры. На горнодобывающих предприятиях СССР используются известностью нивелиры, изготавливаемые народным предприятием «Карл Цейсс» в ГДР (*Ni 007, Ni 025, Ni 050* и др.) и заводом MOM в ВНР (*Ni-A1, Ni-B5, Ni-B3* и др.). Они имеют современную конструкцию, хорошую оптику, удобны и надежны в работе, обеспечивают высокую точность нивелирования.

Для подземных съемок наибольший интерес представляют нивелиры *Ni 025, Ni 50, Ni-B3* с самоустанавливающейся визирной осью (предел работы компенсатора соответственно $\pm 10''$, $\pm 30'$, $\pm 15'$). Изображение труб прямое. Погрешность двойной нивелировки равна соответственно $\pm 2,5$ мм, ± 5 мм и ± 2 мм на 1 км хода. Точность отсчитывания по горизонтальному кругу $\pm 1'$, $\pm 6'$ и $\pm 1'$. Масса 1,9; 1; 2,3 кг.

Нивелирные рейки для подземной высотной съемки аналогичны рейкам 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. Длина цельных реек 1,7 м, выдвижных — 2,1 м. Изготавливаются рейки из просушенного, пропитанного маслом дерева. В новых конструкциях шахтных реек шкалы наносятся на пластике, на световозвращающем покрытии или на лавсановой пленке.

При получении со склада и после длительной эксплуатации шахтные рейки подлежат проверке. При проверке на шкалу рейки укладывают контрольный метр и определяют действительную длину каждого дециметрового деления и всей шкалы рейки. Случайная погрешность дециметровых делений не должна превышать ± 1 мм. При больших отклонениях рейка непригодна к работе.

Геометрическое нивелирование основано на визировании горизонтальным лучом. Для установки визирного луча в горизонтальное положение нивелиры должны удовлетворять определенным условиям.

1. Ось установочного круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения инструмента.

2. Горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к оси вращения прибора.

3. У нивелиров с уровнем при зрительной трубе ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

4. У нивелиров с компенсаторами линия визирования должна быть горизонтальной при наклонах оси вращения инструмента в пределах работы компенсатора.

§ 42. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Геометрическое нивелирование производится в горных выработках с углом наклона до 5—8° (иногда до 15°) с целью определения отметок реперов и пунктов подземной теодолитной съемки.

Нивелирование предназначено также для определения профиля рельсовых путей и для других нужд горного производства (задание направлений и сбойка выработок в вертикальной плоскости, разбивочные работы при подземном шахтном строительстве и т. п.).

В подземных условиях техническое нивелирование аналогично нивелированию на земной поверхности. Отличительными особенностями являются: расположение исходных и определяемых пунк-

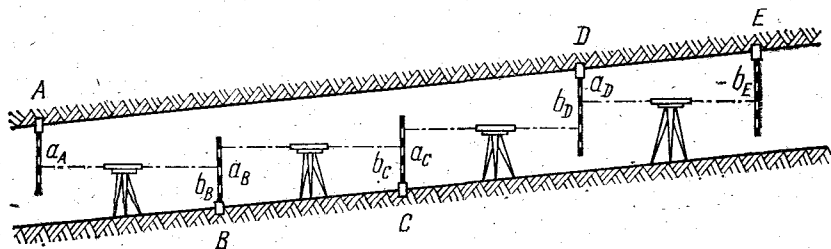


РИС. 69. Геометрическое нивелирование в горной выработке

тов как в почве, так и в кровле выработки; стесненные условия работ и трудность соблюдения равенства плеч; необходимость освещения реек и инструмента индивидуальными шахтными светильниками; запыленность атмосферы.

На рис. 69 показаны четыре возможных случая расположения заднего и переднего пунктов. Где бы ни был заложен пункт (в кровле или почве), рейка всегда своим нулем устанавливается на определяемую точку. При этом условилось, отсчеты по рейкам, приставляемым нулем к пунктам в кровле (A, D, E), считать отрицательными и отмечать это знаком минус в полевом журнале. Тогда превышение на любой станции инструмента определяется из алгебраического выражения

$$\Delta Z_i = a_i - b_i, \quad (IV.21)$$

где a , b — отсчеты по задней и передней рейкам станции; i — номер станции.

Необходимо подчеркнуть важность постановки знака минус перед соответствующими отсчетами. Отсутствие его в журнале может привести к грубым погрешностям при вычислениях.

Высотные отметки реперов и пунктов полигонометрических ходов определяются с помощью замкнутых или пройденных в прямом и обратном направлениях висячих ходов. В опорных сетях нивелирование производится из середины с допустимым неравенством плеч в пределах 5—8 м. Расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 50 м. Отсчеты по рейкам берут с точностью до миллиметра.

Отсчеты берут по черной и красной стороне реек или только по черной стороне, но при двух горизонтах инструмента. Расхождение в превышениях на станции, определенных по черным и красным сторонам реек или при двух горизонтах инструмента, не должно превышать 10 мм.

В начале любого нивелирного хода измеряется контрольное превышение между двумя реперами, отметки которых известны с предыдущих съемок. Если разность измеренного (контрольного) и первоначального превышения превышает 5 мм, то реперы нарушены и их нельзя использовать в качестве исходных. В этом случае съемку необходимо начать от других реперов, где контрольное превышение укладывается в допуск. Аналогичные измерения контрольного превышения производятся также в случае примыкания к известным реперам в конце хода.

Геометрическое нивелирование рельсовых путей (или почвы выработки) выполняют по пикетам, разбивку которых производят тесьмой рулеткой через 10 или 20 м. Номера их надписывают краской на специальных табличках, прибиваемых к крепи. Ходы прокладывают между реперами опорной сети или в прямом и обратном направлениях. В начале хода измеряется контрольное превышение на исходных реперах (пикетах). Отклонение не должно превышать ± 10 мм. Нивелирование путей осуществляется примерно из середины. С одной установки инструмента берут отсчеты с точностью до миллиметра на нескольких пикетах. На связующих пикетах отсчеты берут, как правило, по черной и красной сторонам рейки или при двух горизонтах инструмента, а на промежуточных — только по черной стороне. Расстояние от нивелира до связующего пикета (плечо) выбирается исполнителем с учетом хорошей видимости отсчетов (до 75 м). Место установки рейки на связующем пикете отмечается мелом (на рельсе), поскольку при визировании в следующей станции рейка должна быть установлена строго в том же месте. Одновременно с нивелированием измеряют высоту выработки на пикетах.

Камеральная обработка подземного нивелирного хода производится аналогично обработке нивелирного хода на земной поверхности и представлена в табл. 2. На первой станции отсчеты взяты при двух горизонтах инструмента, на остальных — по черной и красной сторонам рейки.

Журнал технического нивелирования

Место работы 5-й зап. отк. штрех пл. 610
 Дата 18.09.78г.
 Исполнитель Тарасов В. А.
 Инструмент Н 10Л Н 10 121

Номер станции	Номер пункта	Отсчеты			Превышения		Горизонт инструмента	Отметка	Высота выработки	Примечание и замечы
		задний	промежуточный	передний	I	II				
		-1516				+1		-252,676		
		-1602				-3111				
				1595		-3112		-255,787		
				1510						
2	ПК0	1452					-254,33	-255,787	3,27	Р В укл. 5 ПК0 Р В ПК2 ПК3 ПК4 ПК5 ПК6 ПК7 ПК8
		6136				+1				
	ПК1		1425		+70	+70		-255,780	3,15	
	ПК2		1480		+70			-255,815	3,32	
	ПК7			1382				-255,716	3,06	
				6066						
3	ПК3	1599					-254,117	-255,716		
		6283								
	ПК4		1571			+1		-255,688	2,95	
	ПК5		1629		+420	+0,421		-255,746	3,27	
	ПК6		1493		+422			-255,610	3,14	
	ПК7		1339					-255,456	3,04	
	ПК8			1179				-255,294	3,19	
				5861						
	Σ	12352	-	17593	-5241	-2621				

В конце каждой страницы журнала и в конце хода производят контроль вычисления превышений:

$$\sum a - \sum b = \sum \Delta Z; \quad (IV.22)$$

$$\frac{1}{2} \sum \Delta Z = \sum \Delta Z_{ср.}$$

Для постраничного контроля необходимо, чтобы страница журнала начиналась и заканчивалась отсчетами соответственно по задней и передней рейкам. При нивелировании рельсового пути это требование не всегда выдерживается (много промежуточных пикетов), и постраничный контроль может не производиться.

По сумме превышений для всего хода вычисляют фактическую невязку хода. В ходах технического нивелирования для определения высот пунктов опорной сети невязка не должна превы-

На чертеже показывают: 1) схематический план выработки с указанием пикетных точек, реперов и дат проведения выработки; 2) номера пикетов, фактические и проектные отметки головки рельсов, фактические уклоны и расстояния; 3) сетку высот, фактический и проектный профили рельсового пути; 4) высоты выработки на пикетах и профиль кровли выработки.

Вертикальный масштаб профиля, как правило, в десять раз крупнее горизонтального.

§ 43. ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Тригонометрическое нивелирование производится в выработках с углом наклона более $5-8^\circ$. Инструментами для тригонометрического нивелирования служат теодолит с погрешностью отсчитывания по вертикальному кругу не более $30''$ и стальная рулетка.

Пусть требуется определить превышение ΔZ_{AB} точки B над точкой A (см. рис. 17). Для этого в точке A центрируют теодолит, а в точке B вешают отвес и делают на нем метку b (в качестве метки часто используют точку сопряжения нити с головкой отвеса). Измеряют четыре величины: δ — угол наклона луча ab ; L_{ab} — наклонное расстояние от точки a (горизонтальная ось инструмента) до точки b ; i — высоту инструмента, т. е. вертикальное расстояние от точки A до горизонта инструмента; V — высоту сигнала, т. е. вертикальное расстояние от точки B до метки b .

Угол δ измеряют при двух положениях зрительной трубы. Расстояние L_{ab} измеряют стальной рулеткой по методике измерения длин сторон подземной полигонометрии (см. § 15). Высоту инструмента и сигнала измеряют дважды стальной рулеткой. Разность измерений не должна превышать 5 мм.

Поскольку точки могут быть в кровле или почве выработки, условились высоты инструмента и сигнала, определяемые от точек в кровле, считать отрицательными (придавать знак «минус» при записях в журнале). Тогда превышение на любой станции инструмента (см. рис. 17) определяется из алгебраических выражений:

$$\Delta Z_{AB} = L_{ab} \sin \delta + i - V \quad (\text{IV.26})$$

или

$$\Delta Z_{AB} = l_{ab} \operatorname{tg} \delta + i - V, \quad (\text{IV.27})$$

где l_{ab} — горизонтальное проложение наклонной длины.

Превышение для каждой линии хода определяется в прямом и обратном направлениях. Для обратного превышения теодолит переставляют в точку B и выполняют аналогичные приведенным выше измерения на точку A . Хотя величины δ , L , V , i теперь будут

другими, превышение по абсолютному значению должно оставаться (в пределах точности измерений) таким же. Разность абсолютных значений превышения из прямого и обратного нивелирования линии не должна превышать: 0,05 L , см (где L — длина линии, м) — в опорных сетях; 5 см — в съёмочных сетях 1 разряда; 10 см — в съёмочных сетях 2 разряда.

Расхождение в превышениях всего хода тригонометрического нивелирования не должно превышать величин: $\Delta h = 10$ мм $\sqrt{n_1 + n_2}$ — в опорных сетях (где $n_1 + n_2$ — число сторон соответственно в прямом и обратном ходах); 25 мм \sqrt{n} — в съёмочных сетях 1 разряда; 50 мм \sqrt{n} — в съёмочных сетях 2 разряда (где n — число сторон хода).

Тригонометрическое нивелирование выполняется одновременно с проложением полигонометрического хода, так как оба вида этих работ имеют много общих элементов.

§ 44. ПРОФИЛОГРАФЫ ШАХТНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПУТЕЙ

Профилограф предназначен для автоматического нивелирования и вычерчивания профиля рельсового пути. Основными узлами профилографа являются датчик уклонов, интегрирующее устройство, лентопротяжный механизм и записывающее устройство.

При прокатке прибора датчик постоянно фиксирует уклон пути между точками контактирования профилографа с рельсом. Очевидно, что превышение на любом отрезке пути ΔS может быть определено из выражения

$$\Delta Z = i \Delta S, \quad (IV.28)$$

где i , ΔS — соответственно уклон и расстояние между точками контактирования прибора с головкой рельса.

Отметка любой точки пути относительно начальной определяется суммированием превышений по отрезкам ΔS .

$$Z_n = \sum_1^n \Delta Z. \quad (IV.29)$$

Непрерывное суммирование превышений осуществляется интегрирующим устройством с графической записью (в масштабе) отметок записывающим устройством на перемещаемой лентопротяжным механизмом ленте. Поскольку лента протягивается пропорционально пройденному пути, то графическая запись отметок относительно базовой (начальной) линии дает наглядное изображение профиля пути в определенных горизонтальном и вертикальном масштабах.

Для подземных условий наиболее перспективным прибором является разработанный ВНИМИ взрывобезопасный профилограф ПРШ1 (рис. 71). Вся аппаратура прибора смонтирована на ручной тележке, прокатываемой по одной нитке рельсового пути. Датчиком уклонов служит маятник с жидкостным демпфированием. Отсчет с маятника снимается фотоэлектрическим способом. В качестве интегратора применен двоичный электронный счетчик

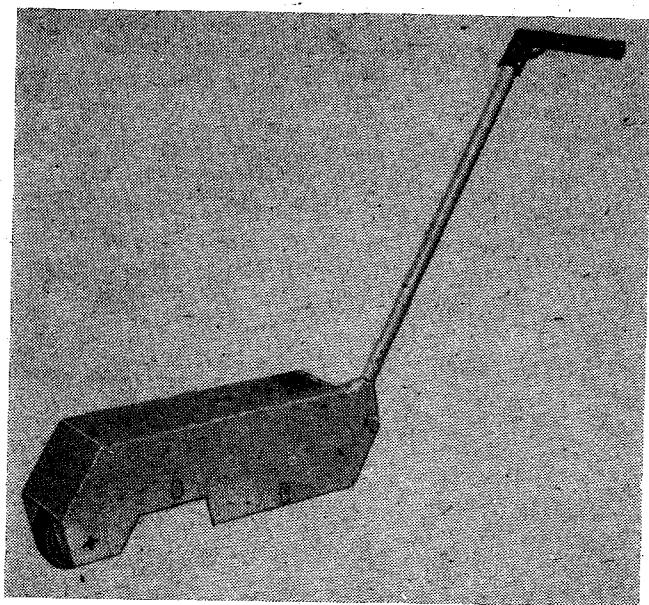


РИС. 71. Профилограф ПРШ1

импульсов. Запись превышений осуществляется на каждом метре пути с помощью электромагнитного печатающего устройства в виде отдельных точек на ленте из миллиметровой бумаги. Горизонтальный масштаб записи 1 : 1000, вертикальный — 1 : 50, ширина ленты 90 мм, длина — 3,5 м. Профилограф снабжен механическим счетчиком пройденного пути и устройством для отметки пикетов на ленте.

Записанный профиль пути дает наглядную картину всех местных отклонений, которые трудно выявить обычным способом нивелирования.

Профилограф ПРШ1 позволяет вести съемку на рельсовом пути с предельными уклонами до $\pm 0,025$. Скорость прокатки 0,9—1,2 м/с; производительность около 3 км/ч, общая погрешность уклона записанного профиля пути не более $\pm 0,001$, относительная погрешность записи длины пути 1 : 200, масса прибора 25 кг.

Глава V
СЪЕМКА НАРЕЗНЫХ И ОЧИСТНЫХ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА УГОЛЬНОЙ
ШАХТЕ

§ 45. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ МАРКШЕЙДЕРА
ПРИ ОЧИСТНЫХ РАБОТАХ

Прогресс в технологии добычи угля, значительное повышение производительности труда на угольных шахтах, большой объем нарезных и очистных работ налагают на маркшейдерскую службу шахт требование своевременного обеспечения производства необходимой графической документацией. Оперативное отражение состояния горных работ позволяет правильно планировать их развитие с целью рационального использования недр, своевременно выпрямлять линию забоя для обеспечения большей эффективности работы механизированного комплекса, предусматривать мероприятия по безопасному ведению работ и т. д.

При очистных работах можно выделить следующие основные задачи маркшейдера.

1. Перенесение в натуру предусмотренных проектом геометрических элементов нарезных и очистных выработок. Известно, что на шахте составляются как перспективные планы развития горных работ, так и проекты подготовки и отработки каждого участка и проведения каждой выработки. В таком проекте предусмотрены взаимное пространственное расположение существующих и проектируемых выработок, их линейные размеры, площади сечения, уклоны, элементы системы разработки и т. д. С этого проекта маркшейдер переносит на план горных работ положение выработок, в натуре определяет место заложения запроектированных выработок и задает им направление.

2. Контроль за проведением выработок, соблюдением их геометрических элементов. Эта работа выполняется маркшейдером с некоторой периодичностью, обусловленной потребностями производства, скоростью ведения горных работ и т. д.

3. Своевременная съемка нарезных и очистных горных выработок и их изображение на маркшейдерских планах, проекциях и разрезах. Объем и характер съемочных работ в нарезных и очистных выработках определяются формой залегания полезного ископаемого и применяемой системой разработки. При этом протяженность нарезных и очистных выработок незначительна, поэтому их съемку выполняют с достаточной точностью упрощенными угломерными инструментами (угломерами, висячими инструментами) и рулетками. При отсутствии указанных угломерных инструментов съемочные работы выполняются теодолитом.

4. Замер горных выработок. При сравнительной простоте работ производство замеров имеет большое значение для гор-

ного предприятия. По результатам замеров пополняют планы горных выработок, определяют объем выработанного пространства за отчетный период и добычу полезного ископаемого за этот период, что необходимо для контроля оперативного учета добычи. Иногда по данным замеров производится начисление заработной платы трудящимся шахты. Периодичность замеров на действующей шахте устанавливается в соответствии с потребностями производства, скоростью ведения горных работ, применяемой системой оплаты труда и т. д.

§ 46. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СЪЕМКИ НАРЕЗНЫХ И ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК

Съемка нарезных и очистных горных выработок производится путем построения съемочных сетей 1 и 2 разрядов и проведения съемочных работ. Для этой цели в настоящее время широко при-

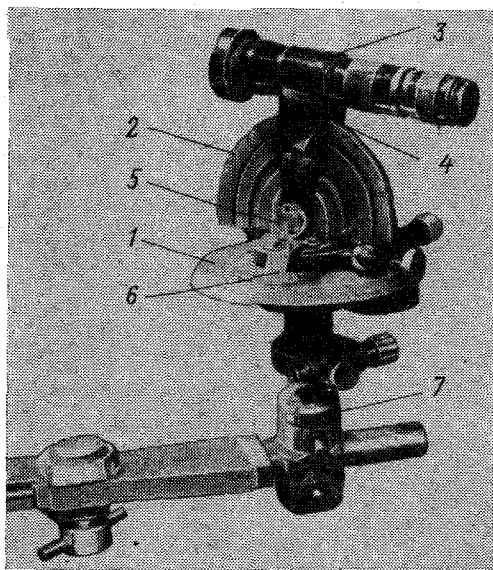


РИС. 72. Угломер-тахеометр УТГ:

1 — горизонтальный круг; 2 — вертикальный круг; 3 — труба; 4 — кронштейн; 5 — горизонтальная ось; 6 — индекс; 7 — шарнирное крепление с осью

меняются теодолиты, угломеры-тахеометры, подвесные инструменты.

Угломеры. Угломер-тахеометр горный (УТГ) предназначен для производства угловых измерений в съемочных сетях 2 разряда, а также для съемки очистных выработок на маломощных пластах (рис. 72). Горизонтальные и вертикаль-

ные углы могут быть измерены этим угломером с точностью 10—15'. Он состоит из горизонтального круга, вертикального полу-круга и трубы, прикрепленной к кронштейну, который вращается вокруг горизонтальной оси. На горизонтальном круге имеется круглый уровень. Горизонтальный круг и вертикальный полу-круг имеют деления через 1°. Отсчеты по кругам берутся против штриховых индексов с точностью до 0°, 1. Десятые доли градусов оцениваются на глаз.

Зрительная труба имеет внутреннюю фокусировку и дальномер двойного изображения, коэффициент которого $k = 500$. Увеличение трубы $21\times$, поле зрения 2° 30', пределы фокусировки от 2 м до бесконечности. Угломер имеет ориентирующую насадку-фиксатор.

Оптика трубы состоит из объектива, фокусирующей линзы, окуляра, бипризмы, диафрагмы и двух оптических клиньев с равными углами преломления. Каждый из клиньев закрывает по половине объектива и отклоняет визирный луч в разные стороны (вверх и вниз) на одинаковую величину. В поле зре-

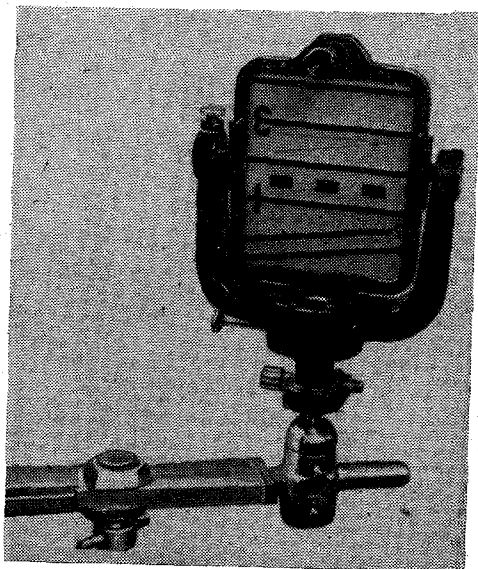


РИС. 73. Дальномерная рейка угломера УТГ

ния трубы образуются два смещенные друг относительно друга изображения рейки, разделенные по вертикали ребром бипризмы. Смещение изображения соответствует измеряемому расстоянию. Принцип измерения расстояния дальномером состоит в определении по рейке величины этого смещения.

Дальномерная рейка (рис. 73) представляет собой стеклянную пластинку, на которой нанесены четыре горизонтальных длинных штриха для отсчета десятков метров, горизонтальная шашечная шкала с пятью делениями для отсчета метров и два наклонных штриха. Отсчет по рейке производится с помощью наклонных штрихов. Для этого изображение рейки помещают примерно в середине поля зрения по высоте и, поворачивая трубу вокруг вертикальной оси микрометренным винтом алидады, совмещают по вертикальному ребру бипризмы какой-либо наклонный штрих левого изображения рейки с одним из горизонтальных штрихов ее правого изображения (рис. 74). По этому горизонтальному штриху отсчитывают десятки метров. Метры и дециметры измеря-

мого расстояния отсчитывают слева направо до ребра бипризмы на левом изображении по горизонтальной шашечной шкале. Число метров равно числу шашек шкалы (шкала начинается черной шашкой). При этом дециметры оценивают на глаз. Если с горизонтальным штрихом правого изображения совмещен наклонный штрих левого изображения с цифрой 5, то из отсчета по рейке вычитают 5 м.

На рис. 74, а с горизонтальным штрихом 3 правого изображения рейки совмещен наклонный штрих 5. На левом изображении видны три целых шашки (две черных и между ними одна белая) и 0,6 крайней (оценивается на глаз). Отсюда определяется измеренное расстояние: $30 + 3,6 - 5 = 28,6$ м.

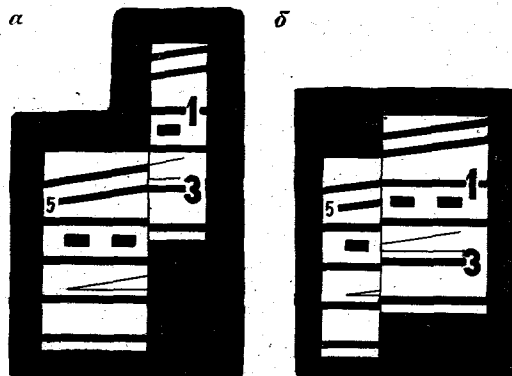


РИС. 74. Примеры определения расстояния по дальномерной рейке угломера УТГ

На рис. 74, б с горизонтальным штрихом 1 совмещен наклонный штрих, не имеющий цифры. Отсюда измеренное расстояние составляет: $10 + 1,5 = 11,5$ м.

Дальномером могут быть измерены расстояния до 45 м с точностью 1 : 100—1 : 200.

В комплект прибора кроме угломера и рейки входят: три шарнирных крепления с фиксатором, две распорные стойки, четыре консоли и лупа с увеличением $6\times$.

Насадка-фиксатор состоит из металлической прямоугольной колодки с втулкой, насаженной на ось шарнирного крепления угломера. Фиксатор может вращаться вокруг этой оси и закрепляться в нужном положении винтом, чем и фиксируется направление на заданную точку. Микрометренное вращение фиксатора осуществляется винтом. На фиксаторе могут закрепляться попеременно рейка или угломер.

В процессе работы угломер и рейка могут устанавливаться на консоли или на распорной стойке. Измерение горизонтальных углов дальномером производится обычным способом или

способом фиксированного направления. В последнем случае для съемочных работ достаточно двух человек.

Порядок выполнения съемки следующий. В начальной точке съемочного хода на центрировочной консоли устанавливается угломер, а в последующей точке на консоли или на распорной стойке — рейка.

Приводят с помощью уровня ось рейки в вертикальное положение и направляют визирную трубку рейки на заднюю точку, т. е. на угломер. В этом положении горизонтальный угол на начальной точке измеряют обычным способом. После этого передний съемщик, не открепляя фиксатора, осторожно снимает рейку и переходит на следующую точку, а задний съемщик на этот освобожденный фиксатор устанавливает угломер. После установки на фиксаторе и совмещения нуля лимба с нулем алидады труба угломера будет направлена на заднюю точку хода. Таким образом, отпадает необходимость в визировании на заднюю точку. Задний съемщик, открепляя алидаду, визирует на переднюю точку, после чего отсчитывает по лимбу измеренный угол.

Перед началом съемочных работ следует выполнить следующие проверки угломера:

- убедиться, что оси уровней угломера и рейки перпендикулярны к их вертикальным осям вращения;
- определить коэффициент дальномера;
- проверить правильность установки клиньев дальномера;
- определить место нуля по вертикальному и горизонтальному кругам;
- проверить надежность фиксации направления.

Проверки выполняют способами, изложенными в курсах геодезии и инструментоведения.

В очистных забоях механизированных лав установка угломера вызывает значительные затруднения. В связи с этим ВНИИ разработал подвесной угломерный комплект для съемки таких лав способом фиксированного направления и дальномерного измерения расстояний с помощью подвесного варианта угломера УТГ. Угломер или дальномерная рейка прикрепляется к перекрытиям секции механизированной крепи с помощью струбины и консоли.

Угломер - тахеометр УТ-3 (рис. 75) представляет собой повторительный угломер с нитяным дальномером. С помощью УТ-3 можно осуществлять ориентирование подэтажей через наклонные и вертикальные выработки, передачу высотной отметки на подэтажи, а также маркшейдерскую съемку нарезных и оступных очистных выработок любого наклона.

Угломер состоит из подставки 1 с тремя подъемными винтами, горизонтального 2 и вертикального 3 кругов, а также зрительной трубы 6. Горизонтальный и вертикальный круги имеют деления через 5°.

Отсчет по горизонтальному кругу производится с помощью барабана путем совмещения отсчетного индекса алидады с ближайшим пятиградусным делением лимба. Шкала барабана имеет пять градусных делений, каждое из которых разделено на 12 делений с ценой в 5'. Таким образом, при оценке на глаз дробных частей наименьшего деления отсчет по горизонтальному кругу берется с точностью до $\pm 1'$.

Отсчеты по вертикальному кругу также берутся с помощью барабана с точностью до $\pm 1'$.

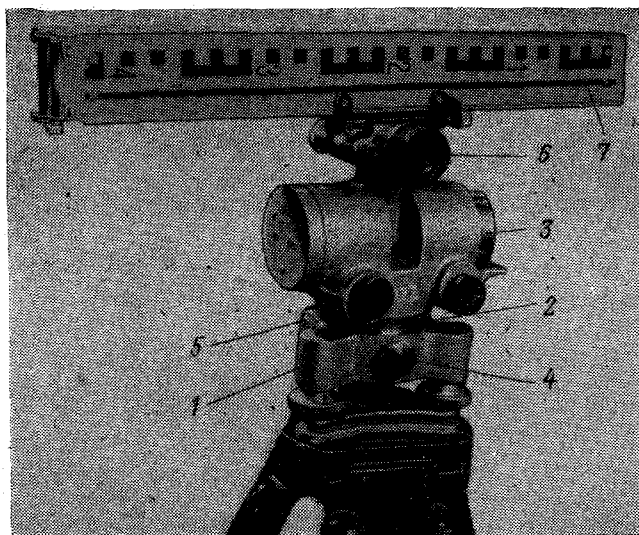


РИС. 75. Угломер-тахеометр УТ-3

В основании прибора находится микрометрично-зажимной механизм повторительной системы вертикальной оси, состоящий из зажимного 4 и микрометричного 5 винтов.

Зрительная труба угломера расположена эксцентренно по отношению к горизонтальной оси ее вращения и имеет дополнительную окулярную трубку, что позволяет визировать отвесно вверх или вниз. Поле зрения трубы $2^{\circ} 30'$, увеличение $20\times$. С помощью нитяного дальномера трубы возможно измерять расстояния от 5 до 30 м с точностью 1 : 200 и от 30 до 40 м — с точностью 1 : 100. На трубе угломера параллельно оси ее вращения прикрепляется ориентирно-дальномерная рейка 7 длиной 342 мм. Инструмент может устанавливаться на штативе, консоли или распорной колонке от теодолита Т-15 и центрироваться под и над точкой. При этом ось вращения угломера устанавливается вертикально с помощью цилиндрического уровня с ценой деления $35''$.

Углы измеряются одним полуприемом. При грубом наведении трубы на сигнал вначале червяк выводится из зацепления с горизонтальным червячным колесом путем нажатия пальцем на поворотную рукоятку. После этого червяк отсчетного барабана вводится в зацепление с колесом и выполняется точное наведение на сигнал вращением червяка.

Конструктивно отсчетные устройства горизонтального и вертикального кругов выполнены одинаково. Наведение трубы на сигнал при измерении вертикального угла производится так же, как и для горизонтального.

Если в процессе съемки измерение расстояний производится с помощью дальномера, рационально использовать два угломера, устанавливая один на точках с нечетными номерами, а другой на точках с четными номерами хода. При этом горизонтальные и вертикальные углы измеряют поочередно первым и вторым угломером, производя взаимное визирование с угломера на угломер.

При съемке и ориентировании крутых и вертикальных выработок ось вращения трубы угломера и рейка на трубе приводятся в строго горизонтальное положение. Визирование производится таким образом, чтобы горизонтальная нить трубы одного угломера совпала с горизонтальной линией рейки другого угломера, а перекрестие нитей — с осью трубы.

Перед работой с угломером УТ-3 должны быть выполнены следующие его поверки:

ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения угломера;

горизонтальная ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента;

визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси ее вращения;

место нуля вертикального круга и шкалы отсчетного барабана при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы должны быть равны нулю;

вертикальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы;

горизонтальная линия накладной рейки должна быть параллельна горизонтальной оси вращения трубы;

коэффициент дальномера не должен отклоняться от номинальной величины более чем на 1%.

Приборы для измерения элементов структуры пласта. В процессе съемки лавы маркшейдер измеряет мощность пласта, зарисовывает его структуру и составляет эскиз. Измерения мощности пласта, пачек угля и прослоек пород осуществляются тесьмой рулеткой по нормали к напластованию. При разработке пластов малой мощности эта работа затруднений не вызывает. При увеличении мощности удобно использовать разработанную ВНИМИ телескопическую рейку (рис. 76).

Рейка представляет собой конструкцию, состоящую из трех выдвигаемых друг из друга дюралюминиевых труб 1, 2, 3, опорной пяты 4, стопорных устройств 5, 6 для фиксации выдвигаемых частей, указателя 7, нижняя поверхность 8 которого покрыта световозвращающим составом, обеспечивающим при подсветке головным шахтерским аккумулятором хорошую видимость указателя и линии контакта пород.

Телескопическая рейка позволяет измерять мощности пластов и их структуру в пределах от 1,6 до 4,4 м с точностью $\pm 0,01$ м. Длина рейки в сложенном виде 1,6 м, масса не более 2,5 кг.

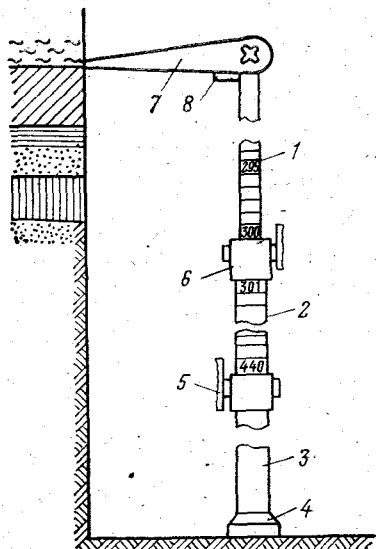


РИС. 76. Общий вид телескопической рейки

Для нанесения на план горных выработок геологических структур и трещин в лаве (или нарезной выработке) измеряются их элементы залегания. Измерения удобно производить усовершенствованным геологическим компасом (УГК), разработанным ВНИМИ (рис. 77). Этот прибор может иметь довольно широкую область применения благодаря наличию эклиметра и визирного устройства.

Усовершенствованный геологический компас УГК работает на принципе взаимодействия направляющего момента магнитного поля Земли с магнитным полем стрелки прибора. Прибор имеет магнитную стрелку и азимутальный круг 1. Они помещены в свободно подвешенную буссольную коробку 2, центр тяжести которой находится ниже горизонтальной оси подвеса, благодаря чему вся система имеет маятниковый момент. На одном конце горизонтальной оси подвеса буссольной коробки укреплен лимб устройства эклиметра для измерения углов наклона 3. Прибор имеет приспособление для визирования, позволяющее в полевых условиях производить засечки, определять превышения и горизонтальные проложения, а также приспособление для измерения элементов залегания геологических структур и мелких трещин, имеющих ограниченную обнаженную поверхность и расположенных в стенках или кровле выработок.

Для успокоения колебаний магнитной стрелки в приборе предусмотрено демфирующее устройство, а также устройство, позволяющее в пределах $\pm 10^\circ$ вводить поправку за магнитное склонение.

Арретирующее устройство компаса 4 одновременно арретирует магнитную стрелку и круг углов наклона, не изменяя их

показаний, что позволяет считывать показания в удобном для наблюдения положении. Измеряемые структуры могут быть расположены в любом месте сечения горной выработки и иметь любой угол наклона.

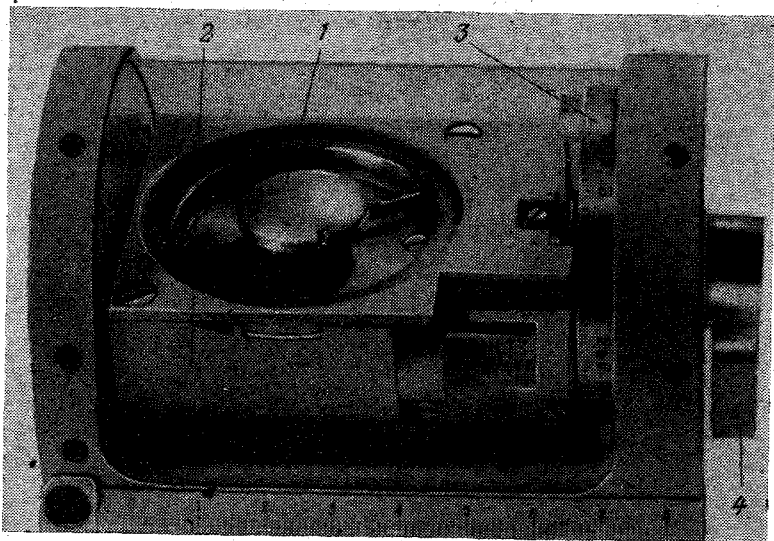


РИС. 77. Усовершенствованный геологический компас УГК

Средняя квадратическая погрешность определения элементов залегания по азимуту и по углу наклона составляет не более 2° . Масса прибора составляет 480 г.

§ 47. СЪЕМКА ЛАВ

Съемка лав на пологих пластах производится путем построения съемочных сетей теодолитами технической точности или угломерами УТГ и УТ-3 в таком же порядке, как и съемка подготовительных и нарезных горных выработок. Съемочные работы ведут между пунктами полигонометрических или теодолитных ходов откаточных и вентиляционных штреков. Вдоль забоя прокладывают угломерный или теодолитный ход с временно закрепленными или потерянными пунктами 1, 2, 3, ... (рис. 78). 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 угломера берут с оценкой на глаз десятых долей градуса. Наклонные стороны угломерного хода измеряют между центрами штырей шарнирных подставок дальномерами или тесьмяными рулетками дважды. Расхождение между

двумя измерениями не должно превышать 1 : 200 измеряемой длины.

Углы наклона сторон хода в связи с внецентренным расположением зрительной трубы в угломерах УТГ и УТ-3 измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях, а угол наклона, отнесенный к центру лимба, находят как полусумму измеренных значений.

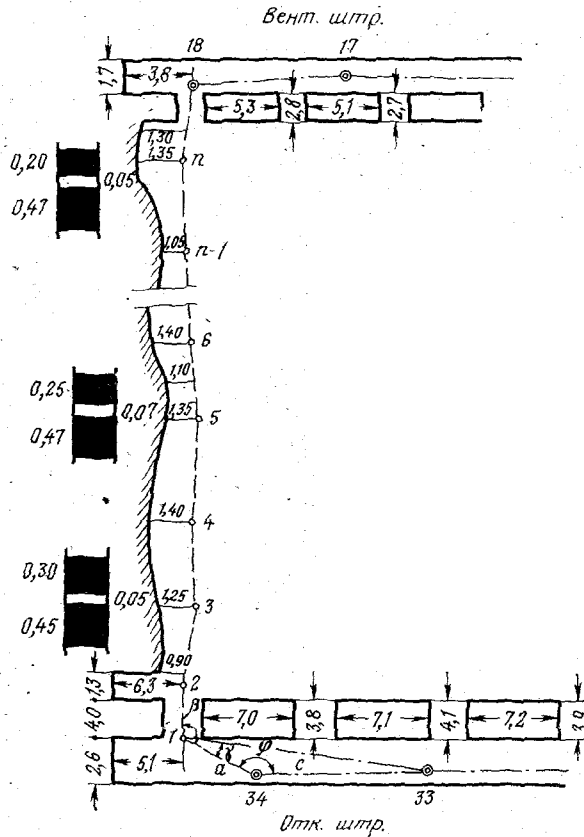


РИС. 78. Съемка лавы и ее привязка к пунктам теодолитного хода

Привязку угломерного хода на откаточном и вентиляционных штреках к ходам старших разрядов осуществляют непосредственным измерением углов на пунктах старших разрядов. Съемку забоя и других элементов очистной выработки ведут по способу ординат. На план горных выработок угломерный ход наносит непосредственно по дирекционным углам и длинам горизонтальных проложений сторон хода или по координатам его вершин, вычисленным с точностью до 0,1 м. Линейная невязка хода не должна превышать 1 : 300 его периметра.

Съемка лав на крутых пластах малой и средней мощности производится рулеточными замерами. На вентиляционном штреке в створе ближайших к забою пунктов теодолитного хода *III* и *IV* (рис. 79) выставляют точку *C*. От этой точки по падению пласта растягивают рулетку, располагая ее вблизи забоя (*C — a*). Затем рулетку растягивают по простираанию пласта по почве уступа, измеряя расстояние *a — a'*. После этого рулетку растягивают по падению пласта вдоль забоя второго уступа (*a' — b*) и т. д. Производя работу в описанной последовательности выходят на откаточный штрек, примыкают к точке *B*, выставленной в створе ближайших к забою пунктов теодолитного хода *I* и *II*. Для более точного определения направления падения и простираания при растягивании рулетки рекомендуется применять горный компас или усовершенствованный геологический компас (см. рис. 77). Линию забоя уступов и других элементов очистных работ снимают одновременно с растяжением рулетки по способу перпендикуляров.

Если при примыкании рулеточного хода к пунктам теодолитного хода на откаточном и вентиляционном штреках примычные углы на точках *B* и *C* (см. рис. 79) не будут прямыми, то их измеряют теодолитом или угломером. Угловую привязку возможно также осуществить, построив возле точек *B* и *C* примычные треугольники и измерив в них все стороны. Углы при точках *B* и *C* вычисляют по формуле тангенсов.

В процессе съемки составляется подробный абрис. Данные съемки наносятся на план в следующем порядке. Вычисляют горизонтальные проекции длин сторон рулеточного хода. Наносят ход на кальку по углам и полученным проекциям сторон. Совмещая пункты *I*, *II* и *B* на кальке с этими же точками на плане, определяют графически линейную невязку рулеточного хода относительно жестких пунктов *III* и *IV*. Эта невязка не должна превышать 1 : 100 длины хода. Ее распределение производят графически пропорционально длинам сторон хода. После увязки хода на кальке его переносят на план, на котором изображают по данным абриса линию забоя и все подробности очистного пространства.

По результатам съемки составляется также план лавы в плоскости пласта в масштабе 1 : 500—1 : 1000. Этот план исполь-

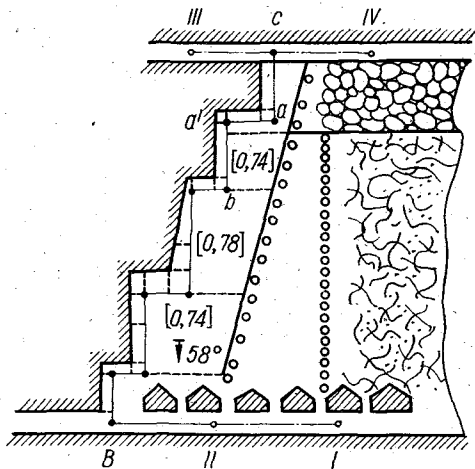


РИС. 79. Съемка лавы рулеточным замером на крутом пласте

зается для подсчета добычи, потерь угля, учета движения запасов и решения других задач.

Маркшейдерские работы в очистных выработках, оборудованных механизированными комплексами. Нормальная работа комплексно-механизированных участков возможна только при соблюдении определенных требований, вытекающих из условий безопасности труда, правил технической эксплуатации угольных шахт, горно-геологических условий и систем разработки, а также учитывающих конструктивные особенности механизированных комплексов. В соответствии с этими требованиями выполняются следующие маркшейдерские работы.

Контроль за положением комплекса. По конвейерному и вентиляционному штрекам разбивают пикеты через 10 или 20 м так, чтобы линии, проходящие через одноименные пикеты обоих штреков, были перпендикулярны к осям штреков. Положение комплекса определяют путем измерения расстояний от концов лавы до одноименных пикетов на штреках. При горизонтальном и пологом залегании пласта эти расстояния должны быть равны; при наклонном залегании ($15-25^\circ$) эти расстояния отличаются между собой на величину опережения конвейерного штрека (в зависимости от горно-геологических условий, длины лавы, типа комплекса опережение составляет 3—10 м, что соответствует углу между забойным конвейером и осью конвейерного штрека $91-93^\circ$).

При развороте комплекса должна быть сохранена его прямолинейность, поэтому величины передвижки секций на вентиляционном и конвейерном штреках должны быть пропорциональными удалению их от центра закругления.

Проверка прямолинейности лавы осуществляется в процессе маркшейдерских измерений один раз в месяц или чаще. При этом съемка очистных забоев небольшой протяженности (60—100 м) на выдержанных пластах средней мощности может не производиться, если прямолинейность механизированного комплекса возможно установить визуально. В этих случаях выполняют рулеточные промеры от съемочных или пикетных точек до сопряжений лавы с конвейерным и вентиляционным штреками.

Съемка лавы выполняется для определения размеров, формы и положения выработанного пространства, выявления конфигурации лавы, изучения условий залегания пласта и учета добычи. Плановое положение контурных точек забоя очистных выработок относительно пунктов съемочной сети в вентиляционном и конвейерном штреках должно быть определено с погрешностью не более 0,8 м, высотное — с погрешностью не более 0,5 м.

Частота инструментальной съемки механизированной лавы зависит от ее длины, формы, скорости продвижения забоя, изменчивости элементов залегания и мощности. Обычно съемку производят один раз в месяц по мере производственной необходимости,

когда нарушена работа комплекса и необходимо определить точное положение забоя.

Съемка лавы небольшой протяженности (60—100 м) производится с помощью мерного шнура с метками через 5—10 м, протянутого вдоль забоя так, чтобы он не касался ни забоя, ни крепи. От шнура измеряют расстояния до забоя с помощью рулетки или изготовленной рейки. На вентиляционном и конвейерном штреках измеряют расстояния от шнура до съемочных или пикетных точек. Если линия забоя сильно искривлена, пласт имеет сложную гипсометрию или малую мощность, и шнур не может быть натянут прямолинейно, то ему придают форму ломаной линии с помощью оттяжек (чтобы он не касался крепи и забоя). Длина звеньев ломаной измеряется рулеткой, а углы излома — специальным транспортиром.

Съемка очистных забоев большой протяженности (свыше 100 м) выполняется угломерами УТГ или УТ-3. Для съемки целесообразно применять методику измерения углов способом фиксированного направления, что позволяет при использовании УТГ выполнять работу вдвоем. В комплексно-механизированном забое удобно использовать разработанный ВНИМИ подвесной вариант угломера УТГ. Методика выполнения работ аналогична описанной раньше.

В связи с тем, что установить угломер на консоли в штреке обычно не удастся, примыкание угломерного хода к съемочной сети на штреках выполняется способом соединительного треугольника (см. рис. 78). На штреке угломер устанавливается в подвесном положении на точке 1 так, чтобы была видимость на два соседних пункта съемочной сети. На точке 1 измеряется угол угломерного хода β и угол соединительного треугольника γ . Рулеткой измеряется длина первой стороны угломерного хода a .

Первая точка 1 угломерного хода выбирается так, чтобы угол соединительного треугольника γ не превышал 5° . Тогда примычный угол φ вычисляется с достаточной точностью по формуле

$$\varphi = 180^\circ - \left(1 + \frac{a}{c}\right) \gamma, \quad (V.1)$$

где c — длина примычной стороны (известная длина стороны съемочной сети).

Если целью съемки является только контроль прямолинейности забоя, то примыкание угломерного хода к пунктам съемочной сети в штреках можно не выполнять.

Наклонная длина линий угломерного хода определяется по дальномерной рейке (см. рис. 73), горизонтальные и вертикальные углы измеряются угломером. По данным измерений вычисляются горизонтальные проложения, превышения, дирекционные углы, приращения координат.

Уравнивание угломерного хода выполняется по обычной методике. После уравнивания координаты точек хода округляют до 0,1 м и наносят на план. По результатам съемки подробностей наносится положение очистного пространства.

§ 48. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОЩНЫХ КРУТЫХ ПЛАСТОВ ЩИТОВОЙ СИСТЕМОЙ

При подготовке выемочного участка в основном варианте щитовой системы (рис. 80) проводятся следующие выработки:

- 1) основной, параллельный и вентиляционный штреки;
- 2) вентиляционные печи;
- 3) углеспускные печи под каждой секцией щита;
- 4) расчески для монтажа щита;
- 5) котлован и каналы под щитами.

Основными задачами маркшейдера в этот период являются задание направлений и контроль за правильным проведением указанных выработок.

Задание направлений подготовительным и нарезным выработкам осуществляется в соответствии с проектом выемки блока. Для этого проектное положение горных выработок наносится на маркшейдерский план горных работ, по которому затем определяются необходимые данные для задания этих выработок в шахте.

При проведении основного, параллельного и откаточного штреков маркшейдер тщательно следит за соблюдением их сечений и заданных направлений в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Съемки очистных и нарезных выработок блока опираются на пункты съемочных сетей, проложенных по основному штреку. Съемочные сети 1 и 2 разрядов строят путем прокладки теодолитных и угломерных ходов, стараясь делать их замкнутыми. Погрешность измерения углов не должна превышать $\pm 5'$. Это необходимо в связи с заданием направления большому числу выработок с основного и параллельного штреков на вентиляционный и в связи с определением размеров межстолбовых целиков.

Углеспускные печи проходят с нижнего штрека путем бурения скважин малого диаметра бурсобоечной машиной и их последующего расширения до 80—85 см. При этом направления скважин должны быть заданы с точностью, обеспечивающей при выходе их на вентиляционный горизонт, отклонение от проектного положения не более 0,5—1 м.

Перед бурением бурсобоечной машиной маркшейдер должен определить исходные данные для последующего задания места и направления каждой скважины. Для этого по данным съемки штреков, вентиляционных печей и ортов составляют план (рис. 81) и вертикальную проекцию нарезных выработок, а также необходимые вертикальные разрезы. На план и вертикальную проекцию наносят проектное положение секций щита и осей скважин. Проектное положение осей скважин на плане (пунктирные линии)

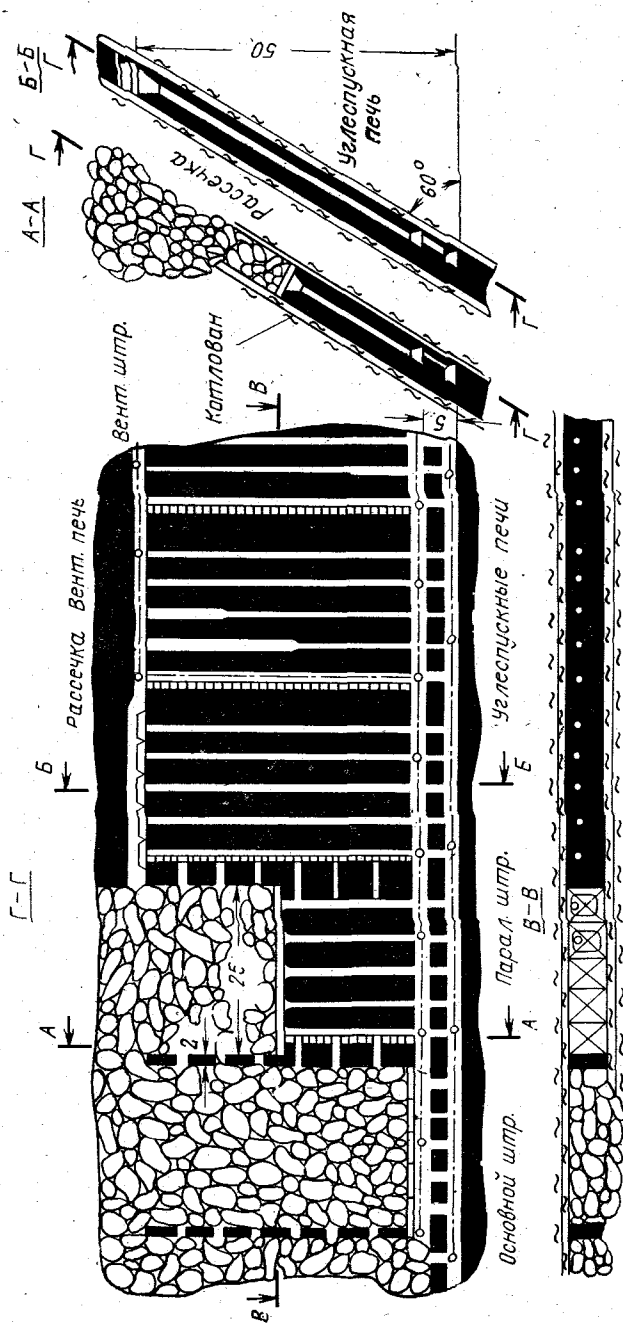


РИС. 80. Один из вариантов щитовой системы разработки круглого пласта

намечают перпендикулярно к линии простирания пласта, нанесенной также на план. Начальная точка каждой скважины намечается на пересечении оси соответствующей скважины с откалочными элементами для задания места и направления скважины в вертикальной плоскости.

Практически место и направление скважины могут быть заданы одним из следующих трех способов.

1. Каждую скважину выносят в натуру с помощью теодолита и рулетки. Начальную точку скважины в горной выработке определяют полярным способом от ближайшей стороны съёмочной сети. По этой точке, закрепленной временным знаком в кровле выработки, центрируют теодолит и задают направление оси скважины

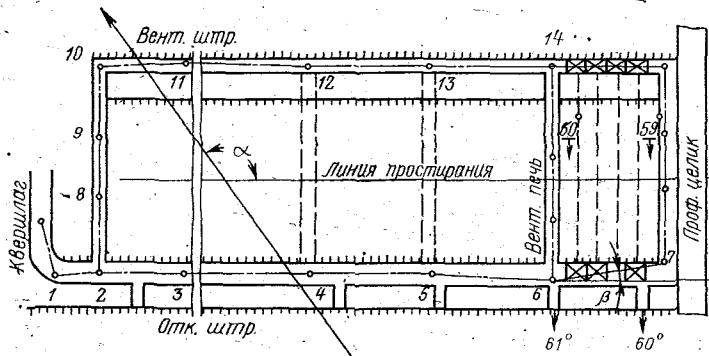


РИС. 81. План нарезных выработок при щитовой системе

в горизонтальной плоскости, которое также закрепляют двумя временными знаками.

2. С помощью теодолита и рулетки задают только одну скважину, как описано в первом способе. Направления остальных скважин рулеточными промерами переносят параллельно первому направлению, заданному инструментально.

Буробоечную машину в этих способах устанавливают так, чтобы направление шпинделя было параллельно створу отвесов, а его угол наклона соответствовал углу наклона скважины.

Эти рассмотренные способы имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что при установке буровой машины крепь выработки может быть нарушена и направление оси скважины искажено. Третий способ свободен от указанного недостатка.

3. На плане измеряют угол между линией простирания пласта и направлением ближайшей стороны съёмочной сети, а также расстояние от ближайшего пункта сети до оси скважины. Угол наклона скважины определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{h}{l}, \quad (\text{V.2})$$

где h — разность отметок начальной и конечной точек скважины;
 l — длина проекции скважины на горизонтальную плоскость.

По найденным геометрическим элементам задают место и направление скважины. Буросбоечная машина не имеет приспособления для поворота шпинделя в горизонтальном направлении. Ее ориентируют в горизонтальной плоскости лишь по раме, две

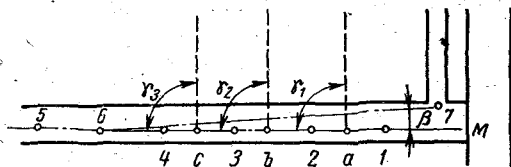


РИС. 82. Разбивка и закрепление осей для установки буросбоечной машины

стороны которой перпендикулярны к горизонтальной проекции оси шпинделя. Поэтому в выработке намечают направление не по оси скважины, а по линии, перпендикулярной к ней, т. е. по линии простирания пласта. Для этого устанавливают теодолит на пункт 6 и в створе направления, расположенного под углом β к стороне съемочной сети (6—7), выставляют отвесы 1, 2, 3, 4 между осями скважин (рис. 82). Затем на соответствующих расстояниях от пунктов 6 и 7 закрепляют точки на осях скважин (а, б, с). Под углами $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ выставляют отвесы на осях скважин.

Буросбоечная машина устанавливается на штреке в специальной камере. При этом сторона рамы, перпендикулярная к проекции шпинделя на горизонтальную плоскость, должна быть параллельной линии простирания пласта (6—М). Это достигается соблюдением равенства расстояний от шнура, натянутого между отвесами точек 1,

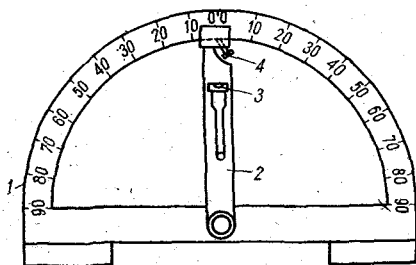


РИС. 83. Прибор для задания угла наклона оси скважин

2, 3, 4, до устанавливаемой рамы. Ось шпинделя должна находиться в одной вертикальной плоскости с осью скважины и на проектном расстоянии от висячего и лежащего боков пласта.

Угол наклона бурового инструмента δ может быть задан с помощью подвесного полукруга, транспортира или специального прибора, предложенного маркшейдером В. Г. Факеевым.

Прибор состоит из полукруга 1 (рис. 83) с делениями через $30'$ и подвижной линейки 2, снабженной цилиндрическим уровнем 3. При задании угла наклона буровому инструменту подвижная линейка с уровнем, закрепленным винтом 4, зажимается на отсчете проектного значения угла наклона скважины. Затем прибор устанавливается на шпиндель буросбоечной машины и буро-

вой инструмент поворотным механизмом поднимается или опускается до выхода на середину пузырька уровня на линейке полу-круга. Прибор В. Г. Факеева обеспечивает точность задания угла скважины до 10'.

Угол наклона скважины должен быть задан достаточно точно для обеспечения точного ее выхода на вентиляционный штрек. При длине скважины 120 м и допустимой погрешности отклонения скважины от проектного положения 0,5 м допустимая погрешность в угле наклона составляет

$$m_6 = 0,5 : 120 \cdot 3438' \approx 14 \div 15'.$$

Поскольку на отклонение скважины влияют и другие факторы (свойства пород, технология бурения и т. д.), то угол наклона скважины должен быть задан значительно точнее. Поэтому маркшейдер обязательно должен контролировать заданное направление при забурировании скважины. После того как скважина пробурена на 5—6 м, маркшейдер должен проверить правильность ее проходки и в дальнейшем осуществлять периодический контроль в процессе ее бурения.

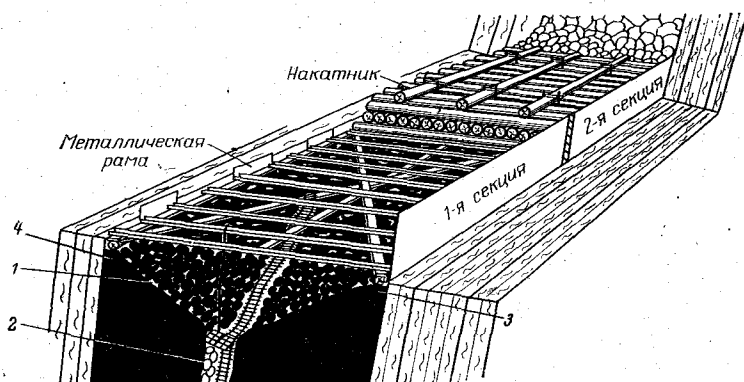


РИС. 84. Схема монтажа щита и подготовки подщитовых выработок:
1 — котлован; 2 — углеспускная печь; 3 — защитный целик; 4 — опорный целик

По окончании бурения скважину расширяют сверху вниз до проектного сечения печи. При этом маркшейдер следит за соблюдением направления, прямолинейности и площади поперечного сечения печи (особенно при расширении печи взрывными работами). Если печь пройдена неправильно, то при спуске угля может произойти ее «размывка» и ослабление опорных целиков.

По окончании проходки углеспускной печи полным сечением производится ее съёмка висячими инструментами и угломером. По результатам съёмки печь наносят на план или на вертикальную проекцию.

Маркшейдерские работы при монтаже и установке щита (рис. 84) в рабочее положение состоят в следующем. Перед проходкой рассечек маркшейдер уточняет пространственное положение выработок на откаточном и вентиляционном горизонтах. Имея в натуре и на плане фактическое положение углеспускных печей на вентиляционном горизонте, маркшейдер разбивает оси щитовых секций всего выемочного столба и определяет границы целиков, задает направление и наблюдает за проходкой рассечек, котлована, каналов. При монтаже щита, пуске в эксплуатацию и его движении маркшейдер контролирует правильность оставления пачек угля у почвы и кровли пласта, своевременность проведения работ в соседнем столбе, правильность выемки угля под щитом.

По данным съемок очистного блока составляется вертикальная проекция и вертикальные разрезы в масштабе 1 : 500 и 1 : 1000, а также пополняются основные планы горных работ.

§ 49. СЪЕМКА ПОДВЕСНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Подвесные инструменты (подвесная буссоль и подвесной полукруг) применяются для съемки небольших второстепенных горных или разведочных выработок, а также для определения элементов залегания поверхностей (пластов, тектонических нарушений и др.), вскрытых горными работами. Инструменты могут быть применены в очистных выработках с плохими условиями визирования.

Подвесная буссоль (рис. 85) состоит из буссольной коробки и подвески, благодаря которой при подвешивании на шнур буссоль занимает всегда горизонтальное положение. Лимб буссоли оцифрован через 1° от 0 до 360° против хода часовой стрелки. Диаметр лимба $0-180^\circ$ лежит в одной вертикальной плоскости со шнуром, на котором подвешена буссоль. Магнитная стрелка с агатовым подпятником вращается на острие стальной иглы и арретируется винтом, расположенным внизу коробки.

Перед началом съемочных работ выполняются поверки буссоли.

Для определения азимута подвесной буссолью натягивают шнур между двумя точками определяемого направления и ближе к одному из его концов подвешивают буссоль нулевым делением по направлению определяемой стороны. Берут отсчет по обоим концам стрелки. После этого буссоль подвешивают у другого конца шнура, где также берут отсчеты по концам стрелки. Разность двух азимутов, определенных у противоположных концов шнура, не должна превышать $\pm 30'$. Из двух определений берут среднее значение.

Измерение азимута у обоих концов шнура служит контролем отсутствия посторонних влияний на нормальное магнитное поле Земли.



РИС. 85. Подвесная буссоль

Подвесной полукруг (рис. 86) предназначен для измерения углов наклона сторон буссольного хода. Прибор изготовлен из алюминия и состоит из лимба 1, двух крючков 3 для его подвешивания на шнур и грузика-отвеса 2, прикрепленного в центре полукруга O на тонкой нити. На лимбе нанесены градусные деления от 0 до 90° в обе стороны. Нулевое деление находится на радиусе, перпендикулярном к линии шнура, на котором полукруг подвешен, а линия диаметра $90^\circ-90^\circ$ параллельна этому шнуру. Подвесив полукруг на шнур, натянутый между точками

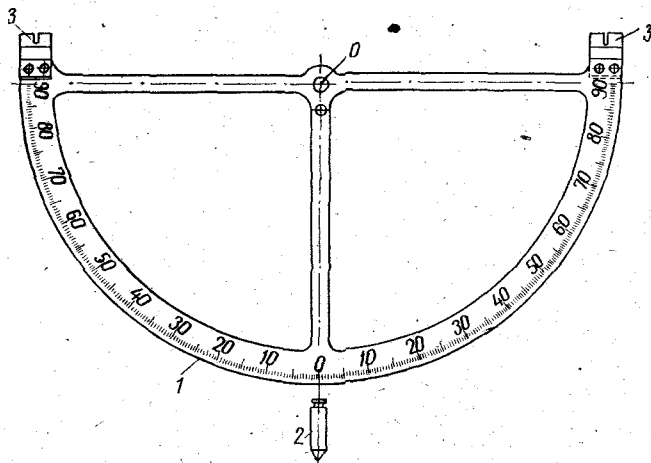


РИС. 86. Подвесной полукруг

сьемочной сети, можно определить угол наклона стороны, взяв отсчет по нити отвеса. Возможные погрешности могут быть обусловлены эксцентренностью подвески отвеса полукруга, непараллельностью диаметра $90^\circ-90^\circ$ и линии шнура.

Шнур рекомендуется хорошо натягивать, а полукруг подвешивать дважды на расстоянии $1/3$ длины от концов измеряемой линии. При этом возле каждого конца измеренный угол наклона определяют как среднее из двух отсчетов, полученных при развороте полукруга на 180° . За окончательное значение угла наклона берут среднее из результатов измерений, произведенных у концов линии. Среднее значение будет свободным от указанных погрешностей.

Съемка подвесными инструментами. Буссольная съемка состоит из нескольких основных этапов:

- а) разбивки буссольного хода в выработке;
- б) измерения магнитных азимутов или горизонтальных углов и углов наклона;
- в) измерения длины сторон хода и съемки подробностей;
- г) камеральной обработки съемки.

При съемке подвесными инструментами различают два основных случая:

- 1) съемка производится при отсутствии магнитных масс;
- 2) съемка производится в присутствии магнитных масс, нарушающих нормальное влияние магнитного поля Земли на магнитную стрелку.

При отсутствии магнитных масс съемке предшествует определение склонения магнитной стрелки буссоли. Для этого заблаговременно на территории шахты в месте, свободном от нарушения магнитного поля Земли, закрепляют двумя пунктами ориентирную линию, дирекционный угол (AB) которой определяют привязкой к опорной сети на поверхности. Буссолью в день съемки определяют магнитный азимут (AB') того же направления. Тогда разность между магнитным азимутом и дирекционным углом этого направления составит

$$D = (AB)' - (AB). \quad (V.3)$$

Определенная таким образом разность D , являющаяся склонением магнитной стрелки, не свободна от инструментальных погрешностей буссоли. Но если в шахте этой же буссолью определен магнитный азимут какой-либо линии и из результата измерения вычтено D , то полученная разность является значением дирекционного угла линии, свободным от инструментальных погрешностей буссоли.

При производстве съемки вдоль снимаемого контура выработки между точками с известными координатами намечают пункты буссольной съемки. Последовательно натягивают шнуры между двумя соседними пунктами съемки и таким образом в натуре обозначают стороны хода. Для каждой стороны измеряют: бус-

солью — магнитный азимут, полукругом — угол наклона, рулеткой — наклонную длину. Составляют абрис снимаемой горной выработки, для чего измеряют расстояния от шнура до ее стенок. На каждой вершине хода измеряют расстояние до почвы и кровли выработки. В полевом журнале должны быть указаны дата съемки и склонение, определенное на ориентирной линии.

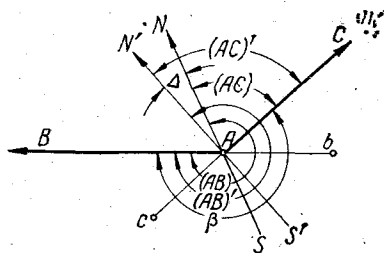
При камеральной обработке обычно не вычисляют координаты вершин хода буссольной съемки. Результаты съемки висячими инструментами накладывают на план по дирекционным углам и вычисленным горизонтальным проложениям длины сторон хода.

Если буссольный ход замкнут или пройден между двумя твердыми точками, то при нанесении его на план последняя точка может не совпадать с ее положением на плане. Это несовпадение является линейной невязкой хода.

Если она не превышает 1 : 200 периметра хода, то ее распределяют графически пропорционально расстоянию данной вершины от начала хода. По исправленному ходу накладывают съемку подробностей.

Измерив полукругом углы наклона, можно вычислить отметки угловых точек хода и почвы выработки. По этим данным и горизонтальным проложениям может быть составлен разрез горной выработки в вертикальной плоскости.

РИС. 87. Измерение горизонтального угла буссолью в присутствии магнитных масс



Рассмотренный способ буссольной съемки не всегда приемлем в современных высокомеханизированных и электрифицированных шахтах, так как в выработках сосредоточено большое количество оборудования, действующего на магнитную стрелку буссоли (комплексы, комбайны, конвейеры, металлические крепи, электрокабели, рельсы и др.). На магнитную стрелку оказывают также воздействие магнитные руды и породы. В этих условиях производится буссольная съемка в присутствии магнитных масс. Подвесную буссоль используют как простейший угломерный инструмент, с помощью которого измеряют горизонтальные углы между шнурами, натянутыми между точками хода в снимаемой выработке.

Пусть Bb и Cc — перекрещивающиеся в точке A шнуры, между которыми нужно измерить горизонтальный угол β (рис. 87). Подвесим буссоль на шнур Bb , сцентрировав ее в точке A . Так как измерения производятся в нарушенном магнитном поле, то стрелка буссоли устанавливается не в плоскости магнитного меридиана NS , а в положение $N'S'$, составляющее с ним некоторый угол Δ . Тогда магнитный азимут шнура (AB) составляет

$$(AB) = (AB)' - \Delta.$$

Подвешиваем теперь буссоль на шнур Cc , центрируя ее в той же точке A . Так как влияние магнитных масс в этой точке осталось прежним, то

$$(AC) = (AC)' - \Delta.$$

Отсюда

$$\beta = (AB) - (AC) = (AB)' - (AC)'. \quad (V.4)$$

Из последней формулы видно, что при определении угла β как разности магнитных азимутов шнуров, погрешности в определении этих азимутов не оказывают влияния на величину угла. Центрирование буссоли в точках хода (точках перекрещивания шнуров) производят глазомерно, так как оно важно лишь для сохранения постоянства отклонения магнитной стрелки посторонними нарушениями магнитного поля Земли.

В рассматриваемом способе буссольный ход начинают от пункта и стороны съемочной или опорной сети (координаты пункта и дирекционный угол стороны известны). В снимаемой выработке последовательно попарно натягивают перекрещивающиеся шнуры и на каждой образующейся таким образом точке хода измеряют магнитные азимуты обеих сторон. Остальные измерения производят как и в предыдущем способе.

При камеральной обработке по разностям наблюденных азимутов шнуров вычисляют горизонтальные углы между ними, а по ним от дирекционного угла начальной стороны — дирекционные углы сторон буссольного хода. Дальнейшие камеральные работы проводятся аналогично описанному в предыдущем способе.

§ 50. ЗАМЕР ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Маркшейдерские замеры горных выработок представляют собой упрощенные съемки, выполняемые с помощью простейших инструментов (металлических и тесьмяных рулеток, всячего полукруга, горного компаса и т. д.). Замеры подготовительных и очистных выработок проводятся для оперативного получения данных о состоянии горных работ, необходимых для пополнения маркшейдерской документации, определения объемов выполненной работ, учета потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче и т. д.

При замерах подготовительных выработок производят следующие работы: 1) составление эскиза выработки и забоя; 2) измерение длины выработки и определение ее подвигания за отчетный период; 3) измерение длины линии забоев и мощности пласта; 4) измерение линейных элементов поперечного сечения выработки.

Измерения подвигания выработок производят рулетками от маркшейдерских пунктов или специальных точек, расположенных вблизи забоя. Перед этим выработку осматривают и составляют эскиз, на котором показывают: 1) положение исходных точек с указанием расстояний от них до забоев по предыдущему и

данному замерам; 2) наименование выработок и размеры, необходимые для подсчета вынудой площади и объема полезного ископаемого и породы; 3) мощность пласта в точках замеров и зарисовки структуры пласта; 4) места и данные измерений элементов залегания пласта; 5) места геологических нарушений и их элементы залегания; 6) места обрушения, завалов, газовыделения, а также другие подробности, подлежащие отражению на маркшейдерских планах.

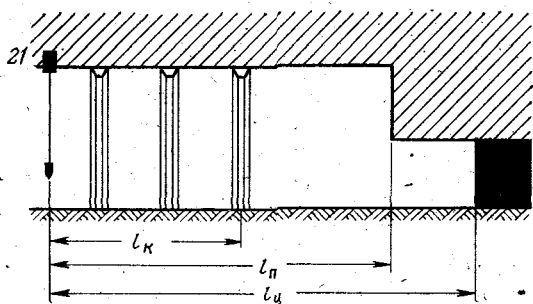


РИС. 88. Схема замера штрека

В зависимости от типа выработки и условий ее проведения продвижение за отчетный период может быть определено по углу (l_y), по породе (l_n) и по крепи l_k (рис. 88). При этом величину продвижения определяют как разность соответствующих расстояний от точки измерения на начало и конец отчетного периода.

Линейные элементы поперечного сечения в зависимости от его формы измеряют по тем направлениям, которые даны в проекте или в паспорте крепления.

Если выработка пройдена по тонкому пласту, то кроме площади сечения выработки определяют площадь обнажения залежи полезного ископаемого. Для этого в плоскости забоя данной выработки измеряют мощность пласта и длину линии забоя.

Все данные замеров заносят в специальную книгу.

§ 51. ЗАМЕР ОЧИСТНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

На пологих и наклонных пластах, если прямолинейность лавы небольшой протяженности прослеживается визуально (особенно при работе механизированного комплекса), ее длину измеряют непосредственно рулеткой или мерным шнуром (см. § 47). За окончательное значение длины лавы принимается среднее арифметическое из всех измерений, выполненных в течение отчетного периода. Для определения продвижения лавы в начале и в конце отчетного периода на откаточном и вентиляционном штреках измеряют расстояния от маркшейдерских пунктов до контура очистного забоя. После определения продвижения по каждому штреку вычисляют среднее из них.

При искривленной линии забоя выполняется его съемка инструментами пониженной точности (угломером, подвесной буссолью и полукругом). После нанесения линии забоя на план по состоянию на начало и конец отчетного периода измеряют по плану среднее подвигание забоя, а планиметром — площадь выемки (с учетом угла падения пласта). Среднюю длину линии забоя вычисляют делением площади выемки на среднее подвигание.

При потолкоуступной форме забоя на крутых пластах рулеткой измеряют все контуры забоя (длину уступов, расстояния между ними, размеры целиков и др.). На откаточном и вентиляционном штреках в начале и в конце отчетного периода осуществляют привязку забоя к пунктам опорной или съемочной сети (см. § 47).

При проведении замеров очистных выработок составляют зарисовки, на которых показываются все детали очистного пространства и их размеры (целики, бутовые полосы и др.). С помощью рулетки или специальной рейки (см. § 46) через 15—20 м измеряют мощность пласта и зарисовывают его структуру. Горным или геологическим компасом измеряют углы падения пласта, элементы залегания трещин и тектонических нарушений и т.д.

Результаты замеров очистных выработок оформляют в виде плана или эскиза, составленного в проекции на плоскость пласта в масштабе 1 : 500—1 : 1000.

Количество добытого за месяц угля D подсчитывают по формуле

$$D = Sm\gamma, \quad (\text{V.5})$$

где S — площадь выемки за месяц; m — средняя мощность пласта на отработанной площади; γ — масса единицы объема угля в массиве.

Глава VI

СЪЕМКА НАРЕЗНЫХ И ОЧИСТНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА РУДНОЙ ШАХТЕ

§ 52. ЗАДАЧИ МАРКШЕЙДЕРА ПРИ ОТРАБОТКЕ БЛОКА РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рудные месторождения в большинстве случаев отличаются сложностью условий залегания, различием физико-механических свойств руд и вмещающих пород, что обусловило многообразие применяемых систем разработки. При подготовке и отработке месторождения разделяют на участки (блоки), имеющие размеры

по высоте от 30 до 100 м (расстояние между двумя откаточными горизонтами), по простиранию от 15 до 80 м, вкрест простирания от 1 до 100 м (в зависимости от мощности рудной залежи).

По совокупности проводимых горных работ очистной блок рудной шахты представляет собой значительный по размерам и сложный объект, требующий постоянного маркшейдерского обслуживания.

В период подготовки блока основными задачами маркшейдера являются следующие:

1. Вынос в натуру, задание направлений и контроль за проведением боковых подготовительных и нарезных выработок, предусмотренных проектом.

2. Ориентирование всех подэтажных выработок и передача координаты Z на них.

3. Построение съемочных сетей, съемка подготовительных и нарезных выработок блока, нивелирование подэтажных выработок.

При проведении очистных работ в блоке маркшейдер выполняет следующие задачи:

1. Обслуживание буровзрывных работ, обеспечивающее вынос в натуру и контроль за проведением запроектированных выработок, предназначенных для отбойки массива руды.

2. Съемку выработок, границ очистного забоя, контуров образовавшихся пустот, целиков и т. д.

3. Контроль за соблюдением размеров отдельных элементов блока и полнотой выемки полезного ископаемого.

С начала подготовки и до окончания очистных работ в блоке маркшейдер должен вести записи; на основании съемок своевременно пополнять следующие графические материалы: подэтажные планы, разрезы вкрест простирания, проекции блока на вертикальную плоскость. На основании указанной документации и дополнительных измерений горных выработок определяют количество добытого полезного ископаемого, расположение и объем подземных пустот.

Выбор методики проведения съемки подготовительных и нарезных выработок очистного блока и ее точность обусловлены допустимыми отклонениями проводимых выработок от их проектного положения. Эти отклонения могут быть различными на разных шахтах в зависимости от протяженности выработок, их назначения и т. д.

§ 53. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ БЛЮКОВЫМ ВЫРАБОТКАМ ОСНОВНОГО ГОРИЗОНТА

Подготовительные выработки и очистные работы в блоке проводятся в строгом соответствии с проектом.

Для исключения возможных ошибок в проектных чертежах проектируемые горные выработки переносят на маркшейдерские

планы, разрезы и проекции горных работ и сопоставляют проектные данные с фактическим положением существующих горных выработок. Особенно обращают внимание на соответствие запроектированных выработок фактическому контуру залежи и возможности размещения всех элементов блока в натуре по указанным в проекте размерам. При этом все ранее пройденные выработки и контур рудного тела, подсеченный этими выработками, наносят на чертежи по данным маркшейдерской съемки и вычерчивают тушью. Проектное положение выработок и нанесенный по данным проекта контур залежи изображают карандашом. В случае несоответствия фактическим данным в проект вносят необходимые исправления.

Задание направления блоковому орту на основном горизонте. В связи с тем, что протяженность блоковых ортов незначительна, исходные данные для задания их направления в натуре с достаточной точностью определяются графическим способом. Для этой цели в масштабе 1 : 100 составляют вспомогательный чертеж (рис. 89), на который наносят часть существующего штрека в пределах блока, ближайшие пункты съемочной сети и ось прямолинейной части проектируемого орта. Криволинейная часть орта проводится как дуга окружности заданного в проекте радиуса закругления R с центром в точке O . Для определения положения центра O на плане от точки пересечения осей штрека и орта откладывают отрезки AB и AC , равные при прямоугольном сопряжении выработок заданному радиусу закругления R , а при косоугольном — величине

$$AB = AC = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (\text{VI.1})$$

где β — угол между осями штрека и орта.

В точках B и C восставляют перпендикуляры к осям выработок. Точка пересечения перпендикуляров является центром кривой. Из центра O вычерчивают ось криволинейной части орта и в соответствии с проектным сечением параллельно оси проводят боковые стенки орта. Пересечение последних с боковой стенкой штрека определяют точки a и e расчески орта (рис. 90). Обычно при рассечке орта вначале вынимают нишу $abcd$, а затем разбуривают и проводят сопряжение полным сечением. Дальнейшая проходка криволинейной части орта ведется по геометрическим эле-

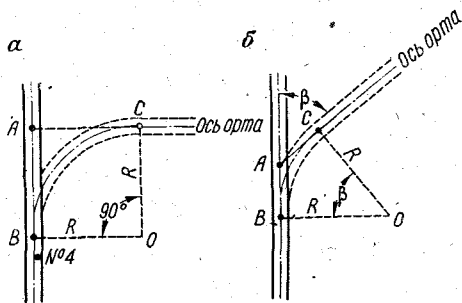


РИС. 89. Вспомогательный чертеж для определения исходных данных при проходке орта:

a — при прямоугольном сопряжении; b — при косоугольном сопряжении

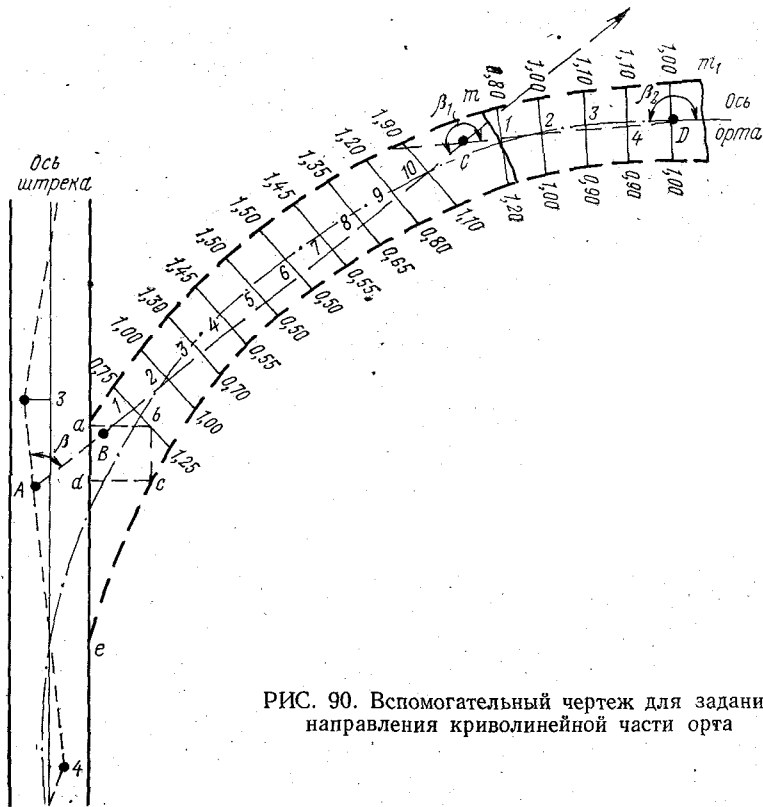


РИС. 90. Вспомогательный чертеж для задания направления криволинейной части орта

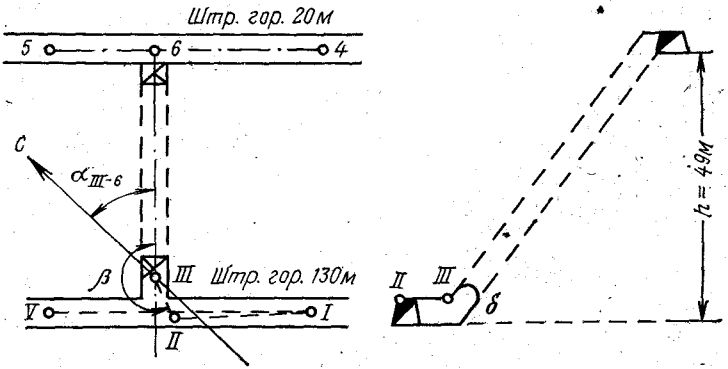


РИС. 91. Задание направления наклонному восходящему

ментам, определяемым графически (рис. 90). С целью повседневного контроля за проходкой маркшейдер составляет для проходчиков эскиз, на котором указаны необходимые элементы закрепления.

После проходки части орта AC задают новое направление CD и т. д. При задании каждого нового направления производят съемку пройденной части орта и наносят ее на маркшейдерский план.

Задание направления наклонному восстающему между двумя ранее пройденными горизонтальными выработками производят от пунктов съемочной сети II и III (рис. 91). Пункт III располагают возможно ближе к устью восстающего на оси последнего так, чтобы с него можно было задать требуемое направление. По координатам, полученным в результате съемки, на план наносят точки II и III , а также части горизонтальных выработок, между которыми проходится восстающий. На этот же план наносится проектное положение оси восстающего и графически определяется его дирекционный угол α_{III-6} . Горизонтальный угол β для задания направления восстающему в горизонтальной плоскости определяется как разность дирекционных углов оси восстающего и линии $III-II$.

Для определения угла наклона восстающего δ по его оси строят вертикальный разрез. При этом горизонтальное расстояние между штреками берут с плана, а вертикальное вычисляют как разность отметок ближайших к оси съемочных пунктов обоих горизонтов.

Задание направления восстающему в натуре производят теодолитом или угломером по углам β и δ .

Для проведения вертикального восстающего в орте основного горизонта задают лишь положение центра его сечения.

По мере проведения наклонных и вертикальных восстающих производят их съемку и уточняют дальнейшее направление.

Задание места рассечки и направления для проведения подэтажных выработок производят по данным проекта отработки блока. Горизонт рассечки подэтажного штрека намечают, откладывая наклонное расстояние (взятое в проекте) по почве или кровле восстающего. При вертикальных восстающих эти размеры задают по отвесной стенке восстающего. Рассечку подэтажного штрека протяженностью 2—4 м проводят по направлению стенок восстающего. Затем производят ориентирование подэтажа и инструментально задают направление подэтажному штреку.

§ 54. ОРИЕНТИРОВАНИЕ СЪЕМКИ

Ориентирование через вертикальные восстающие. Ориентирование съемочных сетей подэтажных горизонтов, соединенных с основным горизонтом вертикальными восстающими, может быть выполнено:

а) через два вертикальных восстающих, соединенных выработкой на ориентируемом подэтаже;

б) через один вертикальный восстающий способом двух отвесов с примыканием к ним створом или соединительным треугольником;

в) оптическим способом;

г) гироскопическим способом.

Исходными пунктами для ориентирования съемочных сетей подэтажных горизонтов очистного блока должны быть пункты подземной маркшейдерской опорной сети основного горизонта или съемочной сети 1 разряда.

Погрешность ориентирования подэтажных выработок по отношению к ближайшей стороне сети основного горизонта должна быть не более $\pm 10'$. Для контроля ориентирование выполняют не менее двух раз. Расхождение между результатами двух ориентирований не должно превышать $14'$. Если в очистном блоке несколько подэтажей и их ориентирование производится последовательно, то это расхождение не должно превышать величины

$$m = \frac{14'}{\sqrt{n}}, \quad (\text{VI.2})$$

где n — число подэтажей.

Ориентирование через два вертикальных восстающих производят по схеме ориентирования через два вертикальных ствола. Углы на пунктах соединительного хода измеряют одним повторением теодолитом Т15 или ему равноточным. Длина сторон хода измеряется стальной рулеткой в прямом и обратном направлениях. При этом расхождение между результатами измерений одной и той же стороны не должно превышать $1 : 1000$ ее длины.

В процессе вычислений подсчитывают относительную невязку хода между отвесами, которая не должна превышать $1 : 300$. При вычислениях координаты отвесов, определенные на основном горизонте, считают безошибочными. Если невязка допустима, то ее распределяют на все приращения соединительного хода, в противном случае ориентирование повторяют.

Ориентирование через один вертикальный восстающий по двум отвесам с примыканием к ним соединительным треугольником производят по методике, аналогичной ориентированию через один вертикальный ствол. Для спуска отвесов применяют блоки и катушки облегченного типа, которые закрепляются с помощью стержня, ввинченного в деревянную крепь или специальную стойку. Погрешность проектирования точек не должна быть более ± 1 мм.

Для отвесов применяют тонкую ($d = 0,3 \div 0,4$ мм) стальную проволоку, а также латунную или полиамидную проволоку ($d^1 = 0,5 \div 0,7$ мм) и грузы массой до 10 кг. Возможно использование суровых или шелковых шнуров с грузами массой 4—5 кг.

Для обеспечения достаточной точности ориентирования соединительному треугольнику необходимо придать выгодную форму. При этом расстояние между отвесами, опущенными в восстающий, должно быть не менее 0,5 м.

Углы соединительных треугольников измеряют одним приемом или одним повторением теодолитами типа Т15. Стороны треугольников измеряют стальной рулеткой дважды (расхождение между двумя измерениями не должно быть более 3 мм). Углы треугольников вычисляют по формулам синусов или сторон с обязательным контрольным вычислением расстояния между отвесами. Расхожде-

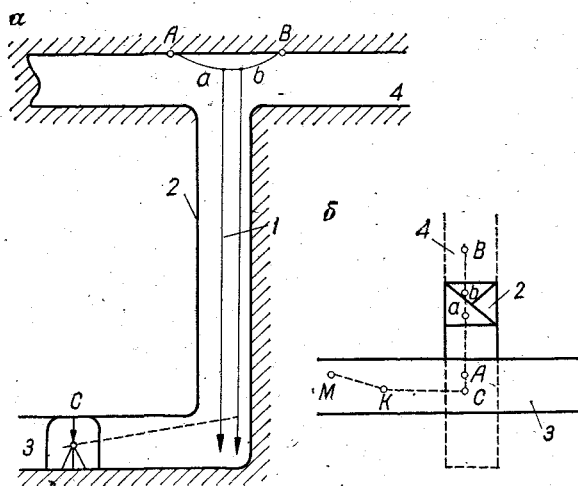


РИС. 92. Ориентирование съемочной сети подэтажа способом створа двух отвесов: а — вертикальный разрез; б — план; 1 — отвесы; 2 — восстающий; 3 — основной горизонт; 4 — ориентируемый горизонт

ние непосредственно измеренного и вычисленного расстояний между отвесами не должно быть более 5 мм.

Ориентирование через один вертикальный восстающий способом створа двух отвесов. Примыкание к отвесам осуществляется установкой теодолита в створе отвесов на основном горизонте с помощью специальной подставки с юстировочными винтами или насадки с передвижной пентапризмой на объектив трубы. Для примыкания на ориентируемом горизонте между пунктами съемочной сети А и В (рис. 92) натягивают проволоку, к которой прикрепляют два отвеса, опущенных в восстающий. На основном горизонте теодолитом, установленным в створе отвесов в точке С, измеряют горизонтальный угол между направлением на известную точку К и створом отвесов, а также расстояние от точки С до отвеса а. На ориентируемом горизонте измеряют расстояние от точки А до отвеса а. Методика выполнения угловых и линейных измерений такая же, как и в предыдущем способе. По резуль-

татам измерений на основном горизонте обычным способом вычисляют дирекционный угол створа отвесов, а следовательно, и линии AB на ориентируемом горизонте. Вычисляют горизонтальную проекцию расстояния от точки C до точки A как разность измеренных расстояний Ca и Aa . По полученному значению и дирекционному углу линии CA (т. е. створа отвесов) вычисляют координаты точки A .

Для контроля изменяют установку теодолита и повторяют все измерения. За окончательный результат берут среднее значение координат точки A и дирекционного угла AB из двух ориентирований.

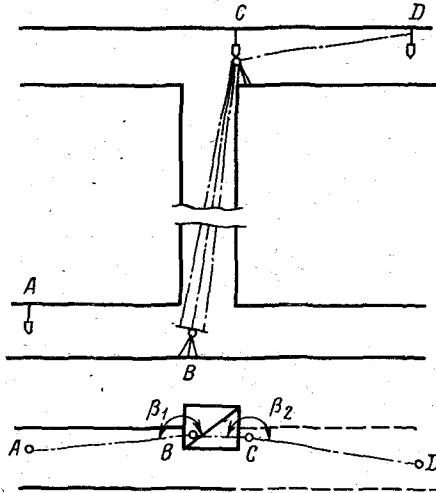


РИС. 93. Ориентирование подэтажной выработки оптическим способом

Погрешность установки теодолита в створе отвесов (по данным Д. З. Гельмана) не превышает $\pm 3'$. Применение насадки с пентапризмой позволяет уменьшить ее до $10-20''$.

Оптическое ориентирование подэтажных выработок производится через вертикальные или крутонаклонные восстающие с помощью угломера УТ-3.

При выполнении работ используют одновременно два угломера с ориентирно-дальномерными рейками. Первый угломер устанавливают под восстающим в точке B (рис. 93), а второй — над тем же восстающим в точке C . Первый угломер визируют на точку A и берут отсчет по горизонтальному кругу. Вторым угломером, установленным в точке C , визируют на керн первого угломера и берут отсчет по вертикальному кругу.

По сигналу маркшейдера, работающего с верхним угломером нижний угломер вращают вокруг вертикальной оси и добиваются совмещения оси рейки с горизонтальной нитью сетки нитей верхнего угломера. По горизонтальному кругу нижнего угломера берут отсчет (первое положение.) Маркшейдер с помощью микрометрического винта алидады верхнего угломера производит 4—5 совмещений горизонтальной нити с осью рейки нижнего угломера и берет соответствующие отсчеты по горизонтальному кругу. После этого поворачивают трубу нижнего угломера на 180° вокруг горизонтальной оси вращения, устанавливают рейку во второе положение, повторяют серию совмещений и отсчетов по верхнему угломеру. За окончательное значение отсчета по горизонтальному кругу в точке C принимают среднее арифметическое из серий от-

счетов при двух положениях рейки. По окончании этих действий верхним угломером визируют на точку D и берут отсчет по горизонтальному кругу. По разностям отсчетов на основном и ориентируемом горизонтах вычисляют углы соответственно β_1 (ABC) и β_2 (BCD).

Для передачи координат и высотной отметки рулеткой или дальномером измеряют расстояние BC (между горизонтальными осями угломеров) и длину отвесов в точках A, B, C, D . Дирекционный угол ориентируемой стороны CD и координаты точки C вычисляют как в обычном полигонометрическом ходе, используя известный дирекционный угол стороны AB .

Гироскопическое ориентирование съемочных сетей подэтажных выработок производится с помощью малогабаритных гирокомпасов, гиросадов и гиробуссоли МВБ-3. Описание этих приборов и методика работы с ними приведены в гл. III.

Ориентирование через наклонные восстающие. Ориентирование съемочных сетей подэтажных выработок через наклонный восстающий производят:

- а) проложением полигонометрического хода;
- б) способом створных точек;
- в) способом перемещения несвободного отвеса.

При проложении полигонометрического хода через наклонный восстающий часть вершин его закрепляют по возможности в местах сопряжений восстающего с подэтажными выработками. В тех случаях, когда сквозное визирование на этаж с одной установки инструмента невозможно, для отдельных пунктов съемки укрепляют специальные полки. В полигонометрическом ходе измеряются горизонтальные углы, углы наклона и длина сторон.

Для угловых измерений используют теодолиты или угломеры с точностью отсчитывания по горизонтальному и вертикальному кругам не ниже $10'$. Горизонтальные углы измеряют одним полным повторением, вертикальные — при двух положениях трубы в одном направлении. При углах наклона восстающих свыше 50° рекомендуется применять теодолит с внецентрированной трубой или выполнять работы способом створных точек.

Каждая сторона теодолитного или угломерного хода измеряется дважды стальной рулеткой. Расхождения между двумя измерениями не должны превышать $1 : 1000$.

При углах наклона восстающих 70° и более целесообразно применить способ взаимного ориентирования, как было описано выше.

Координаты вершин хода вычисляют по обычным формулам. Для упрощения вычислений значения горизонтальных углов округляют до $1'$, вертикальных — до $10'$, расстояний — до $0,01$ м. Теодолитные или угломерные ходы, проложенные по восстающим, должны замыкаться на вентиляционных горизонтах или в подэтажных выработках или же дважды прокладываться независимо. При этом относительная линейная невязка не должна превышать $1 : 300$ длины хода.

При способе створных точек применяется теодолит с окулярной призмой или насадкой, позволяющей визирировать вверх под любым углом наклона (рис. 94). На основном горизонте 1 под точкой C устанавливают теодолит, а на ориентируемом горизонте 3 в точке B подвешивают визирный отвес, который наблюдают в трубу теодолита с помощью окулярной призмы или насадки. Теодолитом измеряют горизонтальный угол ACB и угол наклона, а стальной рулеткой — длину линии CB . После этого в возстающем 2 выставляют в створе линии CB дополнительную точку K на таком расстоянии, чтобы отвес на этой точке можно было наблюдать из точки B в центральную трубу теодолита. Теодолитом, установленным в точке B , измеряют угол KBF , который равен углу CBF . Координаты точек B и F вычисляют обычным способом.

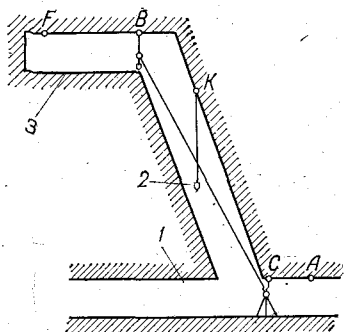


РИС. 94. Ориентирование сети подэтажа способом створных точек

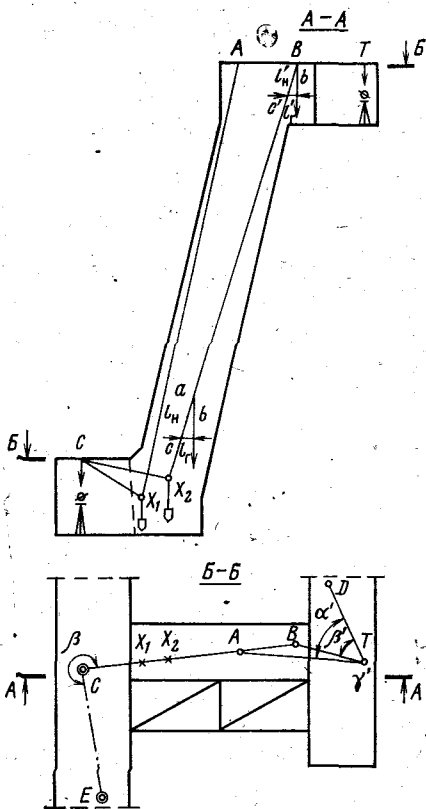


РИС. 95. Ориентирование с перемещением несвободного отвеса

Анализ результатов ориентирований в рудниках Кривого Рога показывает, что угол CBF указанным способом определяется с точностью $\pm 1-3'$.

Ориентирование с перемещением несвободного отвеса основано на определении дирекционного угла створа двух положений несвободного отвеса (рис. 95).

Между маркшейдерскими пунктами A и C , закрепленными соответственно на ориентируемом и исходном горизонтах, закрепляется тонкая проволока или жилка, которая в точке X_1 оттяги-

вается отвесом, образуя пересекающиеся линии CX_1 и X_1A , определяющие вертикальную ориентирующую плоскость CX_1A . Между исходной стороной EC и ориентирующей вертикальной плоскостью CX_1A измеряют горизонтальный угол β . После этого верхний конец проволоки из точки A перемещают в точку B , которая закрепляется в створе плоскости CX_1A на максимально возможном удалении от точки A (при этом отвес X_1 займет положение X_2). Устанавка точки B в створ с вертикальной плоскостью CX_1A производится методом приближений по командам с нижнего горизонта, где перемещение контролируется визированием на нижнюю часть отвеса X_1 через трубу теодолита, установленную под углом β к исходной стороне.

При втором положении несвободного отвеса измеряют горизонтальное проложение линии $CX_2 = S_1$ и наклонную длину $X_2B = L$. Для определения горизонтального проложения $X_2B = S_2$ образуют вспомогательный прямоугольный треугольник abc , обозначая метками произвольные точки a и c на наклонной проволоке и прикрепляя в точке a легкий отвес.

В образованном треугольнике измеряют катет $bc = l_r$ и гипотенузу $ac = l_n$. На верхнем горизонте непосредственно у точки B может быть образован аналогичный треугольник, в котором будут измерены $b'c' = l'_r$ и $Bc' = l'_n$. Величину S_2 находят по формуле

$$S_2 = L \frac{l_r}{l_n} = L \frac{l'_r}{l'_n}. \quad (\text{VI.3})$$

Методом геометрического или тригонометрического нивелирования производится высотная привязка точки X_2 несвободного отвеса CX_2A .

На ориентируемом горизонте измеряют элементы треугольника примыкания ABT : стороны AB , AT , TB , угол γ' между сторонами TA и TB , а также примычные углы α' и β' .

Вычисление ориентировки заключается в вычислении углов соединительного треугольника по теореме синусов, дирекционного угла линии AB и координат точки B с последующим вычислением дирекционного угла ориентируемой стороны TD и координат точки T . По несложным геометрическим формулам могут быть также определены высотные координаты точки B .

При невозможности перемещения несвободного отвеса в створе ориентирующей плоскости CX_1A на основном горизонте может быть образован вытянутый соединительный треугольник CAB . В этом случае вычисления несколько усложняются.

Рассматриваемый способ может быть использован при ориентировании через искривленные и ломаные восстающие при отсутствии прямой визуальной или прямолинейной связи между ориентируемыми горизонтами. В таких случаях на несвободный отвес подвешиваются несколько грузов по его длине и несвободный отвес разбивается на несколько составляющих, для каждой из которых выполняются описанные ранее измерения.

Способ обеспечивает передачу дирекционного угла с погрешностью не более $1'$ и отличается высокой производительностью полевых и камеральных маркшейдерских работ.

§ 55. ПЕРЕДАЧА КООРДИНАТЫ Z НА ПОДЭТАЖНЫЕ ВЫРАБОТКИ

При подготовке и эксплуатации блока важное значение имеет увязка блоковых выработок не только в горизонтальной плоскости, но и по высоте. Для этого выполняется передача координаты Z (передача высот) с основного горизонта на подэтажи. Передачу высот на каждый подэтажный горизонт выполняют независимо дважды. При этом расхождение между превышениями не должно быть более $0,05$ м.

В связи с невысокой точностью определения отметок и небольшим сроком службы подэтажных выработок специальных реперов в этих выработках не закладывают, а отметки передают на пункты съемочной сети. В зависимости от характера выработок, соединяющих подэтажные горизонты с основным, применяют следующие способы передачи координаты Z .

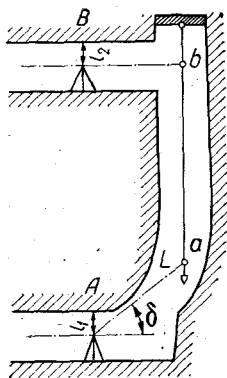


РИС. 96. Передача координаты Z через восстающий

Через вертикальные восстающие, где может быть опущена рулетка, координату Z передают с помощью рулетки и нивелиров. Схема выполнения работ аналогична схеме передачи высотной отметки через вертикальный ствол длиной лентой.

Через наклонные восстающие на подэтажные горизонты координату Z передают тригонометрическим нивелированием одновременно с проложением теодолитных ходов. Вертикальные углы измеряют при двух направлениях.

Часто возникает необходимость сочетания геометрического и тригонометрического методов нивелирования (рис. 96). В этом случае в вертикальной части восстающего опускают стальную рулетку и с помощью нивелира берут отсчет b по верхнему концу рулетки. По нижнему концу рулетки отсчет a берут против визирного луча теодолита, отцентрированного под маркшейдерской точкой на основном горизонте. Затем измеряют угол наклона визирного луча δ , длину L от теодолита до точки a , а также высоты инструментов l_1 и l_2 .

Превышение ΔZ между горизонтами вычисляют по формуле

$$\Delta Z = (b - a) + (l_2 - l_1) + L \sin \delta. \quad (\text{VI.4})$$

§ 56. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ ВЫРАБОТОК
И ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

При некоторых системах разработки очистные работы производятся с помощью массовых взрывов зарядов, помещенных в специальных взрывных (минных) выработках и в глубоких взрывных скважинах.

Взрывные выработки применяют при отбойке крепких руд в камерах и при погашении выработанных камер путем разрушения целиков или обрушения вмещающих пород. Эти выработки проводят согласно проекту, составленному на основе маркшейдерских планов и разрезов, на которых отражено фактическое положение горных выработок в пределах проектируемого и соседних с ним блоков.

Центры взрывных выработок выносят в натуру полярным методом или методом ординат относительно пунктов и сторон съемочных сетей (полигометрических ходов). На рис. 97 показано положение взрывных выработок 1, обрезной щели 2, проектных границ камер 3 и межкамерного целика 4, пунктов полигометрического хода, проложенного по ходовой выработке 5.

После проведения взрывных выработок производят их съемку указанными выше методами и нанесение на план и разрезы. На этих же графических материалах составляется проект массового взрыва, по получению которого маркшейдер намечает на земной поверхности зону опасного влияния взрыва. На время проведения взрывных работ все люди должны покинуть эту зону.

Взрывные скважины в зависимости от системы разработки проекта взрывных работ бурят вертикально, горизонтально и наклонно. Скважины могут быть расположены параллельно друг другу и веерообразно. Разбивку скважин и их контрольную съемку по окончании бурения выполняют от пунктов съемочных сетей,

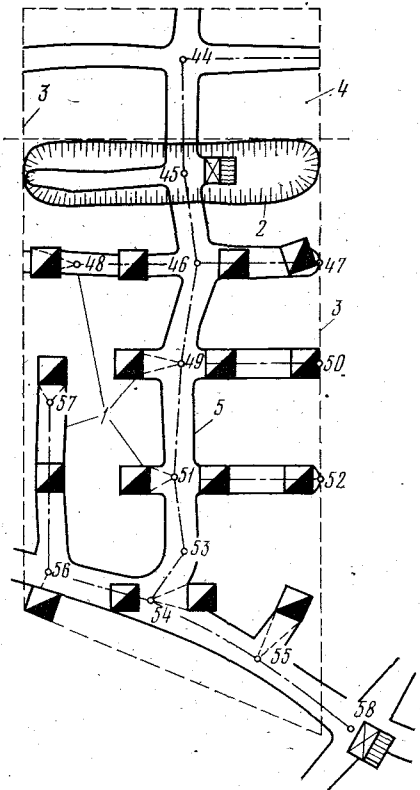


РИС. 97. Расположение взрывных выработок в блоке

проложенных по выработкам соответствующего горизонта. В процессе съемки измеряют также глубину каждой скважины.

Вертикальные глубокие скважины применяются при системе этажного принудительного обрушения. Скважины бурят с горизонта верхней подсечки. После окончания бурения производят съемку скважин на горизонтах верхней и нижней подсечек.

При параллельном расположении горизонтальных скважин в соответствии с проектом составляют эскиз, на котором отмечают точки пересечения осей проектируемых скважин с линией визирования (AB) или сторо-

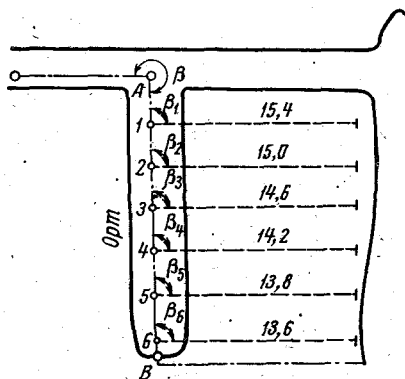


РИС. 98. Эскиз для задания направлений параллельным горизонтальным скважинам

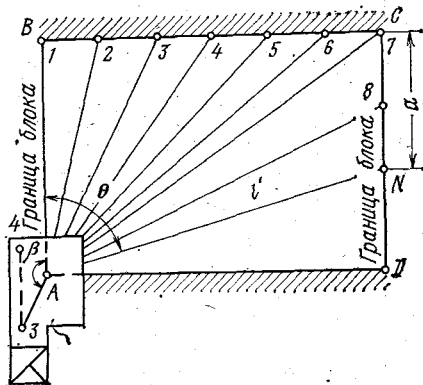


РИС. 99. Веерообразное расположение горизонтальных скважин в блоке

ной съемочной сети (рис. 98), а также расстояния от исходного пункта A до ближайшей проектной точки пересечения 1 и между всеми последующими проектными точками ($1-2$, $2-3$, $3-4$ и т. д.) Углы для задания направления скважинам (β_1 , β_2 , β_3 и т. д.) вычисляют по разности дирекционных углов линии визирования и осей скважин.

В натуре, отложив угол β от стороны съемочной сети, проводят линию AB , закрепляя точки пересечения линии визирования и проектных направлений осей скважин. С помощью теодолита, устанавливаемого в точках 1 , 2 , 3 и т. д., задают направление каждой скважине, отмечая мелом центры скважин на стенке выработки и подписывая их номера.

По окончании проходки скважин производят их контрольную съемку. Для этого в каждую скважину вставляют около 5 м буровых штанг, оставляя примерно 2—2,5 м снаружи. После этого инструментально (с помощью теодолита и рулетки) выполняют необходимые измерения и вычисляют координаты устья и торца штанг для каждой скважины. По координатам этих точек вычис-

ляют дирекционные углы и углы наклона скважин. Как видно съемка скважин по всей глубине не производится, а также не измеряется искривление скважин, которое может быть значительным. В настоящее время еще не разработаны методы и приборы для быстрой и точной съемки скважин.

Веерообразно расположенные горизонтальные скважины бурят из буровых камер, специально подготовленных на границах блоков (рис. 99). Буровые камеры проходят из восстающих на определенном расстоянии по вертикали одна от другой. Камеру располагают таким образом, чтобы ее центр A , являющийся местом установки бурового станка, находился на пересечении линий, ограничивающих обрушаемый массив блока. Это позволяет крайние скважины бурить вдоль границ блока. Для соблюдения этого условия из восстающего на отмеченном уровне проходят заходку длиной 3—4 м, надежно закрепляют в ней пункты 3 и 4 съемочной сети, выполняют ориентирование и съемку заходки. По результатам съемки составляют план заходки в масштабе 1 : 200. На план наносят проектное положение буровой камеры, центральной точки A и осей скважин. По полученному чертежу определяют следующие данные, необходимые для выноса точки A и осей скважин в натуру: горизонтальный угол $4-3-A$, расстояние $3-A$, углы между линией $A-3$ и осями скважин, а также длину каждой скважины.

После проходки камеры выполняют ее съемку, фактические контуры камеры также показывают на составленном ранее плане. В кровле закрепляют центральную точку камеры A , а в арке со стороны разбуривания — деревянные брусья. Для задания направления скважинам в точке A устанавливают угломерный инструмент, ориентируя начальный отсчет на точку 3, и последовательно откладывают углы, соответствующие проектному направлению каждой скважины. Эти направления фиксируются закрепляемыми в брусьях точками, из которых опускаются отвесы. У каждой точки ставят порядковый номер скважины и ее проектную длину.

Для выполнения буровых работ составляют эскиз расположения буровых скважин. Перед началом бурения колонку бурового станка устанавливают под точкой A , а штангу станка при эксцентренном ее положении направляют не по обозначенному на бруссе направлению, а параллельно ему со смещением r , равным расстоянию между осью штанги и осью колонки (рис. 100). Величину смещения откладывают с помощью шаблона, состоящего из четырех пластин, соединенных в четырехугольник, две стороны которого равны r . По окончании бурения производят контрольную съемку и измерение глубины каждой скважины.

Задание направления наклонным скважинам. При подготовке массовых взрывов в блоках часто скважины располагают в виде наклонного веера с постоянным углом наклона всех скважин веера. Из одной буровой камеры может быть

Длину скважин (см. рис. 99), угол наклона которых меньше предельного (такие скважины могут быть в секторе ACD), определяют по формуле

$$l = \frac{l'}{\cos \gamma}. \quad (VI.8)$$

При бурении наклонных скважин возникает необходимость в вычислении направлений крайних скважин наклонного веера, которые должны лежать в плоскости лежащего бока залежи. В связи с этим острый угол между направлением падения залежи и осью крайней в веере скважины можно вычислить по формуле

$$\cos \theta = \operatorname{tg} \gamma \operatorname{ctg} \delta. \quad (VI.9)$$

Тогда горизонтальный угол для задания направления крайней скважине

$$\beta^0 = \beta' + \theta,$$

где β' — угол между стороной маркшейдерской съемки и направлением падения залежи.

При бурении наклонных скважин каждой из них, кроме направления в горизонтальной плоскости, задают в натуре угол наклона с помощью висячего полукруга, транспорта или прибора В. Г. Факеева (см. рис. 83)

Возможно одновременное задание направления скважине в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для этого угломерный инструмент устанавливают в точке A на той же высоте, на которой при бурении будет установлена ось вращения бурового инструмента. Направление оси скважины в горизонтальной плоскости обозначают отвесом, закрепленным в деревянном бруске. Далее устанавливают отсчет по вертикальному кругу инструмента, равный проектному углу наклона скважины, а по сетке нитей зрительной трубы отмечают точку на отвесе и точку на стенке выработки.

Измерение глубины пробуренных скважин при разработке рудных месторождений позволяет установить правильность подготовки блока к массовому взрыву, выявить необходимость проведения дополнительных буровых работ, произвести корректировку паспорта взрыва, своевременно принять меры по снижению уровня потерь и разубоживания, уменьшению выхода негабарита, устранить причины брака работ и т. д.

Глубину вертикальных скважин измеряют с помощью рулетки или специального троса, на котором через каждый метр закреплены оцифрованные марки.

Глубина горизонтальной или наклонной скважины может быть измерена стальной проволокой диаметром 3—4 мм, которая проталкивается до забоя скважины, а затем измеряется рулеткой. Для этих же работ ВНИМИ разработал специальную конструк-

цию желобчатой упругой рулетки длиной до 50 м и тонкостенные дюралюминиевые жезлы длиной 1—1,5 м, позволяющие при соединении их в мерный став измерить скважину глубиной до 40 м.

В 1976 г. кафедрой маркшейдерского дела ЛГИ разработан и испытан эхолокатор «Пульсар» для контроля взрывных скважин. Этот прибор обеспечивает автоматическое измерение глубины скважин в интервале 3—60 м диаметром 50—220 мм, а также одновременную регистрацию геологических нарушений, трещиноватости и вывалов в скважинах. Эхолокатором можно измерить глубину скважины в течение 15—30 с со средней квадратической относительной погрешностью $\pm 1\%$. Прибор имеет автономное питание от внутренней батареи; общая масса с источником питания составляет 6 кг.

Эхолокатор «Пульсар» состоит из приемоизлучающей головки, штанги и блока регистрации с проблесковым индикатором. При измерении оператор с помощью штанги помещает головку в устье скважины и берет отсчеты измеряемых расстояний по шкале индикатора.

§ 57. ОСОБЕННОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Характер маркшейдерских работ при очистной выемке полезного ископаемого во многом зависит от принятой системы разработки месторождения. Рассмотрим маркшейдерские работы, характерные для основных систем разработки рудных месторождений.

При системах разработки с потолковыми ступенчатым забоем съемку восстающих производят угломерами или висячими инструментами. Съемку очистных выработок при крутом падении залежи чаще всего производят простым рулеточным замером и с помощью подвесного полукруга. В практике встречаются два наиболее характерных случая съемки очистного забоя с помощью полукруга.

В первом случае (рис. 101, а) в восстающие опускают по одному отвесу A , B , E , положение которых определяют от ближайших пунктов опорной или съемочной сети. В очистном забое с помощью висячего полукруга натягивают горизонтальные шнуры. Металлической рулеткой измеряют расстояния между отвесами и длину всех отвесов. Сумма измеренных горизонтальных расстояний не должна отличаться от общего расстояния между отвесами A , B , E более чем на 1 : 200. Съемку забоя и поверхности отбитой руды производят способом перпендикуляров от горизонтальных шнуров. По данным съемки положение линии забоя изображается в проекции на вертикальную плоскость.

Во втором случае (рис. 101, б) в восстающих *A* и *B* перпендикулярно к сторонам полигометрического хода на вентиляционном или откаточном штреках натягивают шнуры 1—2 и 8—7 и измеряют их длину. Вдоль забоя между точками 2—3, 3—4 и т. д. натягивают шнуры по простирацию залежи в одной вертикальной плоскости. Рулеткой измеряют длину шнуров, а висячим полукругом — углы наклона. Съемку забоя и всех

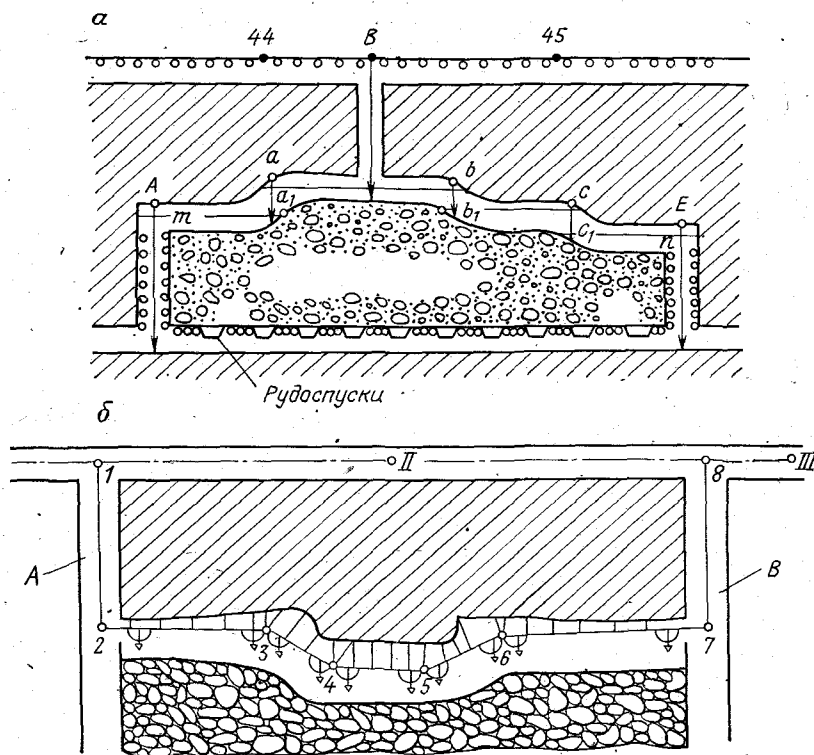


РИС. 101. Съемка висячим полукругом потолкоуступного забоя

элементов очистного пространства ведут от шнуров по способу перпендикуляров.

Мощность рудной залежи измеряют в характерных точках ее изменения. Измеряют также угол падения залежи и производят ее структурную зарисовку. По результатам съемки составляют проекцию на вертикальную плоскость или на плоскость залежи.

При углах падения залежи менее 60° съемку очистного забоя выполняют с помощью угломеров или висячих инструментов. По маркшейдерским планам и проекциям, составленным по данным съемки и замеров очистных работ, определяют добычу и потери руды за отчетный период.

При системе подэтажного обрушения рудная залежь разделяется по простиранию на выемочные участки (блоки). Подготовка блока к выемке начинается проведением орта на основном горизонте и рудоспускных восстающих. Для проведения орта и восстающих маркшейдер задает места рассечек и направления, а также контролирует правильность проходки этих выработок.

По достижении восстающими проектного горизонта первого (верхнего) подэтажа из них рассекают подэтажный орт и проводят его на всю мощность залежи из одного восстающего или встречными забоями из нескольких восстающих. В обоих случаях маркшейдер задает направление орта, предварительно выполняя передачу координаты Z и ориентирование подэтажного горизонта. Исходные данные для задания направления определяют графически по плану, на который наносят фактическое и проектное положения горных выработок.

Одновременно с рудоспускными восстающими для целей вентиляции и сообщения с подэтажами проходят полевой восстающий, который сбивают с подэтажными ортами. Из подэтажных ортов маркшейдер задает направления для проведения подэтажных штреков, расстояние между которыми соответствует принятой ширине панели.

По мере проведения подэтажного орта и штреков производят их съемку.

При системе подэтажного обрушения с отбойкой руды глубокими скважинами подэтажи высотой 20—25 м разделяются на несколько выемочных панелей размерами 20×30 м. Панель включает два-три подэтажных штрека (орта).

Маркшейдерские работы при этой системе состоят в задании направления и в контроле за проведением подэтажных выработок, горизонта подсечки, в задании направления глубоким скважинам и измерении их глубины. Методика этих видов работ описана выше. По результатам замеров скважин на маркшейдерском плане оконтуривают обуренную зону. После выпуска взорванной руды панель считают погашенной, никаких съемочных работ в ней не производят и соответствующим условным знаком отмечают на плане.

При системе разработки подэтажными штреками (рис. 102) рудное тело разделяется на этажи высотой от 40 до 100 м. Этаж по простиранию или вкрест простирания (в зависимости от мощности рудного тела) делится на камеры 1, а по восстанию—на подэтажи. Между камерами, а также над и под ними оставляют временные целики 2, 3 и 4, которые вынимают после отработки камер. Для подготовки блока из основного штрека на всю высоту этажа в межкамерном целике проходят восстающий 5, из которого затем проводят подэтажные штреки 6. Одновременно с проведением восстающего из основного штрека

проходят рудоспуски 7, которые соединяют между собой на горизонте подсечки штреком.

Подэтажные штреки на границах блока сбиваются обрезными восстающими 8, из которых проходят обрезную щель от горизонта подсечки до надкамерного целика (потолочины). После образования обрезной щели непосредственно из подэтажных штреков или предварительно пройденных открытых заходок (одна сторона которых выходит в выработанное пространство) бурят шпур, после взрыва которых отбитая руда через рудоспуски попадает

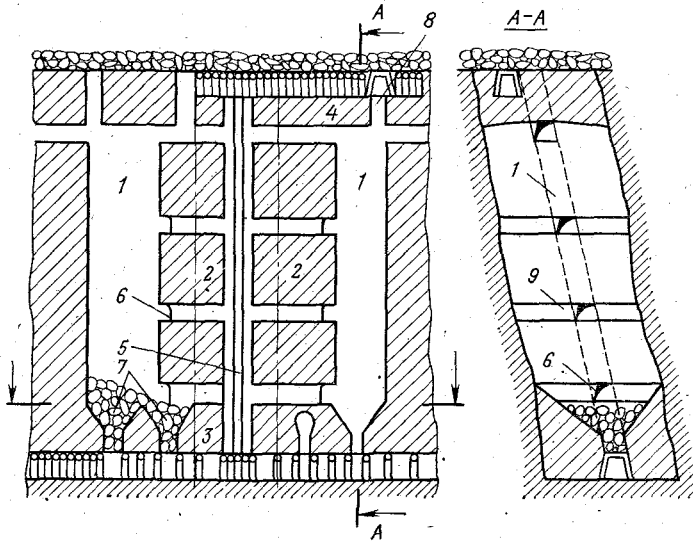


РИС. 102. Разработка рудного месторождения подэтажными штреками

на откаточный штрек или на горизонт дробления (если таковой есть).

Задачи маркшейдера при рассматриваемой системе разработки следующие: задание направления горным выработкам, проводимым в блоке, контроль за проведением блоковых выработок и съемка их. Особенно важной задачей является контроль за размерами целиков, образующихся в процессе отработки камер.

Съемка очистного забоя камеры производится различными способами в зависимости от метода отбойки руды на подэтажах.

При отбойке руды из открытых заходок на каждом подэтаже (рис. 103, а) от ближайших съемочных точек (3, 4) по их створу выставляют точку С в открытой заходке и, измеряя расстояние 4—С, определяют положение последней. С точки С угломером производят съемку концов заходки D, E и других точек на изгибах контура заходки. С помощью малой рейки, а во многих случаях глазомерно определяют ординаты от линии DC и CE до забоя (точки 1, 2, 3, 4, 5, 1', 2' и т. д.).

По ординатам наносят на план контуры камеры и заходки. Границу камеры со стороны обрезной щели устанавливают по положению заснятого и нанесенного на маркшейдерские планы отрезного восстающего и заходок, проводимых у отрезного восстающего для образования щели.

При отбойке руды из закрытых заходок (рис. 103, б) линейным замером вдоль ходовой выработки определяют положение очистного забоя в точке С. Отступая на заданное расстояние от забоя камеры, намечают точку В для расчески закрытой заходки. Заходки задают параллельно друг

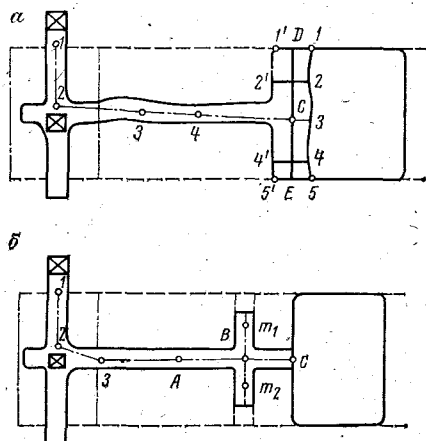


РИС. 103. Съемка линии очистного забоя при отбойке руды из открытых (а) и закрытых (б) заходок

другу инструментально. Перед обрушением заходки производят съемку ее для контроля за шириной камеры или за доведением заходок до контактов рудного тела, если заходки располагаются вкрест простирания рудного тела. По результатам съемки вычерчивают на планах и разрезах положение очистного забоя в камерах.

На практике отбойка уступа часто производится с помощью веера штанговых шпуров, пробуриваемых непосредственно из ходовой выработки без проведения заходок. Положение плоскости забоя в этом случае определяют промером расстояния от ближайшей маркшейдерской точки, а ширину камеры — промерами длины пробуренных штанговых шпуров.

Местоположение каждого веера штанговых шпуров указывает маркшейдер, для чего от забоя камеры отмеряют принятое проектом расстояние и по периметру выработки прочерчивают меловую черту. Размещение шпуров по сечению выработки, их длину и угол наклона определяют по чертежу. На меловой черте крестом указывают положение шпура, выписывают его длину и угол наклона.

Более точная съемка камеры осуществляется инструментами, позволяющими измерять расстояния до недоступных точек (см. § 58).

Выемка потолочин, надштрековых и межкамерных целиков производится различными способами. При всех способах в задачи маркшейдера входит контроль за строгим выполнением технического проекта.

При системе разработки этажным обрушением отбойка руды производится взрывом (принуди-

тельное обрушение) или под действием давления вышележащих толщ породы на подсеченный блок руды (самообрушение). При системах этажного принудительного обрушения и этажного самообрушения подготовка блока заключается в проведении комплекса выработок горизонта скреперования, горизонта нижней подсечки, окаймляющих блок выработок, восстающих, компенсационных камер, камер для бурения глубоких скважин.

В задачи маркшейдера входит: задание направления выработкам (часто проводимых встречными забоями) и контроль за их проведением, ориентирование и передача координаты Z на многие горизонты, определение и вынесение в натуру границ блока, съемка выработок и составление графической документации по данным съемки, контроль и учет выпущенной из блока руды, а также определение ее потерь и разубоживания.

§ 58. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ КАМЕР И ПУСТОТ

Классификация подземных пустот. В результате разработки месторождений или под воздействием различных природных факторов в массиве горных пород образуются полости (камеры, пустоты), заполненные воздухом, газом, водой, рассолом, глинистым раствором и т. д. С точки зрения маркшейдерской съемки образовавшиеся пустоты условно разделяются на доступные и недоступные. К недоступным относятся такие пустоты, к стенкам которых невозможен непосредственный доступ наблюдателя или этот доступ сопряжен с большой опасностью, хотя в отдельных случаях при этом возможно нахождение исполнителя в камере. Все остальные пустоты относятся к категории доступных. Маркшейдерская съемка очистных забоев, представляющих собой доступные пустоты, рассмотрена ранее. Здесь остановимся на вопросах, связанных со съемками недоступных пустот.

В соответствии с характером съемочных работ недоступные пустоты можно разделить на три группы.

В пределах пустот первой группы возможно и допустимо нахождение маркшейдера с инструментом. К точности съемок предъявляются обычно более высокие требования, которые могут быть выполнены благодаря возможности надежного контроля методов съемки.

В пределы пустот второй группы маркшейдер попасть не может или его пребывание там запрещено существующими правилами безопасности. Съемка может быть выполнена измерительными устройствами, доставленными в пределы пустот через какие-либо каналы.

При разработке рудных месторождений наиболее часто встречаются пустоты третьей группы, в которые невозможен доступ ни маркшейдера, ни инструмента. В этих случаях при съемке точку установки инструмента выбирают в под-

ходных выработках (чтобы была видна часть пустоты) или в окраинной части пустоты на специальных выносных конструкциях.

Классификация методов съемки подземных пустот. Выбор метода съемки недоступных пустот осуществляют, исходя из наличия доступа к снимаемой пустоте, его характеристики, а также цели и назначения съемки. Выбор инструмента для съемки обусловлен особенностями снимаемой пустоты, а именно: числом и расположением подходных выработок к очистному пространству, соотношением линейных размеров камеры, углами наклона стенок камеры, прилегающих к точке стояния инструмента. В практике разработки рудных месторождений применяются различные принципы и методы съемки очистного пространства.

Классификация методов съемки может быть проведена на основе физико-геометрических принципов и горнотехнических условий применения приборов.

Тахеометрический метод основан на применении инструментов и способов съемки (в комплексе с осветителями и проекторами светового излучения), дающих возможность определить полярные координаты съемочных точек недоступных пустот. Метод используется для съемок пустот первой и третьей групп.

Фотограмметрический метод основан на применении инструментов и способов съемки, использующих принцип фотографирования недоступных пространств, освещаемых специальными осветителями, светового пятна, движущегося по стенкам очистного пространства или следов лазерного излучения. Этим методом можно выполнять съемку пустот всех трех групп.

Локационный метод основан на применении аппаратуры, позволяющей определять координаты путем измерения и преобразования физических величин в величины, характеризующие параметры недоступного пространства. Приборы этого метода основаны на принципах звуколокации, радиолокации, фотограмметрии и телеметрии. Метод используется для съемки пустот второй и частично третьей групп. При съемке пустот второй группы прибор должен иметь дистанционное управление и автоматическую запись показаний.

Съемка очистного пространства должна быть обязательно ориентирована относительно пунктов опорной или съемочной сети. Ориентирование осуществляется обычной маркшейдерской привязкой съемки или применением специальных устройств в инструментах (буссолей, гироскопических приборов), позволяющих производить ориентирование.

Локационный метод описан в § 59. Здесь же рассмотрим вопросы съемки пустот, связанные с применением тахеометрического и фотограмметрического методов.

Инструменты для тахеометрического метода съемки подземных камер и пустот. При тахеометрическом методе съемки применяются тахеометры, снабженные дальномерами следующих

конструкций: двойного изображения; проекционным, визуальным и проекционно-визуальным; электрооптическим. Ниже описаны тахеометры, выпускаемые промышленностью и широко применяемые в практике маркшейдерских съемок.

Базисный редуцирующий тахеометр *BRT 006*, выпускаемый народным предприятием «Карл Цейсс» (ГДР), является угломерным инструментом с дальномером двой-

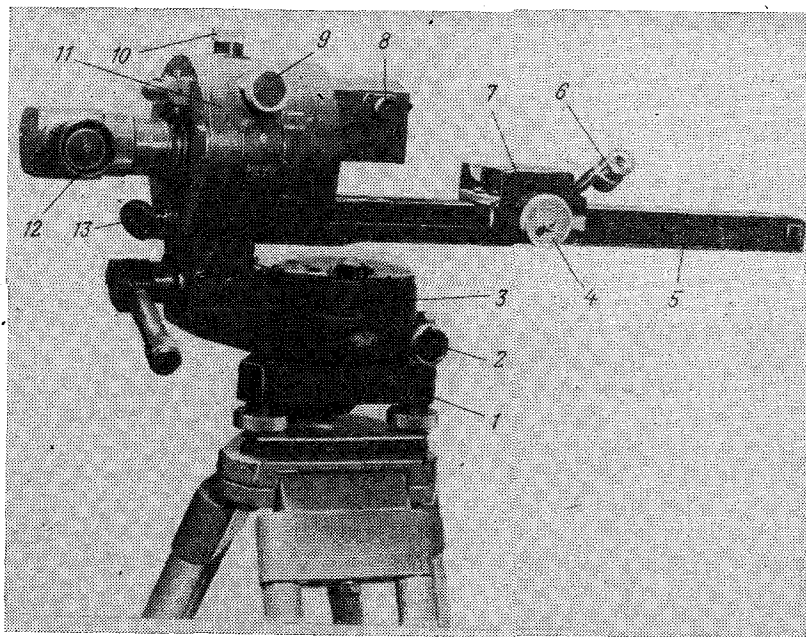


РИС. 104. Общий вид тахеометра *BRT 006*:

1 — подставка; 2 — микрометрический винт алидады; 3 — горизонтальный круг; 4 — микрометрический винт пентапризмы; 5 — базисная линейка; 6 — лупа; 7 — подвижная пентапризма; 8 — регулировочный винт; 9 — микрометрический винт трубы; 10 — закрепительный винт трубы; 11 — вертикальный круг; 12 — окуляр трубы; 13 — окно подсветки

ного изображения, с постоянным параллактическим углом и переменным базисом. В оптическую схему прибора входит редуцирующее устройство, позволяющее получить горизонтальное проложение измеряемой линии в соответствии с формулой

$$S = S' \cos \delta, \quad (\text{VI.10})$$

где S' — наклонное расстояние; S — горизонтальное проложение; δ — угол наклона.

Общий вид тахеометра показан на рис. 104.

Инструмент состоит из подставки, подвижного горизонтального круга и вращающейся верхней части, заключающей в себе верти-

кальный круг, зрительную трубу с редуцирующим устройством, отсчетный микроскоп, верхнюю неподвижную пентапризму и базисную линейку с нижней (подвижной) пентапризмой.

Горизонтальный и вертикальный круги закрыты, наименьшее деление на лимбах $5'$, точность отсчитывания с оценкой на глаз составляет $0,5$. Зрительная труба тахеометра имеет внутреннюю фокусировку.

Неподвижная пентапризма повернута на некоторый постоянный угол γ_0 . Величина перемещения подвижной пентапризмы отсчитывается по шкале базисной линейки с оценкой на глаз до $0,05$ мм. Приближенное перемещение выполняется рукой, а точное — с помощью микрометричного винта.

Редуцирование измеренных расстояний осуществляется изменением угла γ_0 дальномера в зависимости от угла наклона в соответствии с формулой

$$\gamma = \gamma_0 \cos \delta, \quad (\text{VI.11})$$

где γ_0 — постоянный угол тахеометра, равный $17',2$, соответствующий коэффициенту дальномера $K = 200$; γ — измененное значение угла γ_0 .

В приборе *BRT 006* преобразование угла γ_0 в угол γ осуществляется автоматически с помощью оптического компенсатора, в результате чего отсчет по базисной рейке будет равен горизонтальному проложению измеряемого расстояния.

Во время съемки тахеометром *BRT 006* очистную камеру освещают каким-либо источником света.

Определение расстояний при съемке производят в следующем порядке. Вращением инструмента наводят трубу на выбранный объект (пикетную точку камеры). В поле зрения наблюдаются два полуизображения объекта, разделенные горизонтальной линией, которые нужно совместить. Для надежного совмещения в качестве съемочных пикетов выбирают четкие вертикальные линии (например, трещины в горных породах). Совмещение полуизображений осуществляется перемещением подвижной пентапризмы, после чего по шкале базисной линейки берут отсчет с точностью $\pm 0,1$ м. При включенном редуцирующем устройстве отсчет представляет собой горизонтальное проложение измеряемой линии, при выключенном — наклонное.

При длине базисной линейки 300 мм, и коэффициенте дальномера 200 , тахеометром *BRT 006* можно измерять расстояния до 60 м с относительной погрешностью $1 : 100$ — $1 : 200$. Масса прибора в ящике (без осветителя) $12,5$ кг.

Тахеометр *Д-1м* (рис. 105), изготовленный Харьковским заводом маркшейдерских инструментов, является угломерным инструментом пониженной точности с дальномером двойного изображения и переменным базисом при инструменте. Угломер состоит из трегера *1*, на котором установлен горизонтальный круг *2* с делениями через 1° , и кронштейна, на котором собрана вся

верхняя часть прибора. Отсчеты по горизонтальному кругу берутся с помощью лупы 3 против штриха индекса 4, закрепленного на кронштейне 5. Кронштейн вращается вокруг вертикальной оси, которая с помощью подъемных винтов и круглого уровня 6 с ценой деления $10'$ приводится в отвесное положение. Закрепляется кронштейн зажимным винтом 7. В кронштейне закреплена горизонтальная ось 8, на которой расположен вертикальный круг 9 с градусными делениями от 0 до $\pm 80^\circ$. Отсчеты по вертикальному кругу берутся против штриха индекса с помощью лупы 10. По-

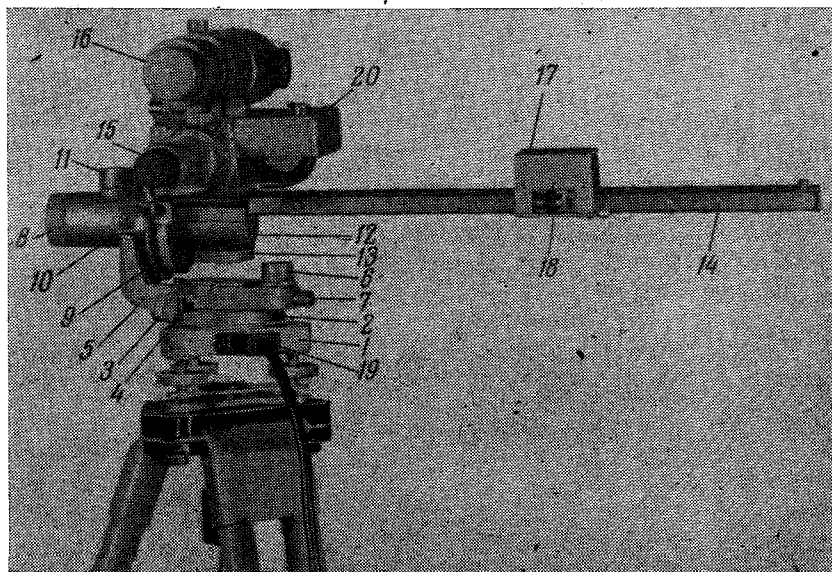


РИС. 105. Тахеометр Д-1м

ложение горизонтальной оси фиксируется зажимным винтом 11. На консольном выступе горизонтальной оси жестко закреплена направляющая колодка 12, на которой посредством винта 13 крепится верхняя часть прибора, состоящая из базисной линейки 14, зрительной трубы 15 и проекционной трубы 16.

На базисной линейке нанесена шкала расстояний длиной 300 мм. Наименьшее деление равно 0,5 мм, что соответствует 1 м в натуре.

Отсчеты по шкале берут против штриха, нанесенного на обойме подвижной пентапризмы 17, с помощью лупы с точностью $\pm 0,1$ м. Грубое перемещение пентапризмы на базисной линейке осуществляется от руки, точное — с помощью микрометрического винта 18.

В зрительной трубе имеется бипризма, делящая своим ребром поле зрения на две части, а на оправе окуляра трубы установлена

щелевая диафрагма. Перед объективом зрительной трубы установлена прямоугольная призма, которая пересекает поле зрения трубы и, изменяя ход лучей на 90° , направляет их параллельно базисной линейке на неподвижную и подвижную пентапризмы. Подвижная пентапризма 17 преломляет падающие на нее лучи и направляет их перпендикулярно к базисной линейке 14. Неподвижная пентапризма (на рис. 105 она закрыта кожухом 20) также преломляет падающие на нее лучи и под углом 90° к оси базисной линейки направляет их на оптический клин, который отклоняет падающие на него лучи на параллактический угол E , в результате чего создается измерительный треугольник дальногомера, лежащий в главной плоскости призмы клина. Оптический клин имеет параллактический угол $1:200$, что позволяет измерять дальномером расстояния от 1,5 до 60 м.

В проекционную трубу вмонтирована лампочка напряжением 6 В и мощностью 15 Вт, получающая питание от аккумулятора «Украина-4». Аккумулятор подключается с помощью специальной розетки 19 в трегере.

При измерении расстояний в шахте до недоступных точек световой маркой служит нить накаливания электрической лампочки, спроектированная проекционной трубой на стенку выработки. Такой способ проектирования обеспечивает минимальные потери света. Расстояния дальномером измеряют путем совмещения двух изображений световой марки с помощью подвижной пентапризмы.

Наклонное расстояние до точки визирования вычисляют по формуле

$$l = kb + c, \quad (\text{VI.12})$$

где $k = \text{ctg } E$ — коэффициент дальногомера; E — параллактический угол; b — отсчет по базисной линейке; c — постоянная дальногомера, равная расстоянию от вертикальной оси вращения инструмента до преломляющей поверхности оптического клина.

Масса угломера в футляре 8 кг, аккумулятора — 4 кг.

Угломер-тахеометр ТТ-7, разработанный во ВНИМИ, представляет собой оптико-механический угломер-тахеометр с проекционно-визуальным дальномером, имеющим постоянную базу при инструменте и измерительно-отсчетное устройство в виде спиральной сетки со шкалой. Прибор может эксплуатироваться в обычной рудничной атмосфере, в том числе опасной по газу и пыли.

Инструмент (рис. 106) состоит из следующих основных частей: корпуса алидады (вилки) 1, системы вертикальных осей с горизонтальным кругом (закрыта кожухом алидады), проекционно-визуального дальногомера 2 с фокусирующим устройством 3 и вертикальным кругом 4, а также осветителя 5, соединенного кабелем 6 с источником питания 7. Угломер устанавливается на обычной подставке 8.

Дальномер тахеометра состоит из корпуса 9, окулярной коробки 10 и проектора 11. В корпусе установлены в оправе два концевых отражателя в виде плоских зеркал с наружным отражающим покрытием, два одинаковых трехлинзовых объектива и плоскопараллельное двустороннее зеркало. Корпус имеет два входных окна 12, расположенных напротив концевых отражателей.

При выполнении съемки дальномером измеряется наклонное расстояние до пикетной точки на стенке выработки, а по угломер-

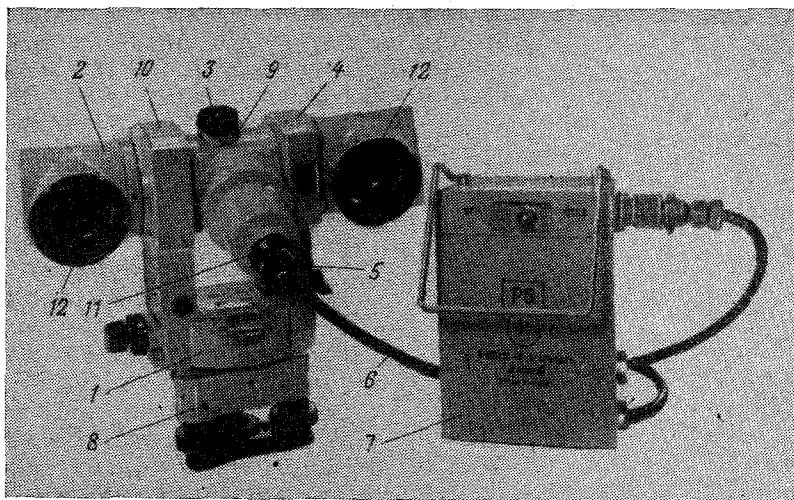


РИС. 106. Угломер-тахеометр ТТ-7 с источником питания

ной части отсчитываются значения горизонтального и вертикального углов, когда тахеометр наведен на эту точку. Горизонтальный и вертикальный круги разбиты на 360 градусных делений и снабжены микрометренно-зажимными устройствами. Десятые доли градуса оцениваются на глаз.

База дальномера ($B = 200$ мм) образуется между выходящими из прибора оптическими осями проекционной и визуальной систем (рис. 107). Проекционная система проецирует на стенку выработки светящуюся марку, изображение которой располагается в фокальной плоскости зрительной части системы на некотором расстоянии от ее визирной оси (зависящем от расстояния между прибором и стенкой снимаемой камеры). Если в плоскости изображения установить плоскопараллельную пластинку и равномерно вращать ее вокруг оптической оси, а светящуюся марку с равномерной скоростью удалять от прибора, то изображение марки оставит на пластинке непрерывный след в виде спиральной кривой. Фиксируя на кривой через некоторый интервал точки

Окуляр тахеометра для обеспечения наилучших условий наблюдения сдвинут вправо и вверх с оптической оси объектива.

Процесс измерения расстояния заключается в наведении дальномера на характерную точку контура очистной камеры, фокусировании изображения световой марки, что происходит одновременно при повороте головки фокусирующего приспособления и отсчитывании по дальномерной шкале после установки ее в соответствующее положение относительно световой марки.

Угломер-тахеометр ТТ-7 позволяет измерять расстояния в незапыленной атмосфере до недоступных точек, расположенных на расстоянии 3—40 м. Относительная погрешность измерения расстояний составляет 1 : 100 при расстояниях до 30 м и 1 : 50 — при расстояниях свыше 30 м. Пределы измерения вертикальных углов $\pm 80^\circ$. Осветитель прибора и источник питания разработаны во взрывобезопасном исполнении. Масса прибора с осветителем 4,6 кг.

Маркшейдерский электрооптический тахеометр МИФТ-1 (рис. 108) разработан во ВНИМИ и в 1976 г. испытан в производственных условиях сланцевой шахты. В тахеометре совмещены угломерное оптико-механическое устройство и импульсно-фазовый светодальномер, позволяющий измерять расстояния по отраженному от горных пород сигналу без специального отражателя.

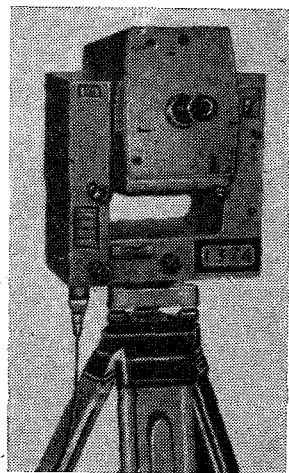


РИС. 108. Общий вид тахеометра МИФТ-1

С помощью угломерной части прибора можно измерить горизонтальный и вертикальный углы со средней квадратической погрешностью $\pm 3'$ (диапазон измерения углов наклона от $+55^\circ$ до -35°). Отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам сведены в поле зрения одного светопроеctionного табло.

Вычисление наклонных расстояний до пикетных точек камер производится по показаниям специального электронно-цифрового табло.

Расстояние в пределах от 5 до 80 м может быть измерено в течение 1 мин со средней квадратической погрешностью $\pm 0,2$ м.

Таким образом, тахеометр может быть успешно использован для съемки очистных камер и пустот.

Съемка подземных камер и пустот описанными инструментами производится так же, как и обычная тахеометрическая съемка. В подходовых выработках подэтажей намечают и закрепляют маркшейдерскими знаками точки установки инструмента таким образом, чтобы с них была видна возможно большая часть снимаемой камеры. Для ориентирования съемки осуществляют привязку этих точек относительно сторон и пунктов съемочных сетей

на подэтажах. При этом выполняют все угловые и линейные измерения, необходимые для вычисления координат X, Y, Z точек стояния инструмента.

При съемке инструмент устанавливают на точку в подходной выработке, наводят трубу угломера на задний пункт (пункт съемочной сети данного подэтажа) и берут отсчет по горизонтальному кругу. Затем последовательно наводят трубу на харак-

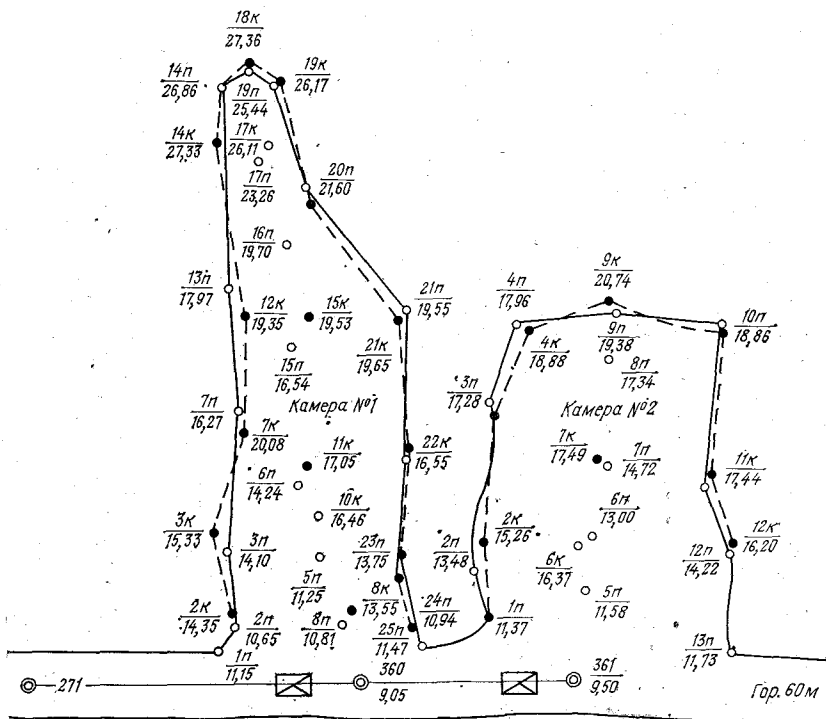


РИС. 109. Расположение подходных и съемочных точек при съемке двух камер: пунктирная линия — контур кровли; сплошная линия — контур почвы; двойные кружки — пункты съемочной сети; белые кружки — пункты в почве; черные — в кровле

терные точки камеры (пикетные или съемочные точки) и при каждом наведении берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, а также по шкале дальномера. Перед наведением трубы угломера на съемочные точки на них наводят световую марку или освещают снимаемый участок камеры (при отсутствии проекционного устройства). Объектами съемки в камерах являются выступы, впадины, контакты пород, геологические нарушения, выходы скважин в камеру и т. д.

Подобным образом съемку производят на каждой намеченной подходной выработке пока не будет снята вся камера. При этом предусматривают некоторое перекрытие съемок, выполненных

с разных установок инструмента. Чаще всего при съемочных работах снимаемые точки набирают по вертикальным сечениям через определенный интервал. Величина интервалов между сечениями и между снимаемыми точками в сечении зависит от многих факторов. Специальные расчеты и данные съемок на различных месторождениях показывают, что для съемок масштабов 1 : 500; 1 : 200 и 1 : 100 целесообразно соблюдать соответственно интервалы 5—6 м, 2—3 м и около 1 м. В процессе съемки ведут абрис.

При камеральной обработке съемки вычисляют горизонтальные расстояния (если они не получены при измерении) от подходов до съемочных точек и отметки последних. По этим данным составляют план подземной камеры (рис. 109) и вертикальные разрезы.

Фотограмметрические методы съемки подземных камер и пустот.

Фотограмметрический метод съемки в подземных условиях основан на определении координат точек очистной камеры посредством преобразования фотографических координат в истинные, что осуществляется обработкой фотографических снимков на специальных приборах. Для съемки подземных камер и пустот при разработке рудных месторождений применяются следующие фотограмметрические методы: короткобазисная стереофото съемка, съемка подготовительных и очистных выработок большой площади сечения с помощью светопрофиля, дистанционная фотостереосъемка горизонтальных сечений недоступных горных пустот. Рассмотрим кратко сущность этих методов и приборы, необходимые для выполнения съемок.

Метод короткобазисной стереосъемки подземных пустот был предложен в 1950 г. проф. Н. А. Гусевым. Принципиальная схема стереопары для такой съемки приведена на рис. 110.

В подходной выработке или в начале очистной камеры на пункте съемочной сети на штативе 1 устанавливают базисную штангу 2, на концах которой укреплены две широкоугольные короткофокусные фотокамеры 3 и 4. Установка базисной штанги должна быть выполнена перпендикулярно к примычному полигонометрическому стану, что достигается с помощью визирного диоптра 5. Оси обеих фотокамер O_1Z_1 и O_2Z_2 между собой параллельны. При таком положении фотокамер при соответствующем освещении производят съемку и получают на снимках два изображения горной выработки. Выполняя последующую камеральную обработку снимков, составляют план очистной камеры.

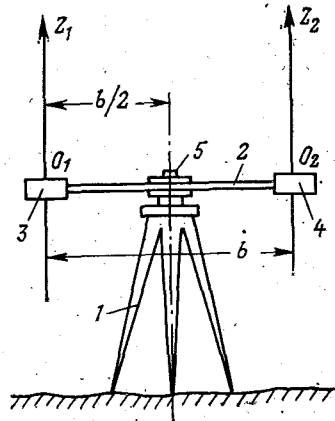


РИС. 110. Схема стереопары для короткобазисной стереосъемки

В настоящее время наиболее удобными являются базисные стереокамеры народного предприятия «Карл Цейсс» ДК-120 и СМК 5,5/0808/120, снабженные осветителями с автономными источниками электропитания.

Фотограмметрическими стереокамерами можно полностью выполнить съемку камер, имеющих не менее двух подходов с противоположных сторон. В этом случае все стенки камеры доступны для фотографирования и мертвых зон не возникает.

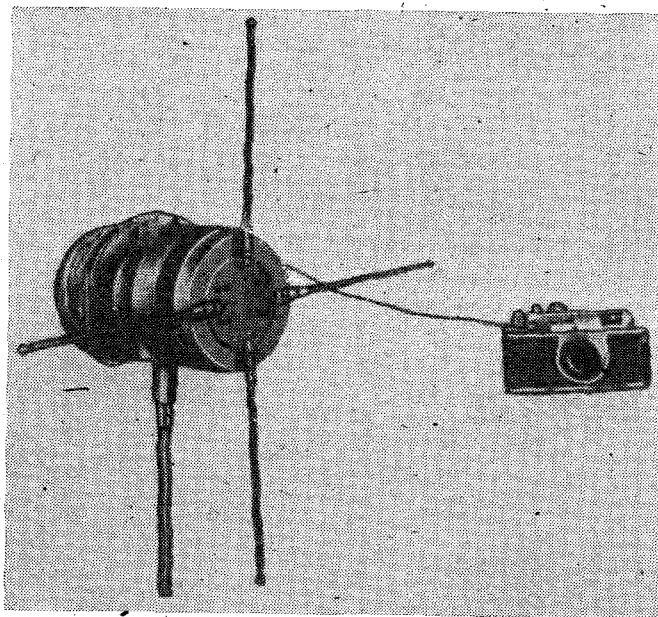


РИС. 111. Импульсный светопрофиль ФС-6

Короткобазисная стереосъемка имеет ряд достоинств: полнота и объективность первичной документации, выполнение всех измерительных операций в камеральных условиях, возможности сгущения пикетов съемки и автоматизации процесса обработки первичных материалов для получения графической документации.

Съемка очистных и подготовительных выработок большой площади сечения выполняется с помощью импульсного светопрофиля ФС-6 (рис. 111), разработанного и испытанного ВНИМИ. Прибор изготовлен во взрывобезопасном исполнении и состоит из блока питания и импульсной лампы-вспышки ИФК-120, катушки с кабелем синхронизации и четырех масштабирующих раздвижных штанг с марками на концах. Свет лампы-вспышки, находящейся внутри прибора, с помощью тороидальной линзы собирается в световую плоскость,

перпендикулярную к оси прибора, и ярко освещает узкую полосу поперечного сечения выработки.

Съемку выработки производят в следующем порядке. В выработке намечают ось съемки, закрепляют ее маркшейдерскими точками в начале и в конце снимаемой части и привязывают эту линию к существующим пунктам и сторонам съемной сети. На оси съемки, соблюдая некоторый интервал (в зависимости от масштаба съемки, конфигурации выработки и т. д.), закрепляют временные точки, обозначающие снимаемые сечения. После этих подготовительных работ производят непосредственно съемку. На легком штативе светопрофиль последовательно устанавливают

на точке соответствующего сечения так, чтобы его световая плоскость была перпендикулярна к оси съемки. На оси съемки на некотором расстоянии закрепляют фотоаппарат, соединенный со светопрофилем кабелем синхронизации. При фотографировании в объектив фотоаппарата одновременно попадают освещенное лампой-вспышкой сечение и масштабирующие штанги светопрофиля. Синхронность открытия затвора фотоаппарата и вспышки импульсной лампы обеспечивается кабелем синхронизации. Полученные на негативе изображения контура поперечного сечения и масштабирующих штанг трансформируются при камеральной обработке в заданный масштаб. В результате съемки получают поперечные сечения выработки в заданном масштабе, привязанные к съемочной сети. Средняя погрешность определения контурных точек снятого сечения составляет 0,1—0,2 м.

Дистанционная фотостереосъемка горизонтальных сечений недоступных горных работ и пустот выполняется с помощью специального прибора стереосектографа, разработанного во ВНИМИ.

При производстве съемки прибор с поверхности в выработанное пространство опускается на буровых штангах через вертикальную скважину, пробуренную с поверхности или из горной выработки вышележащего горизонта.

Принцип действия прибора показан на рис. 112. Тонкий луч света от лампы 1 через объектив 2 и трехгранную прямоугольную призму направляется на стенку выработки (точка *O*) и образует на ней световое пятно. Отраженный от стенки луч посредством призм 3 направляется в фотокамеры 4, расстояние между которыми составляет базу прибора *b*. В результате вращения прибора

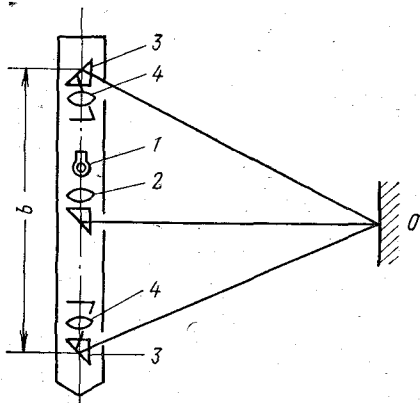


РИС. 112. Принципиальная схема стереосектографа

Вокруг вертикальной оси на фотопленках останется след движения светового пятна в виде сплошной кривой линии. Если световой луч перпендикулярен к вертикальной оси прибора, то линия на фотопленках является следом сечения пустоты горизонтальной плоскостью. Искривленность линий обусловлена изменением расстояния Z_i от прибора до объекта, которое определяется в соответствии с формулой

$$Z_i = \frac{bf}{P_i}, \quad (\text{VI.14})$$

где $b = 1240$ мм — база прибора; f — фокусное расстояние фотокамер; P_i — продольный параллакс точки.

Прибор может нормально работать, если скважина отклоняется от вертикали не более чем на 15° . Точность определения расстояний равна 1 : 50.

Для ориентирования снимаемого сечения и прибора при каждом опускании и подъеме штанговой колонны измеряют угол ее разворота. Полученные фотограммы обрабатывают на стереокомпараторе, в результате чего получают значения измеренных горизонтальных параллаксов P_i по каждому сечению и расстояний Z_i от начала фотограммы до характерных точек сечения. По данным обработки с учетом ориентирования составляют план каждого сечения.

Без перезарядок фотокамер стереосектографом можно снять 15 сечений. Масса прибора составляет 42 кг.

§ 59. СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ С ПОМОЩЬЮ ЗВУКОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Звуколокационный метод маркшейдерской съемки подземных пустот основан на определении координат точек недоступных пустот путем преобразования звуковых волн в величины, которые характеризуют параметры снимаемой камеры. В современных звуколокационных приборах используются в основном ультразвуковые колебания, которые могут распространяться направленным узким пучком. Расстояние до лоцируемой поверхности L определяется на основании времени распространения звука T от излучения до объекта и обратно

$$L = \frac{T}{2c}, \quad (\text{VI.15})$$

где c — скорость распространения звука, зависящая от среды, в которой он распространяется.

На принципе звуколокации кафедрой маркшейдерского дела Ленинградского горного института созданы звуколокационные при-

боры для съемки очистных камер, пустот, камер выщелачивания соли, шахтных стволов и скважин, заполненных промывочной жидкостью и др.

Звуколокатор «Сфера» предназначен для автоматической съемки недоступных очистных камер при выносе акустической системы в полость камеры или при установке системы на штативе в подходной выработке.

Звуколокатор имеет две модификации электроакустического преобразователя: односекционный (для съемки со штатива) и акустический диполь (для съемки, при которой преобразователь опускается в очистную камеру).

С помощью прибора можно выполнить съемку камеры из одной точки очистного пространства по замкнутым вертикальным и горизонтальным сечениям, а также частичную съемку по вертикальным или горизонтальным сечениям при установке прибора на штативе в любой горизонтальной подходной - выработке.

Звуколокатор обеспечивает измерение расстояний до 60 м с точностью 1 : 50. Одно сечение может быть снято в течение 6 мин. Полную съемку камеры можно выполнить за 2—3 ч. Регистратор звуколокатора позволяет выполнить запись съемки в масштабах 1 : 50, 1 : 100, 1 : 200, 1 : 250, 1 : 500.

Звуколокационная установка «Зонд» предназначена для съемки подземных пустот и камер, доступ к которым имеется через скважину диаметром 170—220 мм, пробуренную с земной поверхности. В комплект входят скважинный снаряд, опускаемый в камеру на бронированном кабеле, и смонтированная на машине наземная станция с каротажной лебедкой и регистрирующей аппаратурой.

Звуколокатор «Донецк» предназначен для съемки заполненных водой или промышленными рассолами подземных полостей через вертикальные скважины с поверхности. Звуколокатор (рис. 113) смонтирован на каротажной автомашине. С помощью самописца горизонтальных сечений производится до-

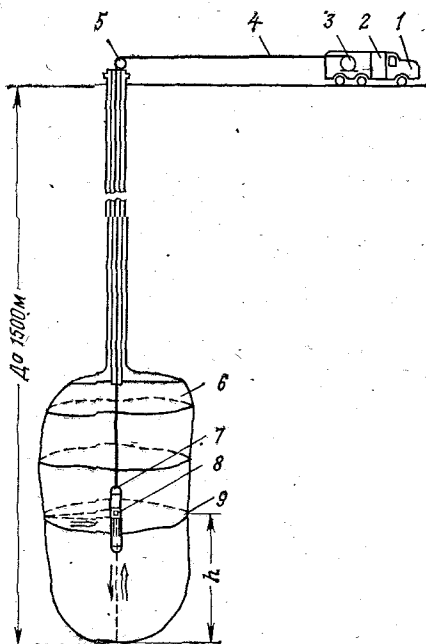


РИС. 113. Схема звуколокационной съемки камеры звуколокатором:

- 1 — автомашина с аппаратурой звуколокатора; 2 — аппаратурный отсек; 3 — каротажная лебедка; 4 — каротажный кабель; 5 — блок-баланс; 6 — камера; 7 — скважинный снаряд; 8 — вращающийся преобразователь горизонтального обзора; 9 — снимаемый контур горизонтального сечения

кументальная запись контуров сечений на диаграммной ленте. Все сечения на ленте ориентированы по магнитному полю Земли.

Съемка незакрепленных стволов и скважин производится при поднятом буровом инструменте по вертикальным профилям и горизонтальным сечениям.

Г л а в а VII

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 60. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждое горное предприятие имеет перспективные и годовые планы развития горных работ, которые разрабатываются руководством шахты при участии маркшейдерского отдела. Перед составлением проекта плана развития горных работ маркшейдерская служба готовит материалы о выполнении плана горных работ за текущий период, производит пополнение маркшейдерских планов, дает анализ фактического состояния горных работ и степень выполнения плана горных работ текущего года по объемам и объектам.

На основании директивных и расчетных данных составляется проект плана развития горных работ. Он содержит графический и табличный материалы и пояснительную записку. Графический материал представляется в виде календарного плана развития горных работ по вскрытию, подготовке и отработке намеченных участков.

Планы развития горных работ составляют по каждому забою, участку, пласту, блоку. Они оформляются в соответствии с условными обозначениями для маркшейдерских планов и требованиями действующих инструкций по составлению и оформлению обменных копий планов горных работ.

Маркшейдерская служба горного предприятия должна дать ряд расчетных величин, необходимых для определения производственных мощностей каждого забоя, участка и предприятия в целом. К ним относятся: запасы угля в недрах, мощность пласта, масса единицы объема, производительность пласта, действующая линия очистных и подготовительных забоев, скорости их продвижения, величина плановых эксплуатационных потерь и др.

Большое значение при составлении планов развития горных работ имеет точность расчетных величин. После того как план развития горных работ утвержден, он вступает в силу.

Дальнейшая задача маркшейдера заключается в том, чтобы в натуру вынести элементы проекта, указать места расщепки выработок, задать им направление, предусмотренное проектом.

В силу контрольных функций, присвоенных маркшейдеру, он должен контролировать выполнение утвержденного плана горных работ по объему и качеству. По результатам съемок на копии проектного плана горных работ наносится фактическое положение подготовительных и очистных забоев. Сопоставив плановое положение с фактическим, можно определить отклонение от плана по срокам и по объемам работ.

Систематический контроль за проведением горных выработок дает возможность быстро устранить все недостатки и выполнить планы в намеченные сроки с надлежащим качеством работ.

§ 61. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ И НАКЛОННЫМ ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ

Основными параметрами, по которым задается в натуре горная выработка, являются: угол направления β , длина s , уклон i или угол наклона δ . Эти параметры могут быть определены графически по проекту плана развития горных работ или аналитически.

Аналитически перечисленные параметры могут быть определены по координатам точек, расположенных на оси проектной выработки.

Пусть даны координаты точек $A(x_A, y_A, z_A)$ и $B(x_B, y_B, z_B)$ (рис. 114), лежащих на оси выработки. Тогда дирекционный угол оси определится по формуле

$$\operatorname{tg}(AB) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Длина горизонтального проложения выработки

$$s_{AB} = \frac{y_B - y_A}{\sin(AB)} = \frac{x_B - x_A}{\cos(AB)},$$

или

$$s_{AB} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}.$$

Угол наклона линии AB

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{z_B - z_A}{s_{AB}},$$

или уклон

$$i = \frac{z_B - z_A}{s_{AB}}.$$

Наклонная длина

$$l_{AB} = \frac{s_{AB}}{\cos \delta},$$

или

$$l_{AB} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2 + (z_B - z_A)^2}.$$

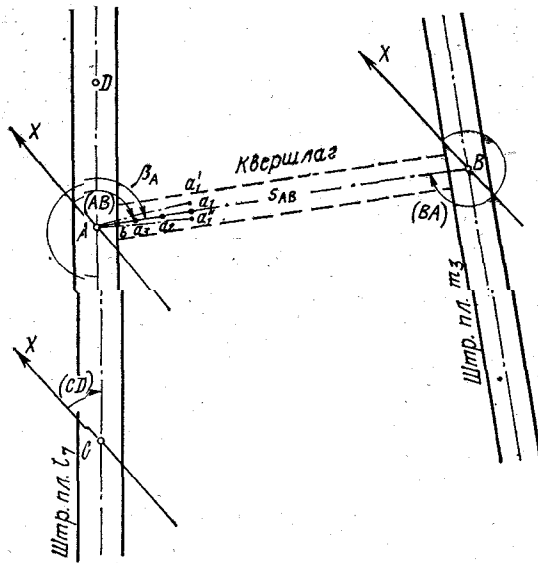


РИС. 114. Определение параметров для задания направления выработки

Зачастую при задании направления горным выработкам приходится определять координаты точки пересечения двух прямых.

Пусть требуется определить координаты точки A пересечения двух прямых BA и CD . Прямая BA задана координатами точки B (x_B, y_B) и дирекционным углом (BA) , прямая CD задана координатами точки C (x_C, y_C) и дирекционным углом (CD) . Тогда координаты точки A (x_A, y_A) определятся из решения уравнений пересекающихся прямых:

$$x_A = \frac{x_D \operatorname{tg}(CD) - x_B \operatorname{tg}(BA) - y_D + y_B}{\operatorname{tg}(CD) - \operatorname{tg}(BA)};$$

$$y_A = \frac{y_D \operatorname{ctg}(CD) - y_B \operatorname{ctg}(BA) - x_D + x_B}{\operatorname{ctg}(CD) - \operatorname{ctg}(BA)}.$$

Угол направления β_A определится по разности дирекционных углов линий (CD) и (AB)

$$\beta_A = (AB) - (CD) + 180^\circ.$$

Выноска направления выработки в плане осуществляется с помощью теодолита, установленного в точке A по углу направления β_A . Для этого, установив теодолит в точке A , совмещают нули лимба и алидады горизонтального круга и наводят на точку C . Закрепив лимб, открепляют алидаду и вращают ее по часовой стрелке до получения отсчета, соответствующего углу β_A . По визирному лучу трубы теодолита закрепляют временный маркшейдерский знак β . Если расстояние до стенки выработки меньше

предела визирования, то точку b намечают поверх трубы на глаз. Когда забой выработки отойдет от точки A на 8—10 м, снова в ней устанавливают теодолит и угол направления β_A выносят при двух положениях вертикального круга a'_1 и a''_1 . За окончательное принимают среднее положение a_1 . После этого в створе точек A и a_1 закрепляют еще две точки a_2 и a_3 . Расстояние между этими точками должно быть в пределах 5 м. Для контроля угол $\angle Aa_1a_2$ измеряется теодолитом и сравнивается с проектным.

Если направление задается не по оси выработки, а параллельно ей, маркшейдер должен сообщить проходчикам «скобу», т. е. расстояние от этой оси до стенок выработки.

Закрепить вынесенное направление можно с помощью светового указателя направления УНС-2, лазерного указателя направления ЛУН5 и лазерного визира ЛВ5М (см. § 181).

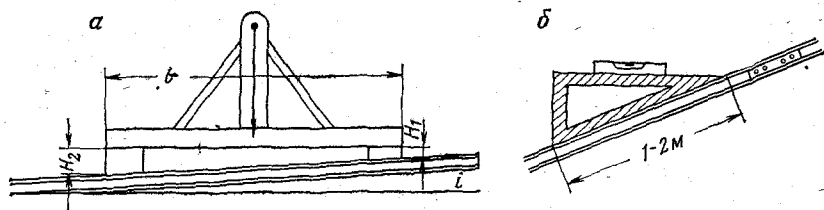


РИС. 115. Ватерпас и шаблон-треугольник

При задании направления в плане наклонным и крутым выработкам целесообразно применять теодолит с эксцентричной трубой, при этом нужно особенно тщательно устанавливать вертикальную ось вращения инструмента в вертикальное положение.

Задание направления выработкам в вертикальной плоскости по их проектным уклонам осуществляется с помощью ватерпаса, ственных реперов, УНС-2, ЛУН5 и ЛВ5М (см. § 182).

Ватерпас представляет собой брус длиной 2 м, на котором укреплен перпендикулярно к нему стойка с отвесом. Снизу по концам бруса пришивают «подушки», разность высот которых зависит от требуемого уклона (рис. 115, а).

При проверке профиля выработки ватерпас ставится на рельс или доску, уложенные на очищенную почву выработки меньшей «подушкой» в сторону ее подъема. Если отвес совпадает с меткой на ватерпасе, уклон выработки выдержан.

При проходке наклонных выработок задание направления в вертикальной плоскости может осуществляться с помощью шаблона-треугольника, осевых и ственных реперов (см. § 182).

При укладке откаточных путей по шаблону — треугольнику (рис. 115, б) его прикладывают к рельсу гипотенузой таким образом, чтобы один из катетов занимал горизонтальное положение. На этот катет устанавливают накладной уровень. При правильной укладке пути пузырек уровня должен занимать нулевое положение.

§ 62. ЗАДАНИЕ В НАТУРЕ СКВАЖИНЫ
ПО ИЗВЕСТНЫМ КООРДИНАТАМ ЕЕ УСТЬЯ

Проектом разведочных работ предусмотрено бурение скважины в точке, координаты которой x и y . Требуется задать (указать) эту точку на местности. Задача может быть решена двумя способами: полярным и засечкой вперед. В обоих случаях на местности вблизи от места скважины должны быть два пункта, координаты которых известны.

Полярный способ. Пусть точки A и B — два известных опорных пункта на местности, координаты которых $(x_A, y_A; x_B, y_B)$ известны; P — искомая точка, координаты которой (x_P, y_P) тоже известны. Для решения задачи вычисляют:

1) дирекционный угол направления с ближайшей точки A на точку P :

$$\operatorname{tg}(AP) = \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A};$$

2) угол

$$\beta = (AB) - (AP);$$

3) расстояние

$$l = \frac{y_P - y_A}{\sin(AP)} = \frac{x_P - x_A}{\cos(AP)}.$$

Полученное значение угла β откладывают теодолитом в точке A и трассируют направление AP , по которому откладывают вычисленное расстояние l .

Способ засечек. Аналогично предыдущему вычисляют дирекционные углы

$$\operatorname{tg}(AP) = \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A}; \quad \operatorname{tg}(BP) = \frac{y_P - y_B}{x_P - x_B}$$

и по ним горизонтальные углы

$$\beta_1 = (AB) - (AP), \quad \beta_2 = (BP) - (BA).$$

Углы β_1, β_2 теодолитом откладывают в натуре и колышками фиксируют направления, на пересечении которых находится искомая точка P .

§ 63. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МАРКШЕЙДЕРСКИХ
РАБОТАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ВСТРЕЧНЫМИ ЗАБОЯМИ

В практике горного дела выработки часто проводят встречными забоями. Проведение выработок встречными забоями называют также сбойкой.

Маркшейдерские работы при сбойке выработок рассмотрим на следующем примере (рис. 116). Между штреками, проведенными по пластам l_5 и m_1 одной и той же шахты, требуется пройти квар-

шлаг AB , для чего необходимо определить направление движения забоев в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Маркшейдерские работы для задания направления квершлага в горизонтальной плоскости можно разделить на три этапа, выполняемые в указанной ниже последовательности.

Первый этап — подготовительные работы. От точки A до точки B прокладывают теодолитный ход. Этот ход должен быть наименьшей протяженности и по возможности вытянутым по направлению AB . Желательно, чтобы теодолитный ход был замкнут или пройден два раза. По результатам измерений углов и длин сторон хода обычным способом вычисляют дирекционные углы всех его сторон и координаты вершин, в том числе дирекционные углы $(A1)$ и $(B10)$ и координаты x_A, y_A и x_B, y_B .

Второй этап — вычисления. По координатам точек A и B вычисляют дирекционный угол оси квершлага

$$\operatorname{tg}(AB) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Для контроля тот же дирекционный угол вычисляют по формулам

$$\operatorname{tg}[(AB) + 45^\circ] = \frac{\Delta x + \Delta y}{\Delta x - \Delta y};$$

$$\Delta x = x_B - x_A, \quad \Delta y = y_B - y_A.$$

Отсюда находят углы β_1 и β_2 при точках A и B :

$$\beta_1 = (AB) - (A1),$$

$$\beta_2 = (B10) - (BA).$$

Третий этап — задание направления квершлага. В точках A и B последовательно устанавливают теодолит и от сторон $A1$ и $B10$ откладывают вычисленные углы β_1 и β_2 . По визирной оси теодолита вешают три отвеса, обозначающих в натуре ось квершлага. Более подробные сведения о задании направления приведены в гл. XXIII.

Для определения направления квершлага в вертикальной плоскости, т. е. его уклона, между точками A и B прокладывают нивелирный ход, в результате чего определяют: z_A и z_B — отметки пунктов A и B ; z'_A и z'_B — отметки почвы (головки рельсов) в точках A и B .

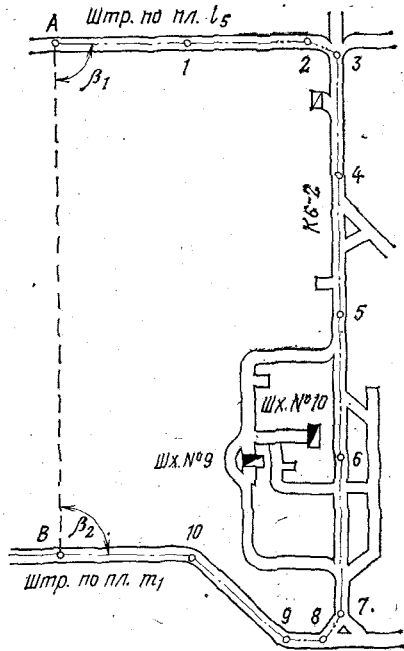


РИС. 116. Схема маркшейдерских работ при проведении встречными забоями квершлага между штреками двух пластов

Уклон будущего квершлага вычисляют по формулам:

$$i = \frac{z_B - z_A}{l},$$

$$l = \frac{y_B - y_A}{\sin(AB)} = \frac{x_B - x_A}{\cos(AB)}.$$

Если теперь проводить квершлаг по направлению, обозначенному отвесами, с уклоном (восстанием), вычисленным из нивелировки, то встречные его забои должны сойтись.

Точность сбойки квершлага в основном зависит от точности измерений углов и длины сторон теодолитного хода $A1...10B$.

Г л а в а VIII МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

§ 64. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждое горное предприятие должно располагать комплектом маркшейдерских графических документов, пользуясь которыми можно безопасно и рационально вести горные работы.

Объектами изображения на чертежах являются горные и разведочные выработки, форма, условия залегания и качество полезного ископаемого, а также рельеф и ситуация земной поверхности территории экономической заинтересованности горного предприятия.

Используется графическая документация для решения многих производственных задач, а именно:

подсчета запасов, учета добычи, потерь полезного ископаемого и его разубоживания;

планирования разведочных и горных работ;

решения вопросов, связанных с подработкой природных и искусственных объектов земной поверхности, вышележащих толщ горных пород и тел полезных ископаемых;

по графикам можно судить, насколько правильно и безопасно ведутся горные работы, следить за приближением горных работ к опасным зонам (старым затопленным и загазированным выработкам, очагам подземных пожаров, местам прорыва пльвунов и др.) и своевременно принимать профилактические меры 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 действующей технической инструкцией по производству маркшейдерских работ.

Ниже приводится состав маркшейдерской графической документации при подземном способе разработки угольных и рудных месторождений. Графическая документация на открытых разработках описана в соответствующих главах настоящего учебника.

В состав чертежей земной поверхности каждого горного предприятия входят следующие группы.

1. Группа чертежей, отражающих рельеф и ситуацию земной поверхности:

1.1. План земной поверхности территории экономической заинтересованности горного предприятия в масштабе 1 : 1000—1 : 5000;

1.2. План промышленной площадки в масштабе 1 : 500—1 : 1000;

1.3. Планы участков земной поверхности, отведенных под склады полезного ископаемого или хранилища отходов обогатительных фабрик в масштабе 1 : 200—1 : 1000;

1.4. Картограмма расположения планшетов съемки земной поверхности.

2. Группа чертежей, отражающих обеспеченность горного предприятия пунктами маркшейдерской опорной и съемочной сети:

2.1. План расположения пунктов маркшейдерской опорной и съемочной сетей на земной поверхности в масштабе 1 : 5000—1 : 25 000;

2.2. План расположения пунктов разбивочной сети и осевых пунктов шахтных стволов в масштабе 1 : 200—1 : 1000.

3. Группа чертежей горного и земельного отводов горного предприятия в масштабе 1 : 1000—1 : 5000.

В состав чертежей горных выработок входят следующие группы:

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, составляемые с применением метода изолиний.

По характеру построения все чертежи делятся на исходные (оригиналы) и производные (копии и репродукции). Исходные чертежи составляют непосредственно по результатам съемок, они являются основными техническими и юридическими документами горного предприятия. Производные получают путем копирования, уменьшения и репродуцирования с исходных чертежей. Производные чертежи дополняются специальным содержанием в зависимости от их назначения и используются для решения текущих производственных задач.

Маркшейдерская графическая документация должна отвечать следующим требованиям:

1. Чертежи земной поверхности и подземных горных выработок составляются в единой системе координат;

2. Наглядно представлять изображаемые объекты (горные выработки и полезное ископаемое) и содержать все необходимые данные о них;

3. Давать изображение геометрических элементов объекта с требуемой для данного масштаба точностью;

4. Обладать метричными свойствами, т. е. составляться в определенном масштабе и позволять производить измерения, необходимые для определения угловых и линейных величин, не прибегая при этом к громоздким дополнительным построениям и вычислениям;

5. Отвечать требованиям динамичности, т. е. отражать развитие горных работ и выявленные геологоразведочные данные во времени, систематически пополняться и не отставать от продвижения горных работ;

6. Составляться в соответствии с действующими условными обозначениями для горной графической документации.

Чертежи земной поверхности, создаваемые на участках менее 20 км², и чертежи горных выработок следует составлять в разграфке квадратных планшетов. Исходным форматом для разделения на планшеты является лист в масштабе 1 : 5000, охватывающий площадь 2 × 2 км. Разделение листа в масштабе 1 : 5000 на планшеты в масштабах 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 указано на рис. 117.

Размеры планшетов с учетом полей должны составлять: в масштабе 1 : 5000—440 × 460 мм; в масштабе 1 : 2000 — 540 × 560 мм.

Координатную сетку на планшетах исходной документации наносят сплошными линиями толщиной 0,1 мм размером 100 × 100 мм. Разбивку сетки выполняют с помощью координатографа или специальных линеек с точностью 0,2 мм. Образец оформления планшета приведен на рис. 118.

Исходную маркшейдерскую графическую документацию следует исполнять на чертежной бумаге высшего качества, наклеенной на жесткую или эластичную основу для обеспечения длительности срока службы и хранения.

Для производных чертежей в качестве основ рекомендуются следующие материалы: чертежная бумага, прозрачные синтетические пленки, бумажная и светочувствительная калька, светочувствительная бумага.

Исходная графическая документация должна храниться в специальном помещении, оборудованном сейфами и приспособлениями для их хранения.

В перечень графической документации должен быть занесен и журнал инвентаризации. При ликвидации или консервации горного предприятия документация, подлежащая хранению до этого времени, уничтожается, а подлежащая постоянному хранению — по журналу инвентаризации передается в вышестоящую организацию.

§ 65. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Графическая документация современной угольной шахты может быть разделена на две группы: 1) документация поверхности и 2) документация подземных горных выработок.

В § 64 был приведен перечень чертежей земной поверхности и их масштабы. Состав чертежей земной поверхности одинаков на всех месторождениях, разрабатываемых подземным способом.

Планы поверхности составляют способами и инструментами, рассмотренными в курсе геодезии. Следует лишь указать на обязанность маркшейдера шахты своевременно корректировать и пополнять планы поверхности, т. е. наносить на план новые сооружения и другие изменения в ситуации и рельефе.

В состав подземных графических документов входят следующие чертежи: 1) план горных выработок по каждому пласту; 2) планы горных выработок по каждому слою при разделении мощных пластов на слои; 3) планы горных выработок по основным (транспортным) горизонтам горных работ; 4) проекции горных выработок на вертикальную плоскость; 5) разрезы вкрест простирания; 6) профили по откаточным горным выработкам; 6) планы околоствольных горных выработок и другие маркшейдерские чертежи угольной шахты. Подробные сведения о перечисленных чертежах и других графических документах приведены ниже.

§ 66. ПЛАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

На шахтах, разрабатывающих угольные пласты, составляются следующие планы горных выработок:

1) планы горных выработок по каждому пласту независимо от углов их падения и мощности; на них изображают все капитальные, подготовительные, нарезные и очистные выработки, пройденные по данному пласту (рис. 119);

2) планы горных выработок по каждому слою при разделении мощных пластов на слои, параллельные напластованию (для пластов, разрабатываемых не более чем в два слоя, планы разрешается строить совместно, ограничиваясь только планом горных выработок по пласту);

3) планы горных выработок по основным (транспортным) горизонтам при разработке свиты пластов крутого падения, на которых показывают капитальные и подготовительные горные выработки, пройденные по всем пластам данного горизонта (рис. 120).

На планы горных выработок кроме данных, перечисленных выше, наносят *:

* На рис. 119, 120 представлены лишь части планшета, на которых не показаны все перечисленные элементы.

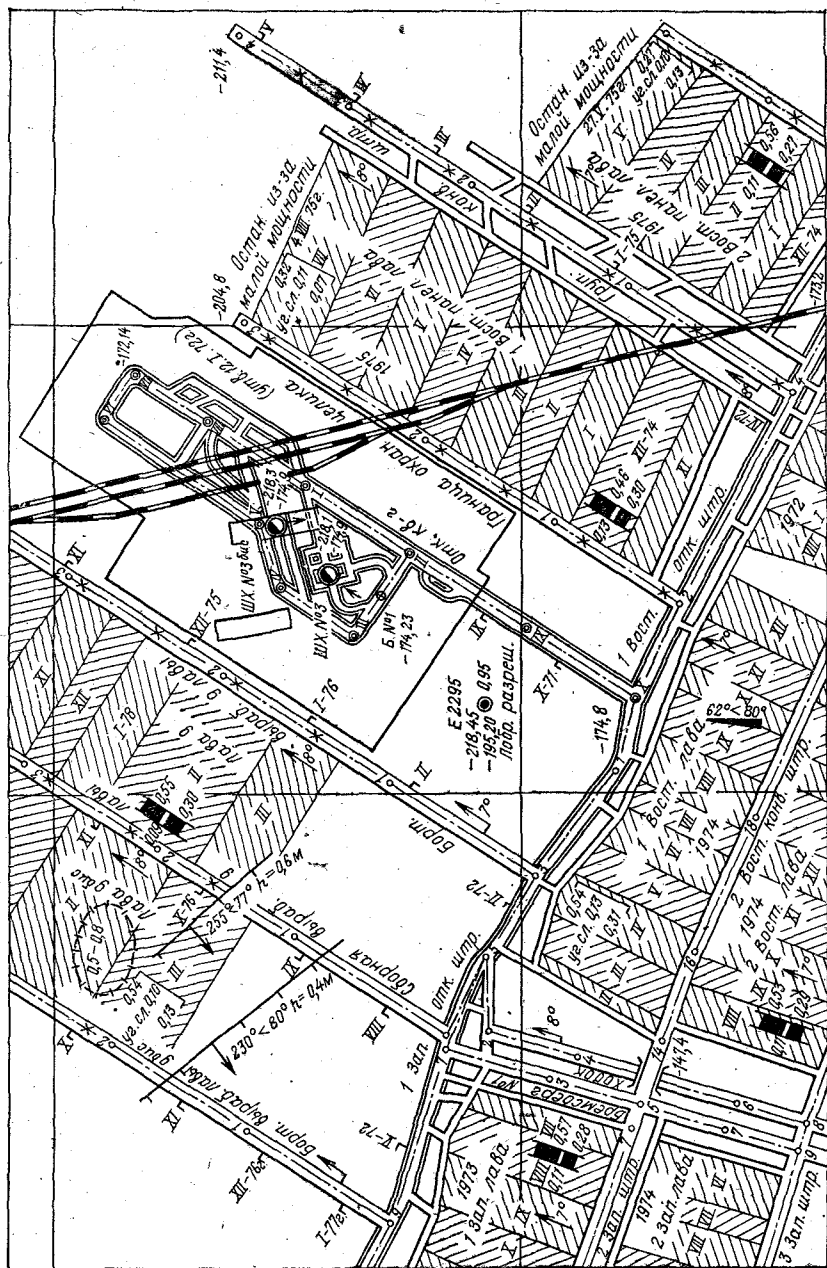


РИС. 119. План горных выработок по плану

границы горных отводов или технические границы шахтных полей, границы безопасного ведения горных работ;

пункты подземных полигонометрических ходов и реперы в горных выработках, а также высоты характерных точек;

наименование всех выработок, даты их подвигания по месяцам и годам;

крепь капитальных горных выработок, погашение выработок и их закладка;

углы наклона по наклонным подготовительным и очистным выработкам во всех характерных точках, но не реже, чем через 150—200 м;

целики, оставленные у подготовительных выработок и в очистном пространстве;

охраняемые объекты, утвержденные предохранительные и барьерные целики;

опасные очаги и зоны (внезапных выбросов угля и газа, взрыва газа и пыли, проявления горных ударов, самовозгорания, пожаров, суфлярных выделений метана, прорыва глин, пльвунов, заилочной пульпы, воды и др.);

перемычки, капитальные кроссинги и другие капитальные сооружения;

воронки провалов, куполы вывалов, трещины и другие деформации, вызванные горными работами;

разведочные и технические скважины, пройденные с земной поверхности и из горных выработок, с указанием данных о их тампонаже;

геологическую и гидрогеологическую информацию с указанием мощности пластов;

линии тектонических нарушений, их элементы залегания;

направления линий разрезов и следов вертикальных плоскостей проекций;

части планов горных выработок смежных горных предприятий, расположенные в пределах стометровой полосы от технической границы шахтного поля данного предприятия.

Планы горных выработок составляются в масштабе 1 : 1000—1 : 2000 по данным маркшейдерских съемок в такой последовательности.

На планшет с разбитой координатной сеткой наносят пункты маркшейдерской опорной и съемочной сети с помощью координатографа или циркуля-измерителя и трансверсальной линейки. Предельная погрешность положения пункта по отношению к координатной сетке 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.

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 данным привязки к характерным местам горных выработок или маркшейдерским точкам отмечают реперы, их номера и отметки.

По результатам съемки или измерений очистных работ указывают положение очистных забоев на первое число каждого месяца. На построенный план горных выработок дополнительно наносят все перечисленные выше объекты.

После проверки планов, составленных в карандаше, их вычерчивают в туши в строгом соответствии с действующими условными обозначениями. Планы горных выработок необходимо пополнять не реже одного раза в месяц.

§ 67. ПРОЕКЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ПЛОСКОСТЬ СРЕДНЕГО ПРОСТИРАНИЯ ПЛАСТА

При крутом залегании пласта изображение нарезных и очистных горных выработок на плане получается с большими искажениями, что не позволяет на нем показать необходимые детали очистных работ. Поэтому на шахтах, разрабатывающих угольные пласты с углом падения 60° и более, по каждому пласту строится проекция его выработок на вертикальную плоскость. В целях уменьшения искажения проектируемых объектов вертикальная плоскость проекции выбирается параллельно среднему простиранию пласта.

Вертикальную проекцию обычно составляют графическим способом, сущность которого заключается в следующем (рис. 121).

1. Сопоставляют планы, которые должны быть использованы для построения проекции, и выбирают направление плоскости проекции, т. е. прочерчивают линию, указывающую среднее простирание пласта. Определяют геометрические параметры плоскости проекции — координаты x и y одной из ее точек и дирекционный угол. По этим данным след плоскости проекции наносят на все планы основных и подэтажных горизонтов.

2. На листе бумаги через 5 см проводят высотную сетку до отметки нижней границы шахтного поля и вертикальные линии, соответствующие точкам пересечения следов выбранной плоскости проекции с координатной сеткой (x и y) на плане. Этим действием производят привязку плоскости проекции к плану.

3. По направлению следа плоскости проекции строят профиль земной поверхности, выход пласта на земную поверхность или подрыхлые отложения и границу кондиционного угля.

4. На следы плоскости проекции по каждому горизонту прямоугоньно проектируют пункты маркшейдерской основы и характерные точки горных выработок. Затем эти точки с планов переносят на вертикальную проекцию в соответствии с их отмет-

ками и расстояниями до линий координатной сетки. От пунктов маркшейдерской съемки наносят контуры горных выработок с учетом их высоты.

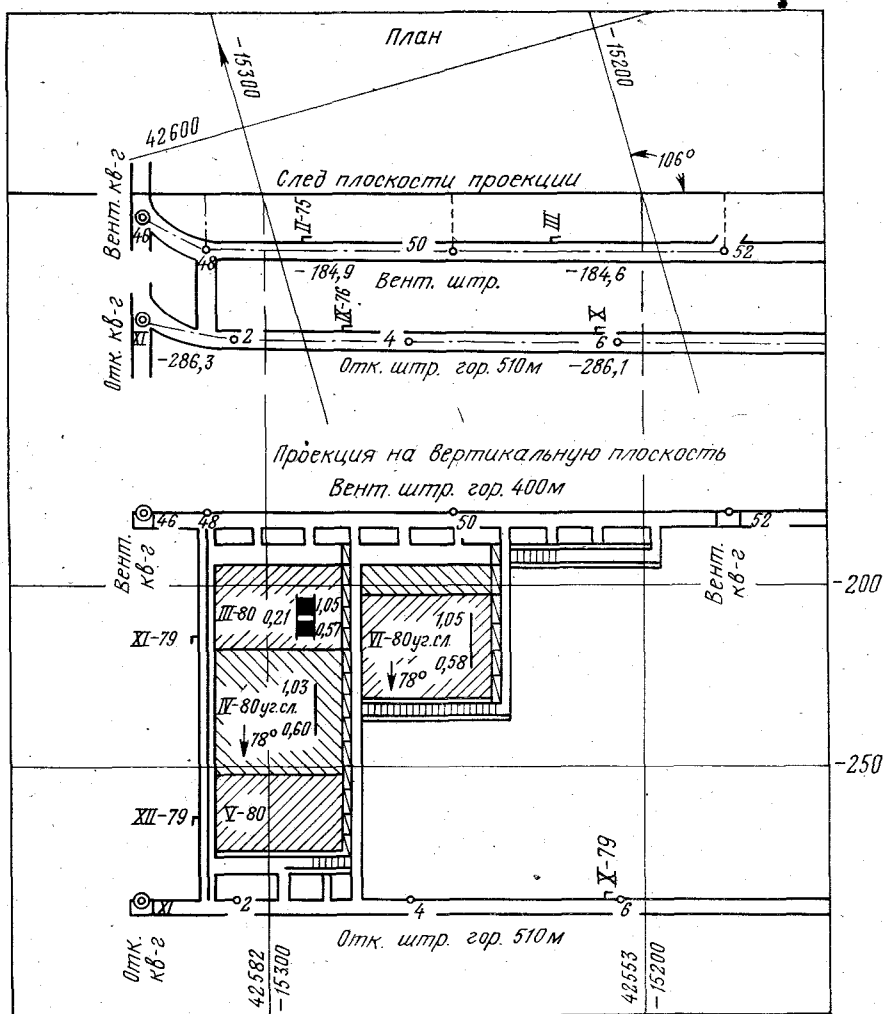


РИС. 121. Графический способ построения горных выработок в проекции на вертикальную плоскость

5. От контуров горных выработок по данным, полученным с планов очистных работ и месячных замеров, отмечают границы проведения подготовительных, нарезных и очистных выработок за каждый месяц и год.

Часто на одном листе размещают вертикальную проекцию и совмещенный план основных горизонтов данного участка пла-

ста. В этом случае след плоскости проекции располагают параллельно рамке листа, а падение пласта направляют в сторону нижней рамки. Проекцию и план располагают так, чтобы изображенные на них одноименные точки находились на одной вертикальной плоскости, перпендикулярной к следу плоскости проекции.

Таким же образом на проекцию переносят другие объекты, которые изображены на планах горных выработок.

Горизонтальный и вертикальный масштабы на проекции должны быть одинаковыми и соответствовать масштабу плана, т. е. $1 : 1000 - 1 : 2000$.

Проекцию горных выработок на вертикальную плоскость дополняют новыми данными не реже одного раза в месяц.

§ 68. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РАЗРЕЗЫ ВКРЕСТ ПРОСТИРАНИЯ

Вертикальные разрезы вкрест простирания являются наглядными структурными графиками, так как на них изображаются без искажения углы падения пластов и их нормальные мощности (рис. 122). Ниже дан порядок построения разрезов и их содержание.

1. Направление линий разрезов намечают на геологической карте и на планах горных выработок. С целью максимального использования фактической информации линии разрезов приурочивают, как правило, к основным вскрывающим выработкам (стволом, квершлагам, бремсбергам, уклонам и скважинам).

2. Линии горизонтов высотной сетки на вертикальных разрезах показывают через 5 см до нижней границы шахтного поля.

3. Ориентируют разрез относительно стран света и на плоскости разреза проводят вертикальные линии, соответствующие пересечениям плоскости разреза с линиями сетки координат (x и y) и следами вертикальных плоскостей проекций.

4. По направлению линии разреза строят профиль земной поверхности и контуры выходов угольных пластов на поверхность или под наносы.

5. На плоскость разреза выносят маркшейдерские точки, реперы, разведочные и горные выработки, находящиеся на линии разреза и вблизи нее.

6. По результатам первичной геологической документации горных выработок и скважин проводят следы пластов, сместителей и другой геологической ситуации.

7. Производят увязку пластов и вмещающих пород.

8. Дополнительно с планов на разрезы переносят и другую информацию, которая может быть отражена на данных графиках.

Горизонтальный и вертикальный масштабы разрезов одинаковы и соответствуют масштабам планов. Однако часто разрезы строят в более мелких масштабах — $1 : 5000$ и $1 : 10\,000$.

§ 69. ЧЕРТЕЖИ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Околоствольные дворы и приемно-отправительные площадки главных уклонов и бремсбергов современных шахт представляют сложную систему горных выработок.

Чертежи околоствольных дворов составляют в масштабах 1 : 200—1 : 1000 в соответствии с требованиями, предъявляемыми к планам горных выработок. На чертежах изображают: горные выработки, включая камеры различного назначения; постоянные маркшейдерские пункты и реперы; высоты характерных точек; геологическую ситуацию; крепление выработок; рельсовые пути и стрелочные переводы; трубопроводы, насосные станции водотока и др. Часто на таких чертежах кроме перечисленных объектов размещают сечения стволов и основных транспортных выработок, разрезы по камерам и сложным сопряжениям камер и выработок. На сечениях и разрезах показывают детали армировки и крепления, размещение подъемных и транспортных средств. Составляют эти чертежи, как правило, в более крупных масштабах — 1 : 50—1 : 100.

§ 70. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ЧЕРТЕЖИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ, РАЗРАБАТЫВАЮЩЕЙ МОЩНЫЕ ПЛАСТЫ УГЛЯ

Комплект маркшейдерских чертежей при разработке мощных угольных пластов зависит от угла падения пластов.

1. При разработке мощных пологих пластов составляют следующие графики: 1) планы горных выработок по каждому пласту или слою (при разделении пластов на слои, параллельные напластованию) в проекции на горизонтальную плоскость; 2) разрезы вкрест простирания, приуроченные к основным вскрывающим выработкам.

2. При разработке мощных крутых пластов по каждому пласту составляют: 1) план горных выработок в проекции на горизонтальную плоскость; 2) проекцию горных выработок на вертикальную плоскость; 3) вертикальные разрезы вкрест простирания по характерным направлениям (рис. 123). Если месторождение представлено свитой мощных крутых пластов, то кроме перечисленных графиков дополнительно составляют планы горных выработок по основным транспортным горизонтам.

Перечисленные планы горных выработок составляют в планшетной системе по данным маркшейдерской съемки. Методика составления и их содержание аналогичны описанным в § 66.

Проекция на вертикальную плоскость и вертикальные разрезы составляют графическим способом по методике, приведенной в §§ 67, 68.

Для удобства пользования все перечисленные графики строят в одном масштабе (1 : 1000—1 : 2000).

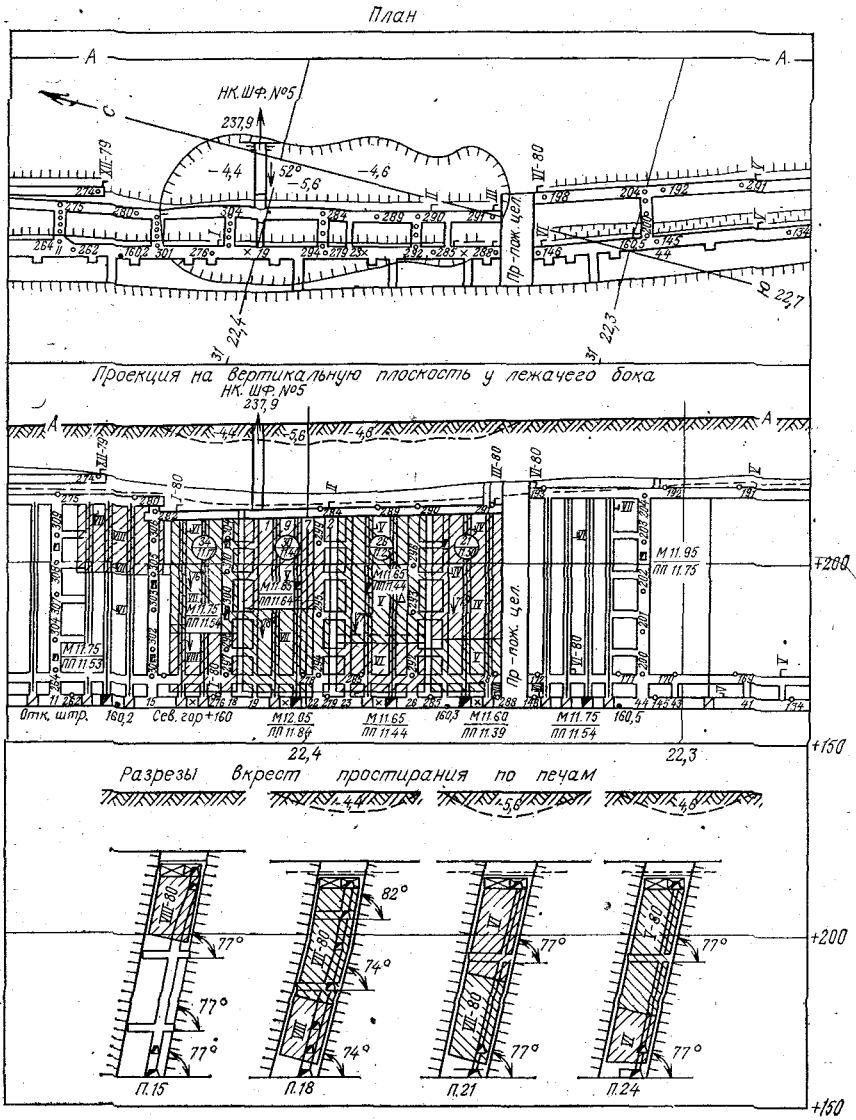


РИС. 123. Графическая документация при разработке мощных крутых пластов угля

§ 71. ПРОЧИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ЧЕРТЕЖИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Кроме рассмотренных ранее маркшейдерских чертежей, на угольных шахтах составляют ряд других графических документов.

1. *План промышленной площадки шахты* составляют в масштабе 1 : 500—1 : 1000 по всем отдельно расположенным площадкам, на которых осуществляются основные технологические процессы: выдача угля, породы, обогащение, брикетирование и отгрузка полезного ископаемого.

На чертежах промышленной площадки изображаются: 1) рельеф земной поверхности с высотой сечения горизонталей 0,25—0,5 м; 2) устья всех действующих, законсервированных и ликвидированных выработок и буровых скважин; 3) промышленные здания, технические сооружения, линии наземных и подземных (скрытых) коммуникаций; шоссейные и железные дороги; 4) контуры породных отвалов, угольных и лесных складов; 5) контур промышленной площадки, охраняемой от вредного влияния горных выработок; 6) пункты маркшейдерской опорной, съемочной и разбивочной сетей и осевые пункты шахтных стволов.

2. *Планы очистных выработок (лав)* составляют по результатам маркшейдерской съемки и замеров в масштабах 1 : 500—1 : 1000. При пологом залегании пласта планы лав строят в проекции на горизонтальную плоскость, при наклонном и крутом — в проекции на плоскость пласта. На этих планах показывают: 1) положение линии очистного забоя на первое число каждого месяца относительно пунктов маркшейдерской съемки, проложенной по лаве, или по замерам от откаточных и вентиляционных выработок; 3) структурный разрез пласта, на котором указывают мощности отдельных пачек угля и прослоек пород, а также породы кровли и почвы пласта; 4) вынимаемую мощность пласта и мощность оставленных пачек угля; 5) углы падения пласта; 6) кливаж угля и пород кровли; 7) целики, оставленные у выработок и в очистном пространстве; 8) геологические нарушения. По этим планам производят подсчет добычи и потерь угля.

3. *Гипсометрические планы* или планы поверхности всячего (лежащего) бока пласта составляют в линиях равных абсолютных отметок — и з о г и п с а х. Гипсометрические планы характеризуют форму залегания пласта и состояются по каждому пласту отдельно по результатам маркшейдерской и геологической съемок горных выработок и разведочных скважин.

На гипсометрических планах изображают: 1) изогипсы почвы (кровли) пласта; 2) линию выхода пласта на земную поверхность или под наносы; 3) границу кондиционного и коксующегося угля; 4) горные выработки и скважины, возле которых подписывают отметки точек встречи с всячим боком пласта; 5) следы вертикальных разрезов; 6) значение мощностей угольных пачек

и прослоек пустых пород; 7) технические границы шахтного поля по данному пласту; 8) охраняемые объекты, границы предохранительных и барьерных целиков и безопасного ведения горных работ; 9) линии тектонических нарушений; 10) контуры отработанных запасов, балансовых запасов и марочного состава угля; 11) границы зон, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Составляют гипсометрические планы в масштабах 1 : 2000—1 : 10 000 на листах произвольных размеров и используют для подсчета запасов, планирования разведочных и эксплуатационных работ.

4. *Совмещенный план горных выработок* составляют при разработке свиты сближенных пластов в масштабах 1 : 1000—1 : 5000. На этих чертежах изображают: 1) основные капитальные и подготовительные выработки по свите пластов; 2) технические границы по пластам и границы безопасного ведения горных работ; 3) границы утвержденных предохранительных и барьерных целиков; 4) площади удароопасных целиков, а также целиков, создающих зоны горного давления на смежных пластах; 5) основные геологические нарушения; 6) горные выработки смежных шахт; 7) действующие и запасные очистные забои и другую информацию, если при этом не будет затруднено чтение чертежа.

5. *Разрезы по вертикальным и наклонным шахтным стволам, профили стенок и армировки, чертежи по расчету предохранительных целиков.* Состав этих чертежей и их содержание приведены в соответствующих главах настоящего учебника.

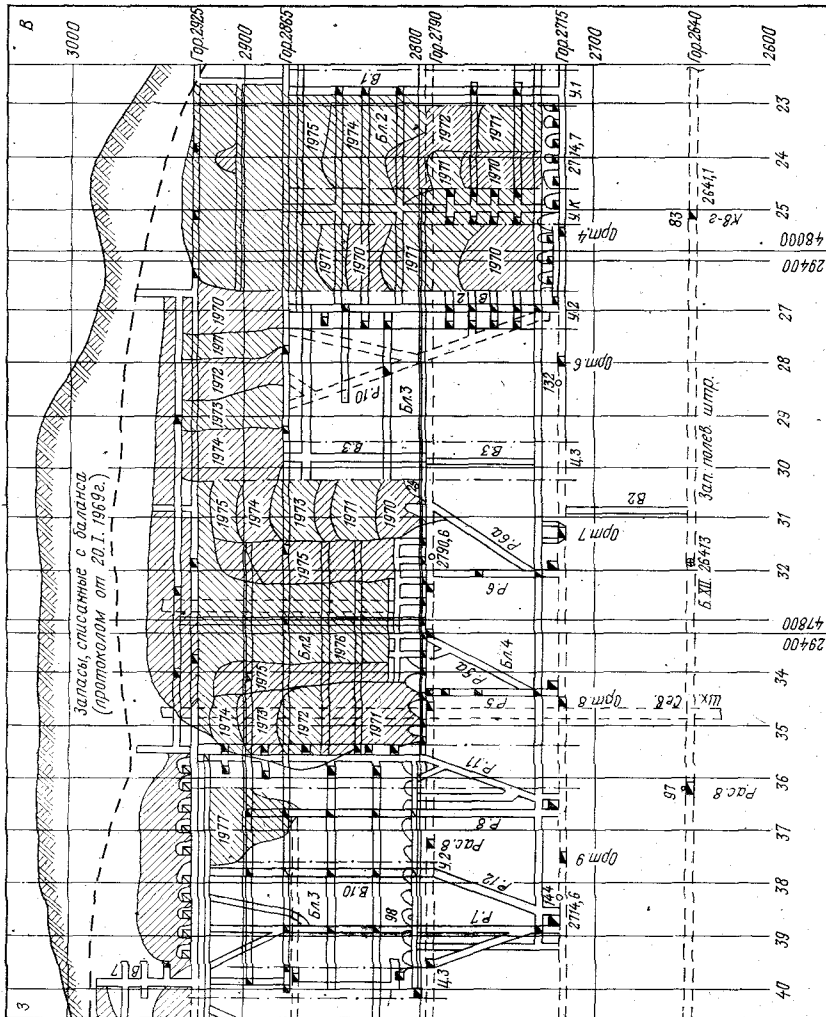
§ 72. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ РУДНОЙ ШАХТЫ

Сложность условий залегания рудных тел, различие физико-механических свойств руд обуславливают применение сложных систем разработки. От маркшейдерской службы горного предприятия требуется составление графиков, которые в состоянии были бы отразить всю совокупность горных выработок и многообразие форм рудных тел.

Перечень и содержание маркшейдерской графической документации рудной шахты определяются геологическим строением и способом разработки данного месторождения и регламентируются технической инструкцией по производству маркшейдерских работ. Ниже рассмотрены возможные случаи залегания рудных тел, перечни и содержание маркшейдерских чертежей при подземном способе разработки месторождений.

1. *При разработке пластообразных залежей и линз пологого падения* средней и малой мощности маркшейдерские графические документы не отличаются от чертежей, составляемых на угольных шахтах, т. е. по каждой залежи составляют план горных выработок в проекции на горизонтальную плоскость и разрезы вкрест простираения по основным вскрывающим выработкам в масштабах

РИС. 125. Проекция на вертикальную плоскость горных выработок рудной шахты



него) простираения залежей и линии вертикальных разрезов. В точках пересечения линий разрезов с линиями простираения подписывают порядковые номера разрезов или удаленность линий разрезов (в метрах) от начальной линии. Для удобства работы графики составляют в одном и том же масштабе, который зависит от сложности формы и размеров залежи, системы ее разработки и находится в пределах 1 : 500—1 : 2000.

3. При разработке рудных залежей большой мощности составляют следующие графики:

1) планы горных выработок по основным (транспортным) горизонтам горных работ в масштабах 1 : 1000—1 : 2000;

2) планы горных выработок по каждому горизонту очистного блока — поэтажные планы в масштабах 1 : 500—1 : 1000;

3) поперечные, продольные разрезы по блокам и проекции на вертикальную плоскость в масштабах 1 : 500—1 : 1000.

Методика составления графической документации очистных выработок рудной шахты и ее содержание описаны в следующем параграфе.

Кроме перечисленных выше чертежей, на рудных месторождениях составляют и другую графическую документацию, а именно: профили по основным откаточным выработкам; планы околоствольных горных выработок; совмещенные планы горных выработок по всем основным (транспортным) горизонтам горных работ; сводный план горных выработок и земной поверхности; качественные графики — чертежи, отражающие в изолиниях изменение содержания полезного компонента; чертежи по стволам; планы и разрезы к построению предохранительных целиков и др.

§ 73. ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНОЙ ШАХТЫ

На современной рудной шахте очистной блок по совокупности проводимых в нем горных выработок представляет сложный объект. Изображение на чертежах всех очистных выработок имеет важное значение как для решения эксплуатационных и маркшейдерских задач, так и для охраны недр и безопасности работ. Но на основных планах, проекциях и разрезах не могут быть отражены все детали очистной выемки полезного ископаемого. В связи с этим возникает необходимость составлять дополнительную графическую документацию по очистным выработкам.

При разработке жил и линз малой и средней мощности планы очистных выработок мало чем отличаются от аналогичных планов на угольных месторождениях и составляются в зависимости от углов падения в проекциях на горизонтальную, наклонную или вертикальную плоскости проекций.

При разработке мощных залежей системы разработки значительно усложняются, поэтому для полного представления о состоянии очистных работ в блоке их изображают в проекциях на три

плоскости: а) плановое положение нарезных и очистных выработок по каждому горизонту очистного блока; б) проекцию выработок на вертикальную плоскость среднего простирания; в) поперечные разрезы по характерным элементам блока.

Планы по отдельным горизонтам блока составляют и пополняют только по результатам съемки. Вершины съемочных сетей наносят по координатам, а контуры нарезных и очистных выработок — графическим способом.

Основой для составления проекций и разрезов служат планы основных и подэтажных горизонтов, а также результаты съемок камер и пустот. Методика построения разрезов и проекций аналогична описанной в § 67, 68.

Чертежи очистных выработок составляют в единой системе координат. Масштаб графиков выбирают с учетом обеспечения следующих требований:

1) возможности изображения необходимых деталей очистных работ, контуров рудного тела, прослоек пустых пород, различных сортов руд и точек взятия проб;

2) обеспечения необходимой точности решения графическим способом маркшейдерских задач по проведению второстепенных выработок, задач подсчета запасов, добычи, потерь и разубоживания руды;

3) обеспечения достаточной наглядности графиков.

Как показала практика разработки ряда месторождений, перечисленным требованиям отвечают масштабы 1 : 200—1 : 1000.

Комплект графической документации очистных выработок зависит от принятой системы разработки месторождения. Так, при системе этажного обрушения в комплект графиков входят: 1) часть плана основного горизонта; 2) проекция на вертикальную плоскость; 3) подэтажные планы; 4) поперечные разрезы по камерам.

Составляют чертежи очистных блоков на листах произвольных размеров. Часто практикуется составление для каждого крупного блока специального альбома чертежей, на которых изображается вся маркшейдерская, геологическая и горнотехническая информация.

§ 74. ПРОЕКЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ЛОМАНУЮ ПЛОСКОСТЬ

При изменяющемся простирании залежи горные выработки в проекции на вертикальную плоскость среднего простирания изображаются со значительным искажением. В этих случаях горные работы изображают в проекции на вертикальную ломаную плоскость, плоские звенья которой наиболее близко приближаются к отдельным элементам жилы или рудного тела. На совмещенном плане горных работ нескольких горизонтов параллельно средним простираниям отдельных участков залежи проводят следы лома-

ной плоскости проекции AB, BC, CD (рис. 127). Из точек пересечения следов B и C проводят биссектрисы Bb_4 и Cc_4 тупых углов ABC и BCD . Линии Bb и Cc можно принять за следы биссекторных плоскостей. Они проходят через точки наибольших изгибов горизонталей поверхности рудного тела или штреков и делят план на три участка, которые следует спроектировать на соответствующие плоские звенья вертикальной ломаной плоскости проекции.

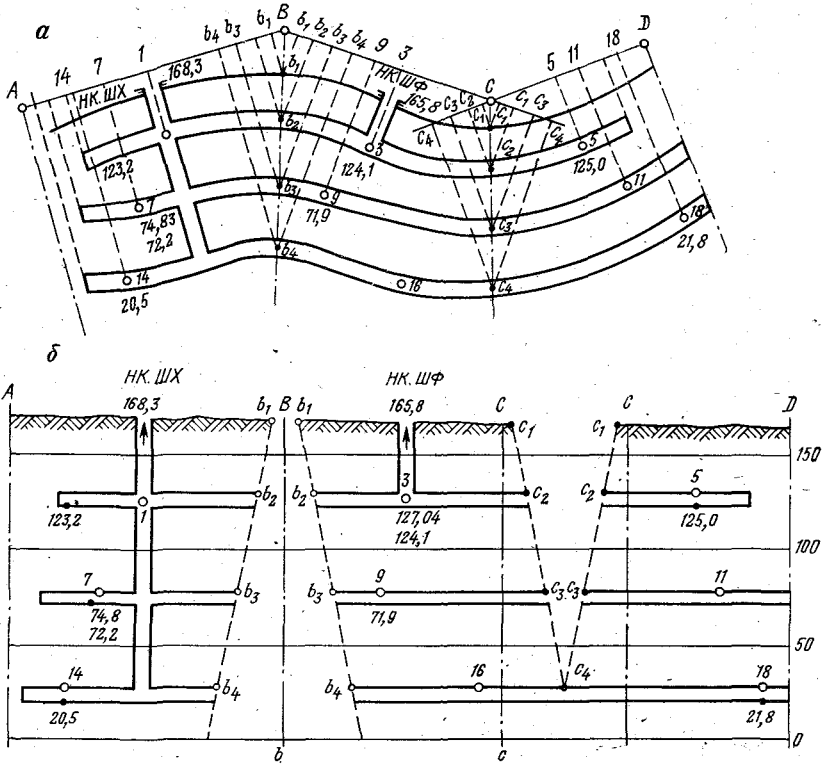


РИС. 127. Построение горных выработок на вертикальную ломаную плоскость: а — исходный план; б — проекция

На линии AB, BC, CD и их продолжения проектируют пункты маркшейдерской съемки, характерные точки горных выработок и точки пересечения биссектрис со штреками ($b_1, b_2, b_3, b_4, c_1, c_2, c_3, c_4$ и т. д.). Точки b_1, b_2, c_1, c_2 и т. д. проектируются на две смежные плоскости как лежащие на стыке двух участков. Следует заметить, что расстояние между точками b_1 и b_2 , т. е. величина разрыва проекции, зависит от величины угла между линиями AB и BC и расстояния от точки b_1 до плоскости проекции.

На листке бумаги, предназначенном для построения вертикальной проекции, в соответствии с принятым масштабом проводят линии горизонтов, на которых отмечают положение точек *A, B, C, D*. Точки маркшейдерской съемки, характерные точки горных выработок и точки пересечения биссектрис со штреками переносят на вертикальную проекцию в соответствии с их отметками и расстояниями от точек *A, B, C, D*. От пунктов маркшейдерской основы на вертикальную проекцию наносят контуры горных выработок и другие подробности в соответствии с их размерами. Полученный таким образом чертеж представляет собой развертку ломаной плоскости проекции на плоскости чертежа. На изображении получаются разрывы в форме клиньев, направленных острием кверху или книзу в зависимости от положения тупого угла, т. е. от направления простираения залежи.

§ 75. НАГЛЯДНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ЧЕРТЕЖИ И МОДЕЛИ

Рассмотренные выше маркшейдерские чертежи обладают хорошей метричностью и дают достаточно наглядное представление о взаимном расположении горных выработок по отдельным пластам, жилам или эксплуатационным горизонтам. Однако они не создают единого зрительного представления о пространственном расположении горных выработок и тел полезного ископаемого шахты в целом. Поэтому возникает необходимость построения на одном листе наглядного, легко зрительно воспринимаемого чертежа основных выработок шахты. Эти чертежи называют **наглядными маркшейдерскими графиками**. Они используются для общего ознакомления с шахтой и как основа для планов ликвидации аварий, планов вентиляции, размещения электрооборудования, водоотлива и др. Наглядные графики строят также для изображения отдельных сложных узлов горных выработок и геологических структур.

Как всякий технический чертеж, наглядные графики строятся по определенным геометрическим законам проектирования. В маркшейдерской практике нашли широкое применение методы аксонометрии, аффинных преобразований и векторные проекции. Теория и методика построения проекций излагается в курсе «Геометрия недр».

Исходными данными для построения наглядных графиков являются погоризонтные планы, проекции на вертикальную плоскость и вертикальные разрезы.

Кроме наглядных графиков, для характеристики сложных условий залегания тел полезных ископаемых и для выбора более рациональных способов их разработки изготавливают специальные **объемные модели (макеты)** — это уменьшенная копия, которая строится с соблюдением критериев подобия по отношению к моделируемому объекту. Исходными для моделиро-

вания являются те же чертежи, что и для построения наглядных графиков.

По своему назначению модели делятся на статические и динамические. Статические модели дают наглядное представление о залежи или ее участке на какой-то период разведки и эксплуатации; динамические — предоставляют возможность изображать объекты месторождения во времени, т. е. по мере получения дополнительных сведений модель корректируется и дополняется.

По технологии изготовления А. А. Трофимов * предлагает все многообразие объемных моделей рудников разделить на 6 групп.

1. *Скульптурные модели* — это слепки залежей, изготовленных из глины, гипса, папье-маше, дерева, пластилина и др. материалов.

2. *Скелетные модели* обычно имеют деревянное основание и металлический каркас. Полезное ископаемое изображается в виде проволочных контуров или цветными нитками, натягиваемыми между соответствующими металлическими стойками.

3. *Прозрачные объемные модели* представляют собой систему планов или разрезов, вычерченных согласно условным знакам на отдельных листах прозрачного жесткого пластика. Листы взаимно ориентируют и на соответствующих расстояниях по горизонтали и по вертикали вставляют в специальные рамы, смонтированные на подставке. Интервалы между листами равны разности отметок соседних горизонтов или расстояниям между соседними вертикальными разрезами с учетом масштаба модели. Для создания большей объемности модель снизу подсвечивают люминесцентными светильниками.

4. *Разборные и раздвижные модели* состоят из отдельных геологических блоков, которые могут подниматься и раздвигаться, что позволяет наглядно представить внутреннее строение участка месторождения. Изготавливают модели из глины, гипса, синтетических смол и других материалов.

5. *Комбинированные модели (макеты)* — изображение на моделях какой-то части горных выработок, подземных и поверхностных сооружений, объединенных единым технологическим процессом. Комбинированные модели чаще всего изготавливаются при проектировании горных предприятий.

6. *Модельные планы.* Рассмотрим изготовление подобных моделей на примере открытых разработок. В собранном виде модель представляет собой систему листов из прозрачного пластика или ватманской бумаги, наклеенной на картон. На листах изображены в условных обозначениях поуступные планы карьера. Если сложить листы в том порядке, в котором следуют уступы, то получится наглядное уменьшенное изображение карьера. По мере подвигания забоев на отдельных листах вырезаются отработанные

* Трофимов А. А. Моделирование и геометризация рудников и месторождений полезных ископаемых. — Советская геология, 1968, № 8, с. 85—104.

участки и таким образом отражается динамика горных работ на карьере. Модельные планы облегчают решение вопросов планирования и разработки месторождения.

§ 76. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА ПРОЗРАЧНОЙ ОСНОВЕ

До настоящего времени исходную графическую документацию составляют на чертежной бумаге высшего качества. Однако самая высококачественная бумага имеет ряд недостатков (подвержена деформации, малая прочность, непрозрачность). Из-за указанных недостатков бумагу приходится наклеивать на жесткую основу (картон, фанеру, дюраль), а для размножения чертежей — копировать на прозрачный материал, что требует дополнительных затрат труда и времени.

Наиболее перспективным направлением, обеспечивающим значительное снижение трудоемкости работ по изготовлению и размножению чертежей, является применение прозрачных синтетических материалов — полиэтилентерефталатных пленок типа лавсан, производство которых освоено отечественными заводами и зарубежными фирмами. Внедрение прозрачных материалов позволит совмещать планшеты разных горизонтов и пластов и предоставит возможность изготовления непосредственно с них копий путем светокопирования или электрографии.

Пленки, предназначенные для изготовления маркшейдерской графической документации, должны удовлетворять определенным требованиям: 1) точности; 2) долговечности; 3) прозрачности, позволяющей получать качественные копии; 4) не давать деформаций при нагревании во время пропускания ее через светокопировальный аппарат; 5) толщина пленки не должна оказывать значительного влияния на качество и точность светокопий; 6) обладать чертежными свойствами. Учитывая перечисленные требования, ВНИМИ рекомендует следующие материалы.

1. *Лавсановая пленка с матированной поверхностью, зерненной механическим способом*: толщина пленки 90—120 мк, на ней можно работать графитовыми карандашами и тушью «колибри».

2. *Синтетическая бумага пленочного типа СБ-1 и СБ-2 с бумифицирующим покрытием соответственно с одной и двух сторон*, на ней можно чертить любой тушью. Толщина пленки 32—70 мк, ширина рулона 610 мм. Синтетическая бумага обладает высокой механической прочностью, эластичностью и плотностью.

3. *Лавсановая пленка ПНЧ-КТ1 и ПНЧ-КТ2 с химическим матированием поверхности (одно- и двусторонняя)*. Толщина пленки 60—145 мк, ширина рулона 620—1500 мм. Пленка обладает хорошими чертежными свойствами при работе карандашом и тушью (казеиново-спиртовой, концентрированной и «колибри»). Для вычерчивания чертежей, подлежащих длительному хранению,

рекомендуется применять тушь «колибри», так как прочие виды туши в процессе длительного хранения могут отслаиваться от поверхности пленки.

Перед работой матированные поверхности описанных пленок необходимо очистить от пыли и жирных пятен. Пыль снимается ватным тампоном, смоченным водой, а обезжиривание производится гидролизным спиртом или гексаном (фракция бензина). Не следует пользоваться тальком, так как он уменьшает сцепление туши с чертежной поверхностью и засоряет чертежные инструменты. Для снятия изображения, нанесенного тушью, следует пользоваться мягким ластиком, смоченным водой или спиртом. Остаточные пятна легко удаляются сухим ластиком.

4. *Лавсановая пленка с двусторонним глянцевым чертежным слоем.* Лаковое покрытие, которое используется для этой пленки, позволяет исключить матирующие добавки и тем самым добиться абсолютно прозрачной глянцевой чертежной поверхности. Изображение на пленку рекомендуется наносить тушью «колибри». Перед работой пленку следует обезжирить сухим тальком. Старое изображение можно удалить ватным тампоном, смоченным водой. После снятия изображения желательна выдержка в течение 1 ч. Перед нанесением нового изображения слой активируют тальком. Пленка выпускается в рулонах шириной 1180 мм и выдерживает температурные режимы современных отечественных светокопировальных и электрофотографических аппаратов. Учитывая гидрофильность лака, пленку следует хранить в сухом месте.

5. *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. Планшеты, изготовленные из армированной бумаги, обладают высокими механическими свойствами на разрыв и перегибы и в естественных условиях их деформации не превышают 0,3 мм на 50 см. Чертить на армированной бумаге можно как обычной, так и тушью «колибри». С оригинала, выполненного на армированной бумаге, можно получать светокопии на диазобумагу или диазокальку, только необходимо увеличить время на экспозицию.

Перечисленные выше синтетические пленки и армированную бумагу рекомендуют применять для изготовления рабочих чертежей: 1) копий исходных чертежей; 2) планов очистных забоев; 3) планов поэтажных горизонтов и других чертежных основ.

§ 77. СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Внедрение скоростных методов разработки полезных ископаемых предъявляет новые требования и к способам ведения маркшейдерской графической документации. Наличие инструментов, приборов и специальных методов значительно сокращает и упро-

шает процесс изготовления чертежей. До недавнего времени все операции по составлению и вычерчиванию графиков выполнялись в основном с помощью простейших инструментов. Постепенно совершенствуются методика и техника составительских и чертежных работ.

Для механизации составительских работ при изготовлении маркшейдерских чертежей применяются следующие методы и приборы.

Разбивка координатных сеток на планшетах и нанесение на них пунктов маркшейдерского обоснования производятся с помощью электрокоординатографов. Во ВНИМИ разработан новый способ изготовления стандартных планшетов на лавсановой основе с изображением на них координатной сетки и зарамочного оформления. Благодаря незначительной толщине планшета и его эластичности эта операция выполняется методом офсетной печати. Погрешность нанесения координатной сетки не превышает 0,3 мм на 50 см.

Для повышения производительности труда и точности работ при построении наглядных маркшейдерских графиков применяются специальные приборы — аксонографы, аффинографы, стереоавтографы, перспектографы и др. Перечисленные приборы рассматриваются при изучении дисциплин «Геометрия недр» и «Фотограмметрия».

В последнее время для составления некоторых геолого-маркшейдерских планов применяют электронно-вычислительные машины «Минск-22» и «Минск-32». Систематизированная исходная информация, представляющая собой результаты маркшейдерской и геологической съемок и данных опробования, посылается в машину. Машина перерабатывает информацию и выдает результат в виде графиков изолиний мощностей, содержания полезного компонента, гипсометрических планов пластов и других графиков, отражающих закономерности размещения форм и свойств залежи в пространстве.

Для механизации чертежно-оформительских работ во ВНИМИ разработаны сухие переводные форматки многократного применения — д е к о л и, которые представляют собой пленочный материал с разработанным подслоем. На такую пленку, получившую название «д е к о л ь - к о п и р», специальными фотомеханическими приемами наносится изображение для перевода, которое углублено на толщину подслоя. В эти углубления закатывается краска. Возможность многократной накатки краски позволяет многократно использовать одну и ту же пленку, причем изображение может быть разных цветов в зависимости от того, какого цвета накатана краска.

Изображение с деколей можно переносить на бумагу, кальку, синтетические матированные пленки и другие материалы. Форматки предварительно размещают на своих местах, а затем притирают сверху пластмассовыми наконечниками. Под давлением краска отделяется от пленки и переносится на чертеж.

На форматках изображаются названия горных выработок, пояснительные надписи, цифровые характеристики, обозначения горных пород и др. Надписи и знаки деколей соответствуют действующим условным обозначениям.

В настоящее время известны и другие способы механизации нанесения надписей, условных знаков и прочих графических изображений, а именно:

фотонабор и кибернетические устройства;

наклейки с липкой основой, напечатанные на прозрачной подложке;

рапитографы совместно с прозрачными трафаретами;

портативные печатающие машинки.

Перечисленные способы пока не получили широкого распространения в практике маркшейдерского черчения.

§ 78. РАЗМНОЖЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Оригиналы маркшейдерских чертежей являются важными документами и хранятся в маркшейдерских отделах горных предприятий. В повседневной работе пользуются копиями.

Методы копирования и размножения горной графической документации должны обеспечивать четкость и необходимую точность передачи изображения. Копии можно получить как в масштабе оригинала, так и с изменением масштаба. Рассмотрим оба случая.

1. *Получение копий чертежей с сохранением масштаба оригинала.* Самым простым, но довольно трудоемким методом получения копии чертежа является копирование «на просвет». В этом случае калька или другой прозрачный материал накладывается на оригинал и на них переносятся все детали чертежа. Если оригинал составлен на просвечивающейся основе, то копировать можно на любую чертежную основу, пользуясь светокопировальным столом. В настоящее время уделяется большое внимание механизации копировально-множительных работ при изготовлении копий маркшейдерских чертежей. Известны следующие способы выполнения этих работ с помощью специальных приборов и аппаратов: 1) светокопирование, 2) электрофотография, 3) термокопирование, 4) технокопирование, 5) фотокопирование, 6) электроискровой способ. Исходя из особенностей горной графической документации, наиболее приемлемым и рациональным методом размножения чертежей в условиях маркшейдерских отделов горных предприятий является метод светокопирования, а перспективным должен стать электрофотографический метод.

Светокопирование. При размножении графиков этим методом необходимо иметь чертеж, выполненный тушью на прозрачной основе, и светочувствительный материал (бумагу, кальку или пленку). Чертеж накладывается на светочувствитель-

ный материал и в такой комбинации подвергается освещению. Под действием света диазосоединения разрушаются на свободных местах, а под начерченными контурами сохраняются. Экспонированный материал помещают в пары аммиака, происходит химическая реакция (диазосоединения взаимодействуют с азотистыми компонентами) и через несколько минут получается копия чертежа.

Для светокопирования используются специальные рамы и светокопировальные аппараты. На рис. 128 представлен общий вид наиболее совершенного настольного аппарата марки СКМН-1000-200, предназначенного для контактного светокопирования с одновременным проявлением светокопий щелочным рас-

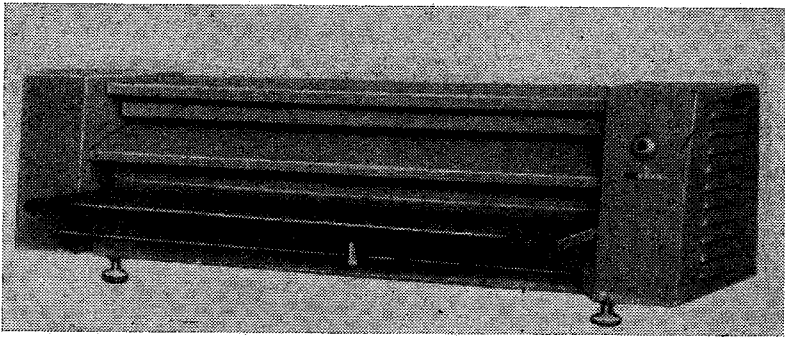


РИС. 128. Светокопировальный аппарат СКМН-1000-200

твором. 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 проводится 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 направляет в проявляющее устройство, в котором диазоматериал увлажняется щелочным раствором и после прохождения химической реакции на нем воспроизводится изображение оригинала. Сведения о светочувствительных материалах, их марках, описания других конструкций светокопировальных аппаратов и принципов их работы приводятся в справочной литературе.

Электрофотография. Рассмотрим сущность этого способа на примере ротационного электрографического аппарата РЭМ-600К (рис. 129). Изображение с оригинала 1 опти-

ческой системой 2 переносится на светочувствительный селеновый слой, которым покрыт специальный цилиндр 3. Проявление скрытого электростатического изображения на цилиндре происходит с помощью проявляющего устройства 4, содержащего красящий порошок. С цилиндра копия изображения переносится на заправленную в аппарат чертежную основу — рулонную бумагу или кальку 5. Закрепление порошкового изображения осуществляется термическим способом путем оплавления осевшего на бумаге (кальке) порошка тепловыми лучами специального нагревателя 6.

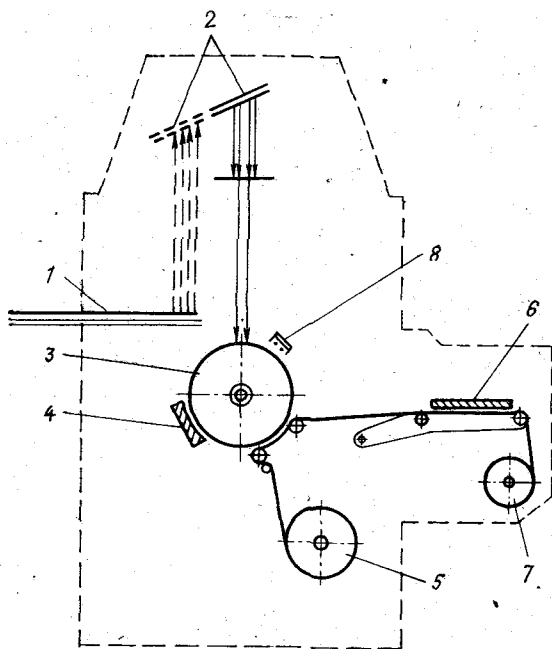


Рис. 129. Схема аппарата РЭМ-600К

Чертежная основа с закрепленным на ней изображением наматывается на приемную катушку 7. Селенированный цилиндр заряжается от специального зарядного устройства 8. Весь процесс получения копии осуществляется автоматически и непрерывно, т. е. в одно и то же время на одном участке вращающегося барабана происходит зарядка, на другом — экспонирование, на третьем — проявление изображения.

Аппарат РЭМ позволяет получать одноцветные (черные) копии в масштабе 1 : 1. Размер копий по ширине 600—620 мм и на длину всего рулона. Копии можно получать с любого оригинала и на любую чертежную основу (прозрачную и непрозрачную). По степени деформации изготовленные копии удовлетворяют требованиям, предъявляемым к производным чертежам. Все описанное

выше подтверждает перспективность применения аппаратов подобного типа для размножения маркшейдерской графической документации.

2. Изготовление копий чертежей с изменением масштаба оригинала может быть выполнено: 1) графическим, 2) графо-механическим и 3) оптико-механическим методами.

При графическом способе используются методы квадратной сетки и плоской полюсной проекции.

При графо-механическом методе применяется пантограф, его устройство и принцип работы рассматриваются в курсе геодезии.

При оптико-механическом способе получения копий чертежей используются следующие приборы: а) оптические — эпископы, диаскопы, проекторы, фототрансформаторы (аппараты такого типа дают незакрепленное изображение); б) фотомеханические — типа ЭРА (электрофотографический репродукционный аппарат), которые позволяют уменьшать изображение в два раза и получать копии с прозрачных и непрозрачных оригиналов на любую чертежную основу.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глава IX

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЪЕМКИ НА КАРЬЕРАХ

§ 79. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Современный карьер является мощным, высокопроизводительным горным предприятием по добыче полезного ископаемого. Горные работы ведутся на значительной площади (от нескольких до десятков квадратных километров), достигая глубины 200—500 м на равнинной местности, а в горных районах перепад высот между крайними уступами составляет более 600 м. На месторождениях ведется совместная разработка открытым и подземным способами, что способствует более экономичной и эффективной выемке полезного ископаемого.

Особенности маркшейдерских работ на карьерах связаны со специфическими условиями проведения горных работ. К этим условиям относятся: большая площадь распространения горных выработок, быстрое изменение положения забоев из-за использования мощных механизмов, наличие многообразных вспомогательных работ, требующих участия маркшейдерской службы. Это требует от маркшейдера глубоких знаний и умения выполнять все виды маркшейдерских работ, увязывая их с решением горно-технических и технологических задач. Основными видами маркшейдерских работ на карьерах являются:

- развитие опорной и съемочной сетей;
- съемка горных разработок и других горнотехнических объектов;
- составление графической документации, отражающей состояние и динамику развития горных работ;
- учет движения запасов, добычи и потерь полезного ископаемого, определение обеспеченности предприятия запасами на предстоящий период;
- подсчет вынутых объемов полезного ископаемого и вскрыши, учет движения взорванной массы;
- маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ;
- изучение геометрии залегания и качества полезного ископаемого, составление горно-геометрических графиков, изображающих распределение этих свойств в пространстве;
- сбор, переработка, хранение и представление в виде, необходимом для управления горными работами, всей горно-геометрической информации;

контроль за полнотой выемки полезного ископаемого, соблюдением норм потерь и разубоживания;
обеспечение безопасного ведения горных работ от оползней и обвалов, наблюдение за их состоянием.

§ 80. ОПОРНАЯ СЕТЬ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ НА КАРЬЕРАХ

Маркшейдерская опорная сеть на карьере состоит из пунктов государственной геодезической сети и сетей местного значения.

Пункты государственной геодезической сети, как правило, определяются подразделениями ГУГКа. Дальнейшее сгущение до необходимой плотности выполняется маркшейдерской службой. Число и расположение пунктов определяет маркшейдер карьера, исходя из следующих соображений:

обеспечение неподвижности пункта и долговременности его сохранности;

достижение минимума работ при сгущении съёмочного обоснования.

Решение этих вопросов увязывается с направлением развития горных работ во времени и пространстве. Типичная маркшейдерская опорная сеть состоит из пунктов, расположенных по бортам карьера, так что с рабочих горизонтов видно, по крайней мере, два-три пункта. При разработке с внутренними отвалами пункты опорной сети располагаются на устоявшихся местах отвалов. В горной местности используются вершины, окружающие карьер, которые видны с различных его точек.

Пункты опорной сети закрепляются бетонными монолитами в соответствии с действующими инструкциями. Над пунктом устанавливается металлическая трехгранная пирамида высотой 5—6 м.

При установке пирамиды и центра добиваются, чтобы элементы редукции визирного цилиндра были менее точности измерений при сгущении сети съёмочного обоснования. Устанавливая центр пункта под визирным цилиндром с помощью двух теодолитов, оси визирования которых пересекаются под углом около 90° , достигает линейный элемент редукции менее 10 мм. В этом случае при дальнейшем использовании визирного цилиндра в качестве центра исходного пункта можно не вводить поправок за редукцию в измеренные направления.

Пункты опорной сети определяются аналитическими сетями или полигонометрией 1 и 2 разрядов. Для исключения расхождений в съёмках погрешность определения взаимного расположения пунктов должна быть менее 0,1 мм в масштабе основного маркшейдерского плана независимо от класса или разряда пункта. Исходя из этого требования, выбирают разряд и схему сети для определения пунктов.

Аналитические сети 1 и 2 разрядов строят в виде сетей треугольников, опирающихся на пункты высшего класса. Угловые измерения выполняют оптическими теодолитами Т2, Т5 или им равноточными. Средняя квадратическая погрешность измерения угла по невязкам треугольников не должна превышать в сетях 1 разряда $\pm 5''$, в сетях 2 разряда $\pm 10''$.

Полигонометрия 1 и 2 разрядов прокладывается в виде отдельных ходов или систем ходов. Угловые измерения выполняются с той же точностью, что и в аналитических сетях соответствующего разряда. Линейные измерения в условиях карьера рекомендуется выполнять светодальномерами типа ТД-2, СМ-3 или МСД-1м в зависимости от длин сторон и условий видимости.

В полигонометрии 2 разряда допускается измерение длин сторон параллактическим методом с помощью базисных реек типа «Бала-2м».

Применение подвесных мерных приборов, проволок, лент или рулеток технически и экономически оправдано при малом объеме работ или при благоприятных условиях измерений и отсутствии других средств.

Разность между результатами измерений длины стороны после введения поправок за температуру и эталонирование, а также линейные относительные невязки ходов не должны превышать 1 : 10 000 для полигонометрии 1 разряда и 1 : 5000 — для 2 разряда.

Во многих случаях опорная маркшейдерская сеть строится в виде комбинации аналитической сети и полигонометрии, что позволяет достигать нужной точности и густоты пунктов при минимуме затрат.

Уравнивание опорной сети во всех случаях следует выполнять по способу наименьших квадратов, используя ЭВМ. При восстановлении нарушенных пунктов или реконструкции опорной сети необходимо выполнять переуравнивание всей сети с использованием старых и новых измерений. Это уменьшает влияние накопления погрешностей исходных пунктов и расхождений между группами несвязанных измерениями пунктов.

Применение ЭВМ при уравнивании измерений позволяет строить сети любой геометрической сложности, что особенно удобно в условиях карьера, где имеется много факторов, осложняющих сеть: отвалы, крупные механизмы, запыленность или загазованность атмосферы и т. п.

При отсутствии пунктов государственной геодезической сети разрешается опорную сеть строить в виде самостоятельных сетей 1 и 2 разрядов, если площадь съемки не превышает 100 км². В самостоятельной сети измеряется не менее двух базисных (выходных) сторон с предельной относительной погрешностью 1 : 50 000 для сетей 1 разряда и 1 : 20 000 — 2 разряда. Самостоятельные сети ориентируются гирокомпасами или астрономически по Полярной звезде, что при подходе государственной геодезической сети

к району карьера позволит просто выполнить перевычисление координат в общегосударственную систему и не потребует переделки графической документации.

Высотная опорная маркшейдерская сеть создается геометрическим нивелированием IV класса и техническим нивелированием. Высотная сеть состоит из пунктов плановой опорной сети с отметками, определенными геометрическим нивелированием, грунтовых и ственных реперов.

Расположение и число пунктов высотной опорной сети определяет маркшейдер, как и при проектировании плановой опоры, исходя из условий отработки карьера. Взаимное положение соседних пунктов опорной сети должно быть определено с погрешностью $\pm 0,01$ м независимо от класса нивелирования.

§ 81. СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КАРЬЕРОВ

На основе пунктов опорной сети маркшейдер карьера определяет пункты съемочного обоснования, с которых непосредственно выполняются съемка и другие работы. Средняя погрешность планового положения пунктов съемочной сети относительно ближайших пунктов опорной сети не должна превышать $\pm 0,2$ м, а погрешность отметки не должна быть более $\pm 0,1$ м.

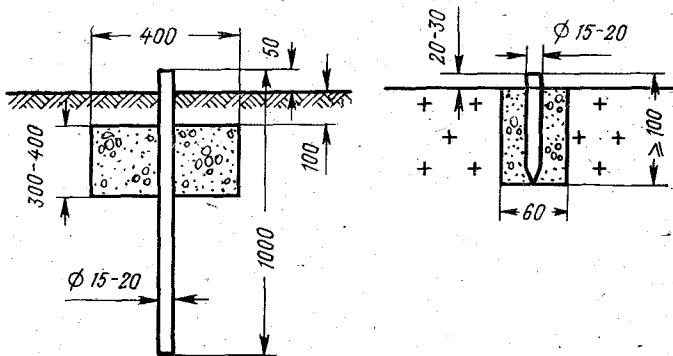


РИС. 130. Типы центров пунктов съемочной сети

На уступах расстояние между пунктами съемочной сети, например при тахеометрической съемке, не должно превышать $300 \div 400$ м. При воздушной стереофотограмметрической съемке съемочная сеть более редкая, а в некоторых случаях бывает достаточно пунктов опорной сети.

Пункты съемочной сети закрепляют постоянными или временными центрами. Постоянный центр представляет собой металлический штырь или трубу, забитые в грунт и забетонированные в верхней части (рис. 130). Временный центр состоит из стержня, забитого в грунт или расщелину при скальных породах.

Вокруг пункта из кусков породы или другого материала выкладывается знак в виде креста или круга (рис. 131). Знак окрашивается известью или другим красителем, который контрастно виден на фоне уступа. Такой знак позволяет легко находить пункт на уступе, охраняет его от непреднамеренного уничтожения, а при

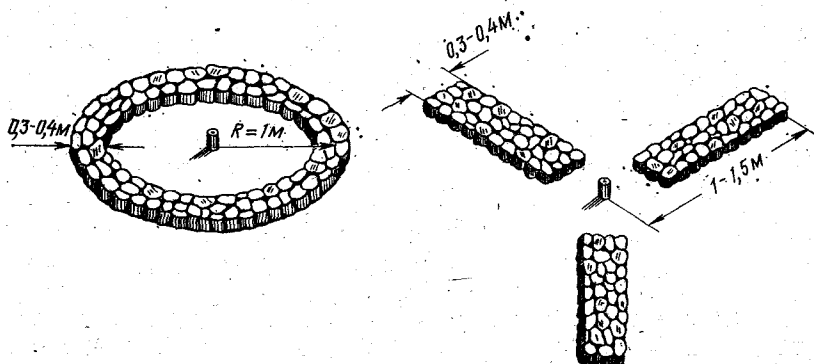


РИС. 131. Типы маркирующих знаков на пунктах съёмочной сети

аэрофотосъемке служит для опознавания пункта на снимке. Постоянными центрами закрепляются пункты, расположенные в местах, обеспечивающих относительно длительную их сохранность.

Координаты пунктов съёмочного обоснования в зависимости от условий и имеющихся технических средств определяются следующими методами:

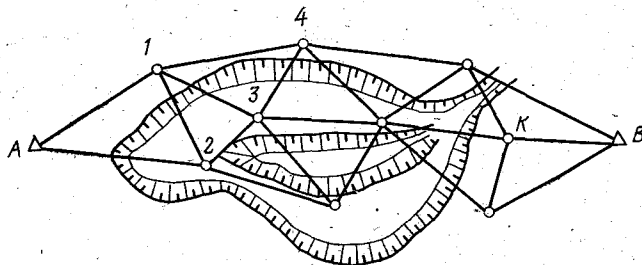


РИС. 132. Схемы аналитической сети съёмочного обоснования

построением аналитических сетей и геодезических засечек; прокладкой теодолитных ходов; разбивкой эксплуатационных сетей и профильных линий; развитием сетей пространственной аналитической фототриангуляции.

Аналитические сети строят в виде систем, состоящих из треугольников, в которых измерены все или некоторые углы и которые включают в себя пункты опорной сети. На рис. 132 и 133 показаны типичные схемы аналитических сетей съёмочного об-

основания. В сети на рис. 133 пункты A, B, C и D — опорные, $1, 2, \dots$ — определяемые точки, а точки I, II являются вспомогательными. Обычно в качестве вспомогательных точек выбираются хорошо видимые и четкие ориентиры, например, молниеотводы осветительных вышек и т. п. На точках $A, 1, 2, \dots, C$ измеряются обозначенные на схеме углы или направления. По измеренным углам из треугольников по теореме синусов вычисляются длины линий $A-1, 1-2, \dots, C$, а затем координаты точек как в теодолитном ходе между двумя жесткими пунктами.

Уравнение аналитических сетей съемочного обоснования допускается выполнять приближенными способами. Однако при наличии ЭВМ следует использовать программы строгого уравни-

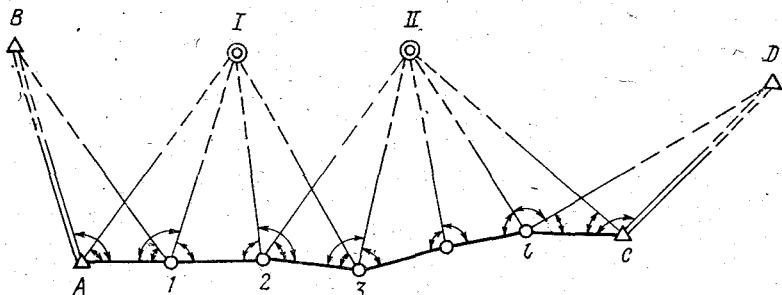


РИС.133. Схема сети по способу проф. А. Н. Дурнева

вания, что обеспечит лучший контроль качества полевых измерений и исключит возможные искажения из-за способа уравнивания.

Геодезические засечки используют для вставки отдельных точек, если с рабочих уступов обеспечивается видимость на опорные пункты.

На рис. 134 показаны варианты прямой и боковой засечек. Измеряемые углы обозначены. Для обеспечения достаточной точности угол при определяемой точке между двумя пересекающимися лучами должен быть в пределах от 30 до 120° . Для контроля пункты должны определяться минимум из двух засечек (см. рис. 134, а). Вычисление прямой и боковых засечек следует выполнять по формулам Юнга или по формулам К. Ф. Гаусса. Например, для случая б формулы Гаусса вычисления координат точки P от точек A и B имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_A \operatorname{tg} \alpha_1 - x_B \operatorname{tg} \alpha_2 + y_B - y_A}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}; \\ y_P &= y_A + (x_P - x_A) \operatorname{tg} \alpha_1 = y_B + (x_P - x_B) \operatorname{tg} \alpha_2, \end{aligned} \right\} \quad (\text{IX.1})$$

где α_1, α_2 — дирекционные углы сторон AP и BP ; x_A, y_A, x_B, y_B — координаты опорных точек.

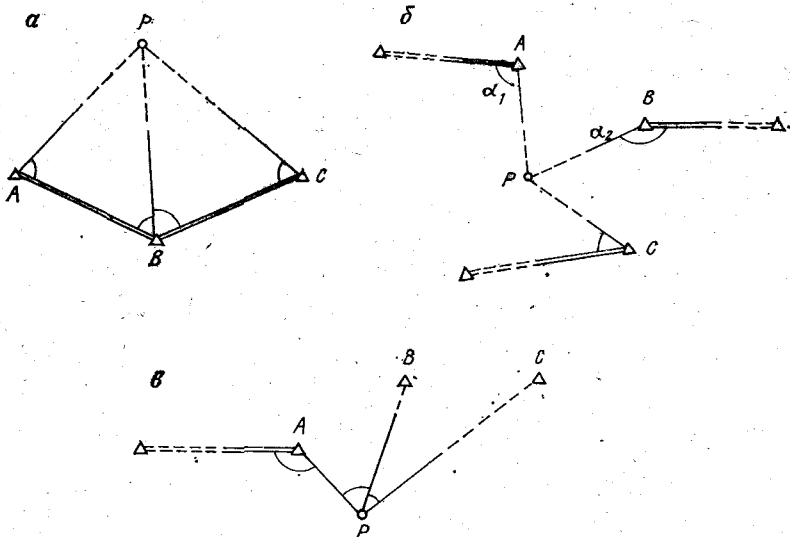


РИС. 134. Схемы прямой и боковой засечки

Если α_1, α_2 близки к 90° или 270° , то используются формулы с котангенсами углов:

$$\left. \begin{aligned} y_P &= \frac{y_A \operatorname{ctg} \alpha_1 - y_B \operatorname{ctg} \alpha_2 - x_A + x_B}{\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2}; \\ x_P &= x_A + (y_P - y_A) \operatorname{ctg} \alpha_1 = x_B + (y_P - y_B) \operatorname{ctg} \alpha_2. \end{aligned} \right\} \text{ (IX.2)}$$

Применение обратной засечки (рис. 135) позволяет до минимума сократить полевые работы. Однако ее использование должно быть обосновано расчетами точности. Линейная погрешность положения пункта вычисляется по формуле

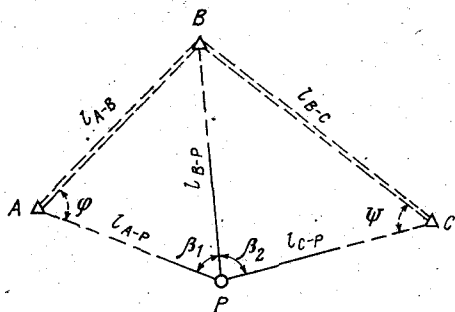


РИС. 135. Схема обратной засечки

$$\sigma = \frac{m_\beta l_{B-P}}{206 \sin(\varphi + \psi)} \times \sqrt{\left(\frac{l_{A-P}}{l_{A-B}}\right)^2 + \left(\frac{l_{C-P}}{l_{B-C}}\right)^2}, \quad \text{(IX.3)}$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения углов β_1, β_2 ; l_{B-P}, \dots — длины сторон, км; φ, ψ — углы, показанные на рис. 135.

Необходимые для предрасчета величины определяются с плана горных работ. Из вариантов обратной засечки выбирают два таких, у которых величины σ имеют наименьшее значение.

Следует иметь в виду, что точность обратной засечки зависит от погрешностей исходных пунктов. Их влияние может превзойти величину, вычисляемую по формуле (IX.3).

Полярным методом определяют отдельные пункты съемочной сети в случаях, когда имеется свето- или радиодальномер или когда расстояние невелико и удобно для измерения лентой или рулеткой.

Угловые измерения в аналитических сетях выполняются теодолитами Т5, Т15, Т30 числом приемов, обеспечивающим среднюю квадратическую погрешность угла $\pm 15''$. Невязки в фигурах не должны превышать $\pm 30'' \sqrt{n}$, где n — число углов в фигуре.

Теодолитные ходы для определения пунктов съемочного обоснования прокладывают между опорными точками или делают замкнутыми. Угловые измерения выполняют так же, как и в аналитических сетях. Длины линий измеряют рулетками или дальномерами в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение двух измерений длины 1 : 1000, а линейная невязка хода не должна быть более 1 : 3000.

Эксплуатационные сетки и профильные линии для обеспечения съемок применяют на неглубоких карьерах в условиях спокойного равнинного рельефа. Сетка создается до начала вскрышных работ и представляет собой сеть квадратов или прямоугольников, вершины которых закреплены на местности. Проект сетки выносится в натуру от пунктов опорной сети и основные ее элементы проверяются проложением теодолитного хода или другим методом. Расстояние между вершинами квадратов сетки выбирается в пределах от 20 до 100 м (кратное 5 или 10 м).

Вычисление съемочных сетей следует выполнять с использованием ЭВМ, что сократит затраты труда на камерные работы, а также позволит в конкретных случаях использовать самые гибкие геодезические построения, не останавливаясь перед вычислительными трудностями. Внедрение ЭВМ в управление горными работами привело к возможности построения съемочного обоснования методом *аналитической пространственной фототриангуляции*. Этот высокопроизводительный и точный метод не требует густой опорной сети, не зависит от видимости между пунктами, плотность вставляемых точек может быть любой.

Схема построения сети следующая. Точки съемочного обоснования закрепляются на местности и маркируются, чтобы их можно было опознать на снимке. Выполняется аэрофотосъемка карьера так, чтобы в зону перекрытия снимков попали опорные 1 и вста-

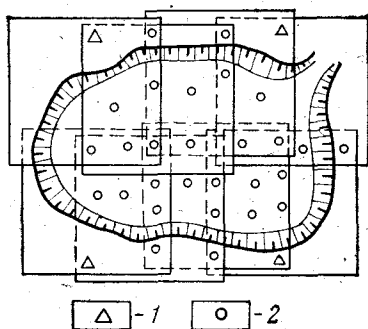


РИС. 136. Схема фототриангуляции

вляемые 2 пункта (рис. 136). С помощью высокоточного стереокомпаратора измеряются координатами x, y изображения опорных и вставляемых пунктов на снимках в системе координат фотокамеры. Для каждого изображения составляется два уравнения.

Решая с помощью ЭВМ эти уравнения совместно для всех точек, вычисляют координаты точек местности.

Метод фототриангуляции наиболее перспективен на крупных карьерах, где аэрофотосъемка находит широкое применение.

§ 82. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТМЕТОК ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

В зависимости от способа построения съемочного обоснования отметки точек определяют или совместно с плановыми координатами, или построением высотных сетей.

При сгущении съемочного обоснования методом аналитической фототриангуляции отметки точек определяют совместно с плановыми координатами. Используемая технология построения сети

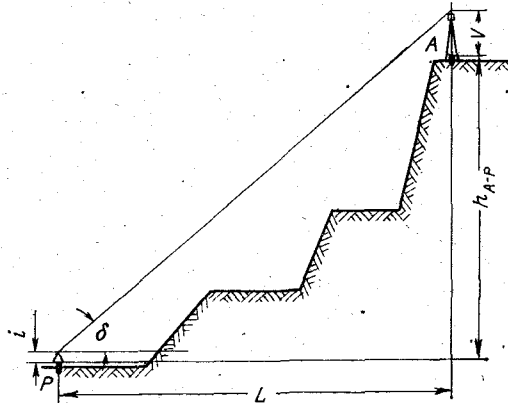


РИС. 137. Тригонометрическое нивелирование
в карьере

должна обеспечивать среднюю квадратическую погрешность отметки $\pm 0,1$ м относительно пунктов опорной сети.

В сетях микротриангуляции параллельно с измерением горизонтальных углов по сторонам сети выполняется тригонометрическое нивелирование. Вертикальные углы измеряют теодолитами с точностью отсчетов приспособлений вертикального круга не ниже $30''$. Теодолитами типа Т2 и Т5 вертикальный угол измеряют одним приемом, теодолитом Т15 — двумя приемами, если расстояние визирования более 1000 м. Высоту инструмента и визирной цели измеряют с точностью до 0,01 м.

Вычисление превышения при тригонометрическом нивелировании между двумя пунктами (рис. 137) выполняется по формуле

$$h_{A-P} = Z_A - Z_P = L \operatorname{tg} \delta + i - v - f, \quad (\text{IX.4})$$

где Z_A, Z_P — отметки соответственно исходного A и определяемого P пунктов; L — горизонтальное расстояние от исходного A до вставляемого P пунктов; i, v — высота соответственно инструмента и визирной цели; δ — угол наклона визирного луча; f — поправка за кривизну Земли и рефракцию, вычисляемая по формуле

$$f = 0,42 \frac{L^2}{R}; \quad (\text{IX.5})$$

$R = 6370$ км — радиус Земли.

При значительных углах наклона (более 20°) поправка вычисляется по формуле

$$f = 0,42 \frac{L^2}{R \cos^2 \delta}. \quad (\text{IX.6})$$

Поправка вводится, если расстояние между пунктами более 700 м.

Точность тригонометрического нивелирования оценивается по формуле

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{m_\delta^2 L^2}{\rho^2 \cos^4 \delta} + m_L^2 \operatorname{tg}^2 \delta}, \quad (\text{IX.7})$$

где m_L — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального расстояния L ; m_δ — средняя квадратическая погрешность измерения угла наклона δ .

Следует иметь в виду, что основная погрешность измерения угла вызывается вертикальной рефракцией луча визирования, проходящего вблизи поверхности уступов. Поэтому расхождение (в сантиметрах) между двумя определениями превышения в прямом и обратном направлениях не должно быть более $0,03L$ при расстояниях до 1000 м; $0,02L$ — при расстояниях более 1000 м, где L — длина линии, м.

Сеть замкнутых полигонов тригонометрического нивелирования уравнивается по способу В. В. Попова. Веся отдельных сторон вычисляются по формуле

$$p_i = \frac{c^2}{L_i^2}, \quad (\text{IX.8})$$

где c^2 — общий множитель; L_i — длина i -й стороны.

При вставке пункта засечкой или полярным способом его отметка определяется минимум дважды. Отклонение любого определения от среднего арифметического значения не должно превышать $\pm 0,2$ м.

Вдоль теодолитных ходов или группы пунктов допускается прокладывать ходы тригонометрического нивелирования, опира-

ющиеся на пункты опорной сети. Длина хода не должна превышать 2,5 км. Превышение между точками хода определяется в прямом и обратном направлениях так, чтобы расхождение (в сантиметрах) двух измерений не превышало $0,04L$, где L — длина линии, м. Допустимая невязка $f_{h \text{ доп}}$ хода тригонометрического нивелирования (в сантиметрах) вычисляется по формуле

$$f_{h \text{ доп}} = \pm \frac{0,04 [L]}{\sqrt{n}}, \quad (\text{IX.9})$$

где $[L]$ — длина хода, м; n — число линий хода.

Во всех случаях, когда по условиям измерений эффективно применять геометрическое нивелирование, следует избегать метода тригонометрического нивелирования как менее точного и более трудоемкого, а использовать техническое нивелирование.

§ 83. СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ НА КАРЬЕРАХ

Назначением маркшейдерских съемок является определение пространственных координат точек различных объектов с целью изображения их на планах, картах и других графических документах. Объектами съемки являются:

элементы горных выработок, например, бровки уступов, разрезных и других траншей, взрывные выработки, развалы взорванных пород, водоотводные каналы, устройства для сообщения между уступами;

разведочные выработки и элементы геологического строения месторождения, видимые в натуре (устья разведочных выработок, точки геологических обнажений, тектонические нарушения, точки отбора проб и измерений мощности);

транспортные и энергетические коммуникации, промышленные сооружения;

отвалы вскрышных пород, склады добытого полезного ископаемого, хвостохранилища.

Точность измерений при съемке должна обеспечивать среднюю погрешность в плане $\pm 0,5$ мм в масштабе плана, а по высоте $\pm 0,2$ м относительно ближайших пунктов съемочного обоснования.

Периодичность съемки зависит от условий и потребностей производства. Как правило, съемка уступов карьера выполняется ежемесячно, остальные объекты снимаются по мере появления изменений.

Методы, применяемые при съемке карьеров, в порядке их распространения на практике следующие: тахеометрический, стереофотограмметрический (наземный и воздушный), способ перпендикуляров и мензульный.

Тахеометрическая съемка является наиболее распространенным способом, отличающимся гибкостью и универсальностью. Недостатком ее является большая доля полевых работ, разрыв во

времени и пространстве между съемкой и составлением плана, низкая производительность. Она применяется для съемки небольших карьеров со сложными условиями съемки, для съемки «мертвых пространств» при наземной стереофотограмметрической съемке или небольших участков карьера, когда применение стереофотограмметрических методов нерационально.

Съемка выполняется с пунктов съемочного обоснования по методике, изучаемой в курсе геодезии. Используются теодолиты-тахеометры, соответствующие по точности теодолиту ТЗ0. Отсчет по вертикальному кругу берется с точностью 1', по горизонталь-

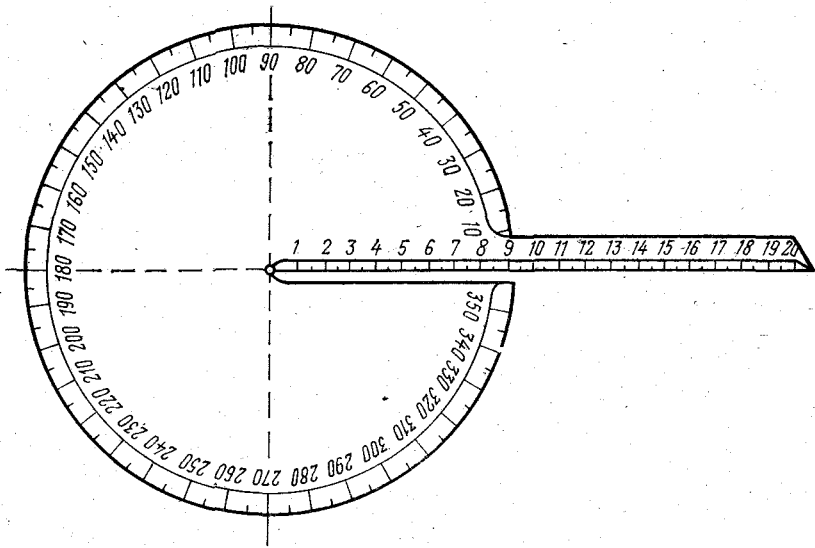


РИС. 138. Транспортир для накладки точек тахеометрической съемки на план

ному — 10'. Расстояние до речных точек при увеличении трубы до 25 \times допускается до 150 м при съемке в масштабе 1 : 1000 и 200 м — при съемке в масштабе 1 : 2000. Рейку устанавливают на всех характерных точках так, чтобы расстояние между речными точками не превышало 30 м.

Результаты измерений заносят в журнал и отражают на абрисе. Вычисление съемки выполняется с помощью тахеометрических таблиц.

Наиболее часто в маркшейдерской практике используются таблицы проф. Д. Н. Оглоблина и И. Я. Рейзенкинда.

Производство съемки облегчается при использовании тахеометров-автоматов ДА-2 (СССР), Дальта 020 (ГДР), Та-Д1 (ВНР).

Результаты съемки наносятся на план транспортиром и линейкой с погрешностью $\pm 0,5$ мм, отметки точек округляются до 0,1 м. Удобен при этом транспортир, изготовляемый из прозрачного материала (рис. 138).

Для съемки недоступных точек и контуров рекомендуется использовать приборы типа ВРТ006 (ГДР) или Д-1м (СССР), позволяющие определять расстояние до точки без установки на ней рейки.

Наземная стереофотограмметрическая съемка. Стереофотограмметрический метод съемки наиболее прогрессивный и производительный. Производительность труда повышается в 5—6 раз по сравнению с тахеометрическим методом. Для выполнения стереофотограмметрической съемки требуется дорогостоящее оборудование, поэтому оно приобретает для крупных карьеров, или для группы предприятий.

Воздушная стереофотограмметрическая съемка. Аэрофото съемка карьеров выполняется с самолета или вертолета специальным аэрофотоаппаратом.

Применение аэросъемки требует некоторой перестройки организации маркшейдерской службы, чтобы высокая производительность аэросъемки использовалась в полной мере. Рационально выделить в рамках маркшейдерской службы группы карьеров специализированную группу маркшейдеров, которая бы по определенному графику выполняла аэросъемку отдельных карьеров и других объектов. Опыт показывает, что один стереометрограф позволяет обеспечить съемку в масштабах 1 : 1000, 1 : 2000 на площади до 150 км² в год.

Подробно вопросы съемки изучаются в курсе фотограмметрии.

Способ перпендикуляров. Способ применяется при наличии вблизи снимаемого контура стороны съемочного обоснования, которое строится в виде теодолитных ходов или прямоугольной сетки.

С характерных точек контура опускают перпендикуляры на сторону съемочного обоснования и измеряют с округлением до 0,1 м рулеткой или лентой длину перпендикуляра и расстояние от его основания до пункта съемочного обоснования. Длина перпендикуляров может быть до 30 м. Если она превышает 15 м, то используется экер. Отметки точек определяют из технического нивелирования.

Результаты измерений заносят в журнал и сопровождают эскизом снимаемой ситуации.

Мензуральная съемка. Мензуральную съемку применяют, как правило, для разовой съемки небольших по размеру карьеров, когда необходимо получить сводный план горных выработок, составленный непосредственно в поле.

Съемку ведут с точек съемочного обоснования, нормы предельных расстояний до пикетных точек, нормы точности и т. д. те же, что и при тахеометрической съемке.

§ 84. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА КАРЬЕРАХ

Маркшейдерская графическая документация состоит из исходных и производных чертежей. Исходные чертежи строятся в единой принятой системе координат непосредственно по результатам

измерений, производные получают путем репродукции и дополнения специальным содержанием. Точность составления исходных чертежей должна соответствовать точности съемки того масштаба, в котором они составляются. Все чертежи делятся на два комплекта:

- комплект чертежей земной поверхности;
- комплект чертежей горных выработок.

План земной поверхности территории экономической заинтересованности горного предприятия составляется на основе топографической съемки в масштабе 1 : 5000 или 1 : 2000. На план, кроме топографической ситуации, наносятся: границы горного и земельного отводов, выходы полезного ископаемого, проектный и фактический контуры карьера, транспортные коммуникации, границы отвалов и складов полезного ископаемого, пункты опорной и съемочной сетей и другие необходимые данные.

Составляют план в планшетной системе на жесткой основе. Разграфка планшетов устанавливается с учетом местных условий. План пополняют по мере необходимости, но не реже одного раза в год.

При необходимости, которая может быть вызвана требованиями более детального изображения отдельных участков и объектов ситуации, составляют:

- план застроенной части земной поверхности;
- план промышленной площадки;
- планы породных отвалов и участков, отведенных под склады полезного ископаемого или хранилища отходов обогатительных фабрик;
- план горного и земельного отводов горного предприятия.

Масштабы этих планов определяются конкретными условиями их применения и находятся в пределах 1 : 5000 до 1 : 500. Для удобства пользования комплектом чертежей земной поверхности в мелком масштабе 1 : 10 000 или 1 : 25 000 составляются: картограмма распределения планшетов съемки земной поверхности; план расположения пунктов опорной и съемочной сетей, а также кроки и схемы конструкции реперов и пунктов.

Планы горных выработок по горизонтам горных работ при наземных методах съемки являются исходными планами горных выработок (рис. 139). Они служат основой для подсчета объемов выполненных горных работ, контроля за правильным их ведением, а также для планирования горных работ. Планы по горизонтам горных работ составляют в масштабе 1 : 1000 или 1 : 2000 в зависимости от размера карьера. Для небольших карьеров производительностью до 1 млн. м³ массы в год либо при сложной и насыщенной геологической ситуации используется масштаб 1 : 500.

На эти планы наносят: сетку координат, пункты рабочего обоснования, контуры верхней и нижней бровок уступа, границы площадей месячной отработки, разведочные линии и выработки, геологическую и гидрогеологическую ситуации, транспортные

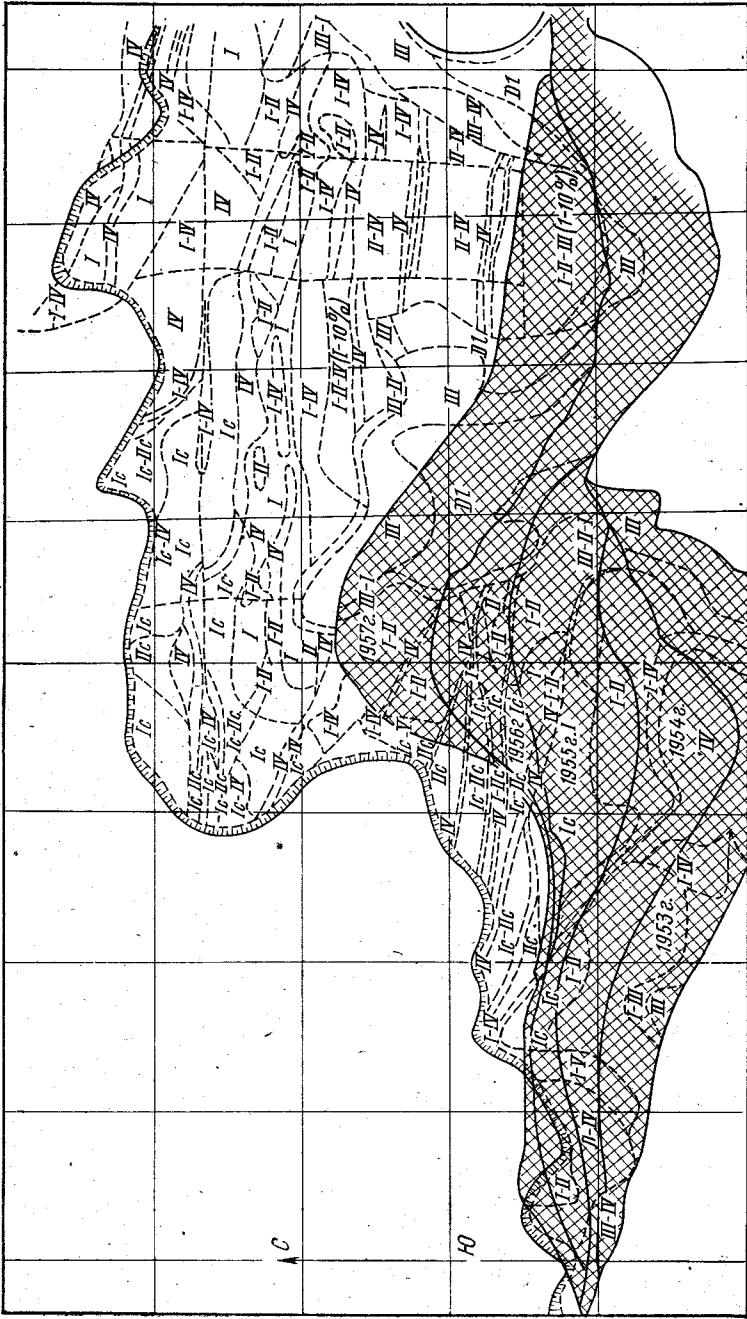


РИС. 139. План горных выработок по горизонту горных работ

и энергетические коммуникации данного горизонта, границы поля карьера для данного горизонта, контуры охранных целиков.

Пополнение планов по горизонтам выполняется не реже одного раза в месяц.

Вертикальные разрезы (рис. 140) составляют в масштабе, принятом для основных погоризонтных планов. Разрезы дают наглядное представление о форме залегания пород и динамике горных работ в карьере. Линии вертикальных разрезов располагают, как правило, вкрест простирания месторождения и приурочивают к линиям разведочных скважин или выработок. Расстояние между разрезами определяется изменчивостью геологических показателей. Разрезы вычерчиваются в соответствии

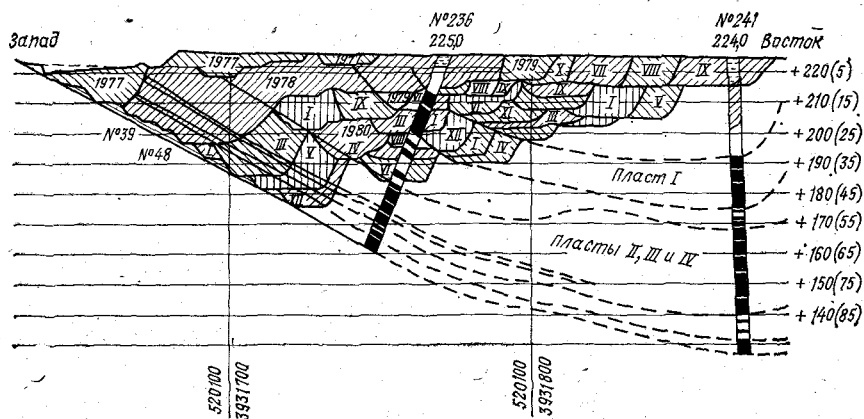


РИС.140. Вертикальный разрез

с принятыми условными обозначениями и пополняются один раз в месяц.

Сводный план карьера (рис. 141) при использовании стереофотограмметрического 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. Масштаб сводного плана 1 : 2000 или 1 : 1000. На сводный план наносится та же ситуация, что и на планы по горизонтам, только положение забоев указывается на последнюю дату съемки, изображается рельеф и ситуация земной поверхности в проектных границах карьера. 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.

Погоризонтные сортовые планы составляют на основе основных планов по горизонтам горных работ, они предназначены, главным образом, для размещения геологической информации в связи

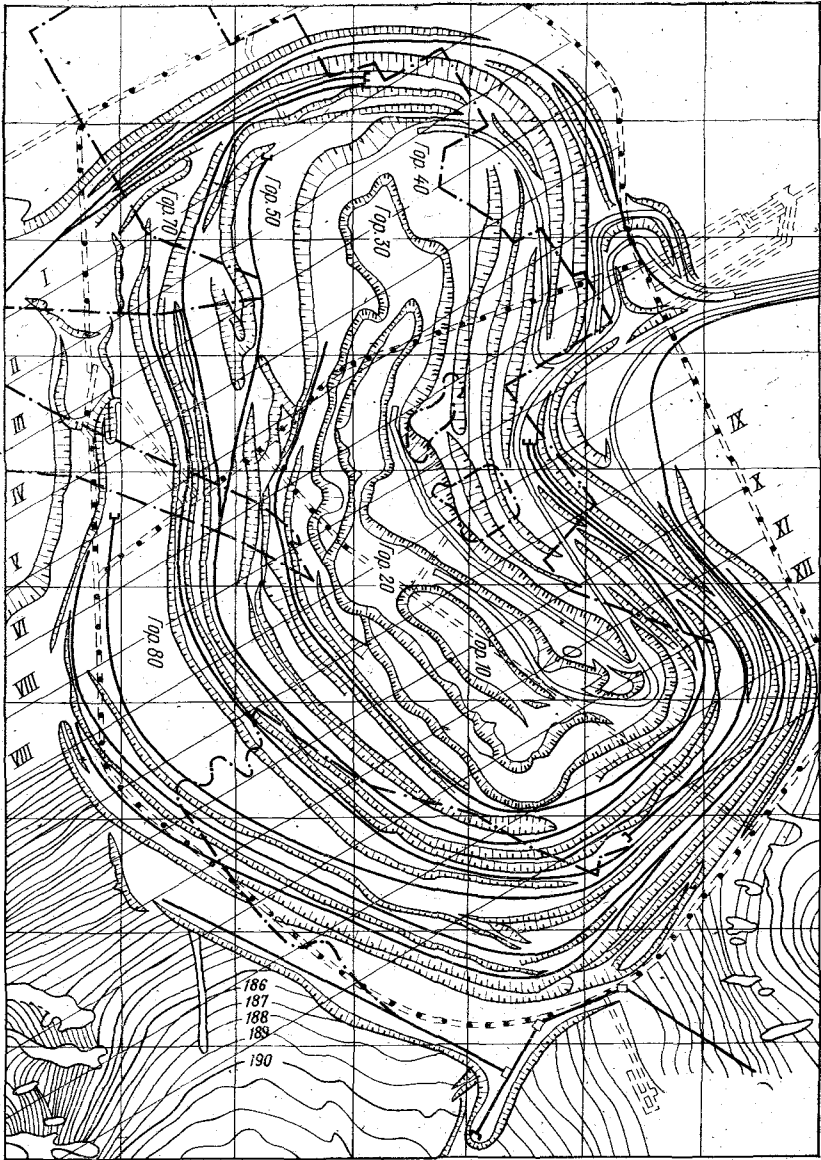


РИС. 141. Сводный план карьера

с тем, что для полного ее отражения и анализа на основных планах не остается места.

Если возможна геометризация качественных свойств полезного ископаемого, то на сортовые погоризонтные планы наносят изолинии равных содержаний, мощностей и т. п.

Продольные профили по осям железнодорожных, автомобильных, троллейвозных и подвесных канатных дорог составляют для отражения и анализа состояния транспортных путей. Горизонтальный масштаб профилей 1 : 2000, вертикальный — в 10 раз крупнее. Пополнение профилей выполняется не реже одного раза в месяц.

Практически со всех чертежей маркшейдерской графической документации составляются копии на прозрачную основу для подготовки графических приложений к плану горных работ и других документов и проектов.

§ 85. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ КАРЬЕРОВ

Строительство или реконструкция карьера производится на основе проекта, разрабатываемого специальными проектными организациями. При составлении технического проекта нового карьера или при реконструкции с прирезкой более 25 % исходных балансовых запасов производится оформление горного и земельного отводов. Более подробно о порядке оформления горного и земельного отводов сказано в § 231.

Проект включает в себя расчетно-пояснительную записку и комплект чертежей, содержащих рабочие чертежи горнокапитальных выработок. В проект входят: геологический отчет с подсчетом запасов и геологической графической документацией, отчет о топографогеодезических работах, включающий крупномасштабные планы, схему опорной и съемочной сетей, каталог координат пунктов и др.

Маркшейдер обязан внимательно изучать проект (особенно его графическую часть и топографогеодезическое обеспечение). Проверить соответствие разбивочных рабочих чертежей генеральному плану, прежде чем выносить в натуру горно-капитальные выработки и сооружения. При обнаружении несоответствия изменения в проект или чертежи вносятся только на основании специального акта, утверждаемого в установленном порядке.

При строительстве карьера некоторую специфику представляют маркшейдерские работы при проведении траншей: вскрышных, водоотливных, дренажных и др. Маркшейдер в натуре разбивает ось траншеи, верхние бровки, поперечники и задает уклон почвы траншеи. Эти работы выполняются на основе проектных материалов, в которых имеется: план траншеи с координатами точек примыкания и поворота, углы поворота и радиусы сопрягающих

кривых, продольный разрез траншеи с указанием фактических и проектных уклонов и отметок.

На поперечных разрезах траншеи показывается последовательность заходов, их сечения, оси, дренажные каналы. В зависимости от условий рельефа, средств механизации, характера пород и т. д. могут встретиться различные схемы проходки траншеи, наиболее типичные из которых изображены на рис. 142, 143.

Задачей маркшейдера при проведении траншеи по крутому склону (рис. 142) является обозначение на местности колыями через 20—50 м линии нулевых работ, т. е. пересечения проектного

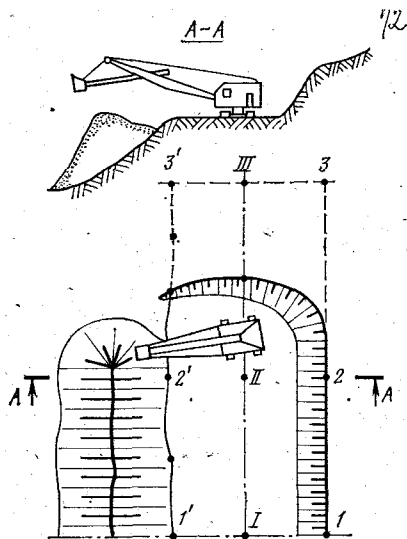


РИС. 142. Проведение траншеи по склону

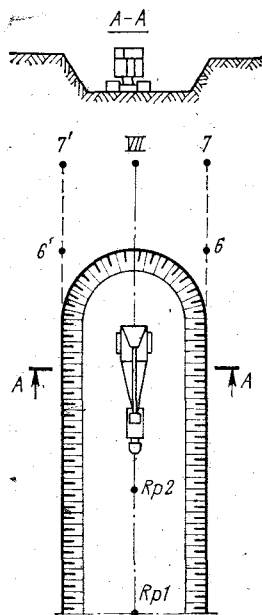


РИС. 143. Проведение траншеи с углубкой

положения почвы траншеи с земной поверхностью. Для этого по проектным координатам начала траншеи выносят от пунктов маркшейдерской сети начальную точку оси трассы. От начальной точки проводят проектное направление оси траншеи и закрепляют его пикетами I, II, III, инструментально определяют точки местности, которые лежат на перпендикулярах к оси трассы и имеют отметки, соответствующие проектному уклону. Это будут точки линии нулевых работ. От точек нулевых работ по проектному горизонтальному заложению ширины траншеи отмеряют с учетом поправки за наклон расстояния до точек верхней бровки и закрепляют их пикетами.

На основании обозначенной в натуре линии нулевых работ разбивают окончательное направление оси траншеи и обозначают

ее положение кольями и вехами. Аналогично поступают при выносе криволинейных участков траншей.

При проведении траншей с углубкой (рис. 143) на местности деревянными кольцами обозначают верхние бровки траншей, а ее ось, кроме того, — вехами, указывающими направление движения экскаватора при проходке.

Уклон траншей задается через 20—30 м реперами, закрепляемыми вдоль оси траншей или с некоторым смещением. Торцы реперов с помощью нивелира устанавливаются на проектные отметки, чтобы можно было с помощью Т-образных визирок следить за соблюдением проектного уклона.

При проходке траншей маркшейдер ведет измерение фактических объемов земляных работ.

Если выемка производится с предварительным рыхлением пород буровзрывными работами, то маркшейдер обеспечивает их проведение, как об этом будет сказано в следующем параграфе.

§ 86. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

При ведении буровзрывных работ на карьере задачей маркшейдера является обеспечение проекта взрыва горно-геометрической информацией, контроль геометрических элементов взрывных выработок, а также качественная и количественная оценка взрыва.

При проектировании отдельных взрывов выполняется съемка и составляется план участка взрыва в масштабе 1 : 1000 или 1 : 500. На плане изображают: положение верхней бровки и границу откоса на нижней площадке уступа, отметки нижней и верхней площадок уступа, контакты пород с различными характеристиками по буримости и взрываемости, тектонические нарушения и направление трещиноватости, положение транспортных и энергетических коммуникаций в районе взрыва.

При необходимости план сопровождается вертикальными разрезами уступа, перпендикулярными к его бровке.

Если взрыв планируется на необработанную горную массу, то на плане показывается положение последнего ряда буровзрывных скважин предыдущего взрыва. Специалисты взрывных работ наносят на план положение взрывных скважин. Проект расположения скважин маркшейдер выносит в натуру и обозначает положение скважин на уступе. Вынос проекта осуществляется полярным способом или способом перпендикуляров. Углы откладывают с точностью до $\pm 5'$, расстояние менее 50 м разрешается измерять дальномером. Длины перпендикуляров измеряют с точностью $\pm 0,1$ м. Допускается использовать комбинацию этих методов, когда полярным способом выносят конечные скважины первого ряда, остальные выносят от полученной линии методом перпендикуляров.

При расположении участка взрыва у проектной границы карьера или в случаях проходки капитальных съездов проектное положение взрывных выработок на площадке уступа определяется инструментально. Отметки устьев взрывных выработок после их разбивки определяют техническим или тригонометрическим нивелированием. По результатам разбивки скважин составляется проект их бурения, в котором указываются для каждой скважины ее основные элементы (рис. 144): h — высота уступа (разность отметок устья скважины и нижней площадки); ω_1 — сопротивление по почве, p — величина перебура и др.

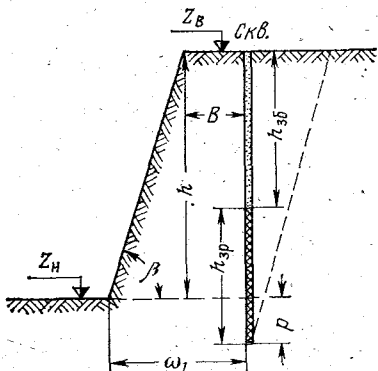


РИС. 144. Элементы буровзрывных работ

После обурирования блока выполняют исполнительную съемку скважин, определяют их глубины и составляют таблицу фактических их элементов.

По материалам исполнительной съемки составляется паспорт взрываемого блока в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000, на основании которого выполняется технический расчет взрыва. К паспорту взрыва прилагается план в масштабе 1 : 5000 взрывоопасной зоны с указанием находящихся внутри зоны сооружений и механизмов.

На всех этапах подготовки и выполнения проекта взрыва маркшейдер контролирует соблюдение геометрических элементов проекта, обеспечение безопасности строений и сооружений вблизи взрыва. Маркшейдер должен браковать взрывные выработки, пройденные с нарушением проекта, не оформлять проект взрыва при нарушении норм безопасности или эксплуатации. После взрыва выполняется съемка взорванного блока, по которой определяют фактический выход взорванной горной массы, коэффициент разрыхления, степень дробления пород, величину развала и др. Наиболее полно и объективно необходимые показатели могут быть получены при применении стереофотограмметрического метода съемки.

Взрывные работы могут использоваться для проведения траншей или для вскрыши. Порядок маркшейдерского обслуживания в этом случае такой же, как и при буровзрывных работах на уступах. Отличие заключается в том, что в этом случае взрывные выработки представляют собой штольни или шурфы со штреками и минными камерами; поэтому вынос в натуру и съемка их осуществляются теми же методами, что и при подземной разработке. Каждый такой взрыв является уникальным, поэтому выполняется по специальному проекту, в котором, кроме основных маркшейдерских графических материалов, составляются продольные и

поперечные геологические разрезы по основным направлениям зоны взрыва.

После взрыва составляют план котлована, подсчитывают объем взорванной горной массы.

§ 87. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСКАВАЦИИ ГОРНОЙ МАССЫ

При выемке горной массы экскаваторами выполняется ее погрузка в транспортные сосуды или перемещение экскаватором в отвал. В каждом из этих случаев для эффективного и безопасного ведения работ должны быть соблюдены определенные геометрические параметры горных выработок (рис. 145).

Высота уступа не должна превышать параметров выемочного механизма, чтобы не образовывались вверху уступа неустойчивые козырьки из разрыхленных пород.

Минимальная ширина рабочей площадки Ш определяется шириной развала Р пород при взрывании, размерами зоны Т

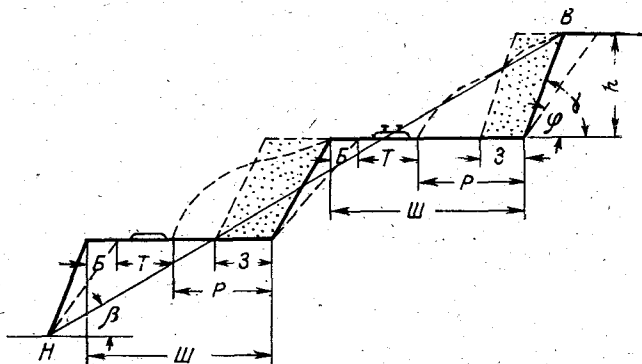


РИС. 145. Элементы борта карьера

безопасной эксплуатации транспорта и охранной бермы Б уступа. Величина Р определяется опытным путем, Т — типом и параметрами транспорта, а Б — рассчитывается по формуле

$$Б = h (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma), \quad (\text{IX.10})$$

где γ , φ — углы соответственно обрушения и естественного откоса уступа.

Угол β наклона линии $НВ$, соединяющий верхнюю бровку верхнего уступа и нижнюю кромку нижнего уступа, называется углом разгона борта карьера. Величина угла β характеризует степень опережения вскрышных работ по отношению к добычным. Предельное значение угла β , допустимое для карьера, называется углом погашения борта карьера и определяется в зависимости от устойчивости пород.

Величины элементов уступов и бортов карьера маркшейдер определяет по результатам съемки и периодически представляет сведения о состоянии горных выработок, где показываются: проектная и фактическая отметки рабочих площадок уступов, ширина рабочих площадок, углы откосов уступов и углы разгона борта карьера и др. По этим данным исправляются участки горных выработок, где имеются отступления от допустимых параметров.

Переэкскавация горной массы производится при наличии внутренних отвалов в карьере или размещении вскрышных пород на внешнем борту. Перемещение горной массы может выполняться многократной переэкскавацией.

На основе проекта переэкскавации с учетом параметра экскаваторов на плане намечают направление хода экскаватора и графически определяют координаты точек поворота хода, выделяя прямолинейные участки трассы. Концевые точки прямолинейных участков выносят в натуру от пунктов съемочного обоснования.

Съемки навалов по каждой заходке производят для определения выполняемых каждым экскаватором объемов.

При определении объемов работ по переэкскавации устанавливают коэффициент перевалки, который равен отношению суммы объемов переваленной породы в отвал к первоначальному объему пород, вынутой из массива.

§ 88. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ УЧЕТ ОБЪЕМОВ ВСКРЫШИ И ДОБЫЧИ

Объемы вынутой горной массы в карьере определяют по результатам маркшейдерской съемки с целью контроля за выполнением государственного плана вскрышных и добычных горных работ и учета движения промышленных запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Оперативный (статистический) учет добычи и вскрыши выполняется по числу отгруженных транспортных сосудов и средней массе (объему) полезного ископаемого (пород вскрыши) в одном сосуде или по результатам взвешивания всех транспортируемых горных пород.

Подсчет числа транспортных сосудов, отгруженных с каждого участка (экскаватора), ведет диспетчерская служба карьера. Объем отгруженной горной массы определяется по формуле

$$V = NV_n K, \quad (\text{IX.11})$$

где N — число емкостей, подсчитанное диспетчерской службой; V_n — паспортный объем емкости; K — коэффициент загрузки емкости.

Коэффициент загрузки периодически определяет маркшейдер путем измерения фактического объема горной массы в транспорт-

ных сосудах, выбранных случайным образом в общем их потоке. Величина определяется для каждого типа транспортных емкостей.

При весовом оперативном учете выполняют взвешивание с помощью вагонных весов всех транспортных емкостей (думпкаров, автосамосвалов) с грузом и после разгрузки. Поскольку для взвешивания требуется сравнительно много времени, то зачастую взвешивание выполняется только для выборочного числа емкостей для определения средней величины их загрузки, а общий вес вычисляется по формуле (IX.11).

При перемещении горной массы ленточными конвейерами с помощью автоматических весов, установленных на конвейере, непрерывно взвешивается горная масса, проходящая над датчиками.

При соответствующем контроле и объективности данных оперативный учет имеет высокую точность и является основным для определения объемов выполненных горных работ, по которым начисляется заработная плата трудящимся.

Маркшейдерский учет объемов горных работ на многих предприятиях из-за недостаточной точности оперативного учета является основным.

Подсчет объемов и взорванных пород вскрыши и полезного ископаемого выполняется по основным планам по горизонтам горных работ следующими способами: объемной палетки; горизонтальных сечений; вертикальных сечений.

Способ подсчета объемов зависит от технологической схемы разработки и вида съемки горных выработок. С п о с о б о б ъ е м н о й п а л е т к и применяется для подсчета объема взорванных пород или отвала (склада), если они изображены на плане в проекции с числовыми отметками или имеют неправильные сложные контуры и поверхности. Объем подсчитывается по формуле

$$V = S \sum_{i=1}^n h_i, \quad (\text{IX.12})$$

где S — площадь прямоугольника палетки; n — число прямоугольников в пределах подсчитываемого контура; h_i — высота слоя измеряемых пород в центре прямоугольника. Объем вычисляют при минимум двух положениях палетки и за окончательное значение берут среднее из всех определений.

С п о с о б о м г о р и з о н т а л ь н ы х с е ч е н и й вычисляют объемы при тахеометрической съемке и при малой изменчивости поверхностей нижней и верхней площадок уступа, используя формулу

$$V = \frac{S_{\text{в}} + S_{\text{н}}}{2} h_{\text{ср}}, \quad (\text{IX.13})$$

где $S_{\text{в}}$, $S_{\text{н}}$ — площади вынутаго блока соответственно по верхним и нижним бровкам; $h_{\text{ср}}$ — средняя высота заходки.

Площади измеряют планиметром по плану, а среднюю высоту определяют как разность средних отметок нижней и верхней площадок уступа. При изменчивости поверхности выемочного блока он разбивается на участки, в пределах которых формула (IX.13) дает достаточную точность.

Рассмотренные выше способы удобны при подсчете объемов по забоям, защищенным от разрыхленной горной массы. В более общем случае следует использовать способ вертикальных сечений, при котором можно выделить однородные участки измеряемого тела. При измерении вынутых объемов по незащищенным забоям площадь вертикального сечения следует разделить на три части (рис. 146):

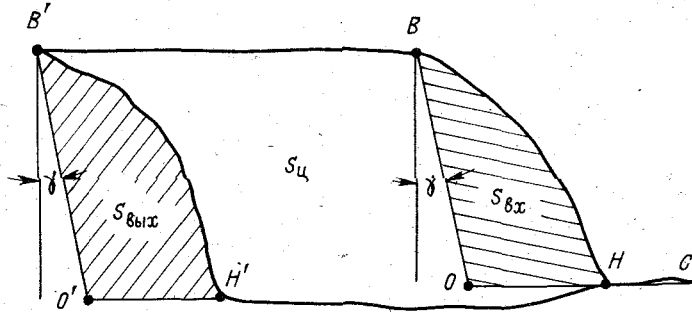


РИС. 146. Схема вертикального сечения выемки на уступе: линия $B'ВНС$ — положение уступа на предыдущую дату съемки; линии $B'Н'НС$ — положение уступа на последующую дату съемки; γ — угол откоса подобранного забоя

$S_{вх}$ — площадь сечения разрыхленной горной массы на предыдущую дату съемки (фигура $ВНО$);

$S_{вых}$ — площадь сечения разрыхленной горной массы на последующую дату съемки (фигура $В'Н'О'$);

$S_{ц}$ — площадь сечения вынутаго целика (фигура $В'ВОНН'В'$).

Объем тела V по параллельным вертикальным сечениям, проведенным через равные интервалы, вычисляется по формуле

$$V = a \left(\frac{S_1 + S_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} S_i \right), \quad (IX.14)$$

где n — число сечений; S_i — площади промежуточных сечений.

Измеряя в каждом сечении площади $S_{вх}$, $S_{вых}$ и $S_{ц}$, по формуле (IX.14) определяют объем $V_{вх}$ и $V_{вых}$ разрыхленной горной массы на предыдущую и последующие даты съемки, а также $V_{ц}$ — объем вынутаго целика. Общий вынутый объем в целике определится по формуле:

$$V = V_{ц} + \frac{V_{вх}}{K_{вх}} - \frac{V_{вых}}{K_{вых}}, \quad (IX.15)$$

где $K_{вх}$, $K_{вых}$ — коэффициенты разрыхления соответствующей горной массы.

Подсчет объемов по формуле (IX.15) имеет то преимущество перед другими способами, что позволяет выполнять его с помощью ЭВМ по числовым моделям открытых горных работ.

Погрешность определения объемов по маркшейдерской съемке определяется следующими факторами: погрешностями аналогии; методическими погрешностями; погрешностями координат съемочных пикетов.

Погрешности аналогии происходят от того, что поверхность, описываемая съемочными пикетами, не отражает всех изгибов и особенностей действительной поверхности вынутаго блока. При применении стереофотограмметрической съемки погрешности аналогии очень незначительно искажают объем, так как плотность съемочных пикетов достаточная, чтобы точно изобразить действительную поверхность. Другие методы съемки приводят к существенному влиянию погрешностей аналогии, если при съемке не будут приняты меры по увеличению плотности пикетов на сложных участках.

Методические погрешности по своему характеру близки к погрешностям аналогии. Например, формула (IX.13) выражает точно объем усеченной пирамиды, которая имеет высоту $h_{ср}$ и площади оснований $S_{в}$ и $S_{н}$. Фактическая же форма выемочного блока отличается от усеченной пирамиды. Методические погрешности уменьшаются разделением выемочных блоков на отдельные сравнительно правильные тела или, например, при применении метода вертикальных сечений уменьшением интервала между сечениями, формула (IX.14).

Влияние погрешностей координат пикетов зависит от формы и размеров блока и густоты пикетов на его поверхности. Дисперсия погрешности объема m_v^2 может быть оценена формулой

$$m_v^2 = \frac{S_0}{3} S (\sigma_x^2 m_{n_x}^2 + \sigma_y^2 m_{n_y}^2 + \sigma_z^2 m_{n_z}^2), \quad (IX.16)$$

где S_0 — средняя величина площади S_i , характеризующая плотность съемочных пикетов; S_i — площадь выпуклого контура многоугольника, образованного линиями, соединяющими ближайшие пикеты вокруг i -го пикета; S — общая площадь поверхности выемочного блока; σ_x^2 , σ_y^2 , σ_z^2 — дисперсии погрешностей координат пикетов; m_{n_x} , m_{n_y} , m_{n_z} — средние квадратические величины по всему блоку проекций единичных векторов нормалей к его поверхности.

Величина S_0 характеризует плотность пикетов и соответствует площади круга с радиусом, равным среднему расстоянию между пикетами. Формой блока определяются величины m_{n_x} , m_{n_y} и m_{n_z} . Если блок, например, — плоский и сравнительно тонкий слой, то m_{n_x} и m_{n_y} будут близки к нулю, а m_{n_z} к единице. Следовательно, погрешности плановых координат пикетов практически не по-

вливают на погрешность объема, а точность отметок определит искажение объема.

Маркшейдерский контроль добычи и вынудой вскрыши осуществляется:

периодическим подсчетом объемов вынутых горных пород по маркшейдерским съемкам и сравнением полученных объемов с соответствующими отчетными данными;

определением по маркшейдерским данным средней полноты загрузки транспортных сосудов с целью повышения точности оперативного учета;

измерением остатков полезного ископаемого на складах и корректировкой по ним книжных остатков.

Объемы остатков на складах определяют на основе маркшейдерской съемки методами, рассмотренными выше.

При контрольном подсчете объемы вычисляются в «две руки», расхождение между двумя независимыми подсчетами не должно превышать 1% определяемого объема.

§ 89. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТРАНСПОРТНО-ОТВАЛЬНЫМИ МОСТАМИ

Транспортно-отвальный мост — это подвижная металлическая конструкция, расположенная перпендикулярно к вскрышному фронту карьера и присоединенная к вскрышным экскаваторам.

Порода вскрыши, разрабатываемая экскаваторами, перемещается во внутренние отвалы с помощью системы ленточных конвейеров, установленных на мосту.

Основными конструктивными узлами транспортно-отвального моста являются: две фермы (пролетная и консольная); две опоры с ходовыми тележками, расположенными на концах пролетной фермы; транспортное устройство и защитное устройство с электрооборудованием.

Транспортно-отвальный мост на одной стороне карьера обнажает полезное ископаемое, а на другой стороне выработанное пространство засыпается породой. Добыча полезного ископаемого происходит в полосе под пролетом и консолью моста во вскрытой части залежи.

Транспортно-отвальные мосты проектируются для определенных условий разрабатываемого месторождения. Поэтому их параметры, способы присоединения к экскаваторам и горизонты расположения опор бывают различные. В большинстве случаев опоры располагаются на разных горизонтах: вскрышная — на площадке вскрышного уступа, а отвальная — на площадке угольного (рудного) уступа или на специально отсыпанном уступе (предотвале) (рис. 147).

При движении моста по вскрышному фронту и при отработке вскрыши в тупике (торце) карьера он должен изменять расстояние между опорами в горизонтальной плоскости, т. е. иметь гори-

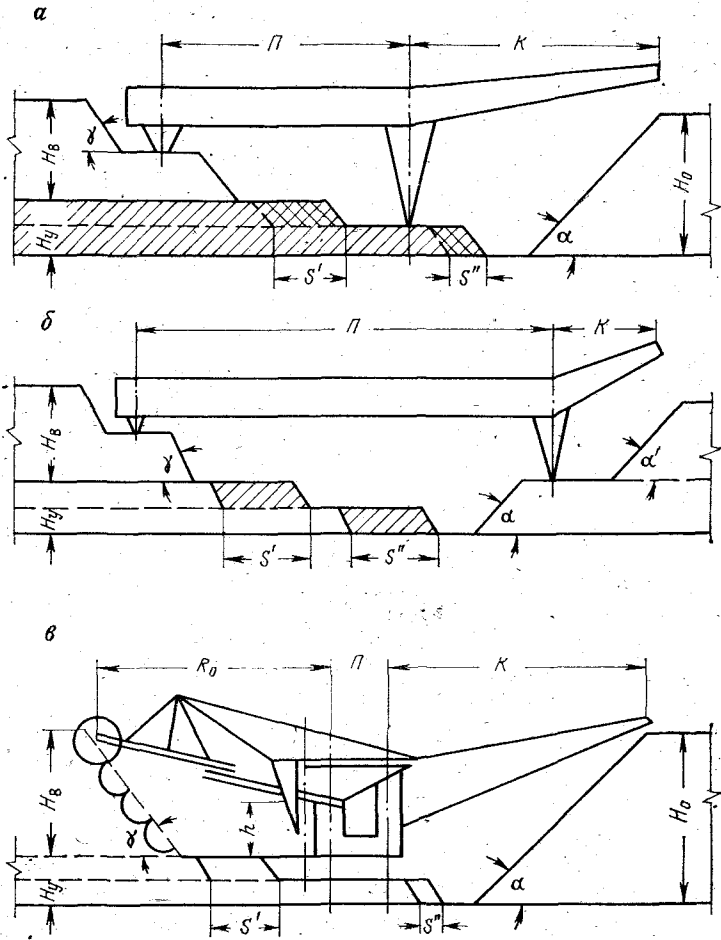


РИС. 147. Транспортно-отвалыные мосты:
 а, б — с опорами на разных горизонтах; в — с опорами на одном горизонте со встроенным роторным экскаватором

зонтальную подвижность и изменять расстояние между опорами в вертикальной плоскости, т. е. иметь вертикальную подвижность. В-противном случае торцы карьера не будут отработаны до проектной границы. Горизонтальная и вертикальная подвижности моста конструктивно ограничены постоянными пределами, превышение которых ведет к автоматическому отключению питания электромоторов моста. Поэтому для недопущения аварийной ситуации

геометрические элементы этих подвижностей контролируются маркшейдерами карьеров систематически путем измерений расстояний между осями ходовых опор в плане и нивелирования рельсовых путей этих опор.

Отвальный мост должен обладать также угловой подвижностью, т. е. способностью отклоняться от положения нормального к фронту, особенно при подходе к тупику карьера. Угловая подвижность контролируется маркшейдером карьера путем съемки моста, измерения угла отклонения его оси от нормали или определения опережения его опор.

Если угловая подвижность моста не обеспечивает полную отработку вскрыши в торце и фронт вскрышных работ будет систематически сокращаться, что недопустимо, тогда мосту при подходе к торцу нужно перемещаться по железнодорожным кривым, которые должны быть тщательно разбиты. Движение моста по кривой контролируется маркшейдерскими съемками и нивелировками.

Во время работы конвейеров и движения моста по рельсам в его конструкциях возникают деформации, для выявления которых маркшейдер карьера должен делать подробную съемку пролетной и консольной ферм, используя геодезические методы и инструменты.

Контроль за горизонтальной подвижностью моста. При контроле за горизонтальной подвижностью моста маркшейдер определяет фактическую длину пролета моста Π , т. е. расстояние между его опорами. При движении моста по фронту длина пролета изменяется от Π_{\min} до Π_{\max} , т. е. в пределах его телескопичности. В торце длина пролета изменяется от Π_{\min} до $\Pi_{\max} \cos \alpha$, где α — максимальный угол отклонения оси моста в плане. Работать мосту на крайних пределах Π_{\max} , Π_{\min} не разрешается.

Фактическая длина пролета Π моста определяется разными способами: графически с плана горных работ, где по результатам поуступной съемки нанесены оси путей забойной и отвальной опор моста; непосредственным измерением с помощью оптических или электрооптических дальномеров; решением обратных геодезических задач по координатам точек; применением прямых засечек или параллактических треугольников. Наиболее удобно применение дальномеров.

Контроль за вертикальной подвижностью моста. Вертикальная подвижность моста дает возможность менять высотные отметки головок рельсов забойной и отвальной опор и позволяет вписывать рельсовые пути опор в рельеф породного и угольного уступов, который постоянно меняется из-за изменения мощностей вскрышных пород и полезного ископаемого.

Вертикальные расстояния h между головками рельсов забойной и отвальной опор моста меняются в пределах его вертикальной подвижности. Работать мосту на крайних вертикальных пределах h_{\min} , h_{\max} не разрешается.

При контроле за вертикальной подвижностью моста маркшейдеру нужно: рассчитывать проектные уклоны i_b и i_o рельсовых путей забойной и отвальной опор моста в соответствии с изменением мощностей вскрышных пород и угольного или рудного пласта; производить нивелировку по головкам рельсов опор моста, вычислять отметки и строить профили по опорам; определять фактические вертикальные расстояния h между головками рельсов опор моста и вносить корректуру f_h , если эти расстояния выходят за пределы допустимых параметров h_{\min} и h_{\max} ; определять зазоры между концом консоли моста и гребнями отвала (по Правилам технической эксплуатации карьеров этот зазор должен быть не менее 3 м).

Проектные уклоны железнодорожных путей i_b и i_o по опорам определяются из выражения

$$i_b L_b = i_o L_o + (h_k - h_n),$$

где L_b и L_o — длины путей вскрышного и отвального фронтов; h_n и h_k — разности отметок головки рельсов опор моста в начальной (Н) и конечной (К) точках.

При вычислении продольного уклона i_b по вскрышной опоре значениями i_o , L_b , L_o , h_n , h_k задаются.

Отметки путей вскрышной и отвальной опор моста на конечном участке фронта работ вычисляются по формулам

$$H_b^k = H_b^n + i_b L_b, \quad H_o^k = H_o^n + i_o L_o,$$

где H_b^n и H_o^n — отметки головок рельсов вскрышной и отвальной опор моста в начальной точке профиля.

При контроле за вертикальной подвижностью моста нивелирование по площадкам вскрышной и отвальной опор моста достаточно делать с погрешностью 0,04 м на 1000 м нивелирного хода.

По результатам нивелировки составляется ведомость, в которой указываются отметки пути вскрышной H_b и отвальной H_o опор моста по проекту и фактические; разности проектных и фактических отметок, корректура и др.

Контроль за угловой подвижностью моста. Когда фактическое расстояние между осями опор после передвижки путей окажется меньшим, чем его параметр Π_{\min} , тогда, чтобы увеличить расстояние между опорами, мост должен несколько развернуться и пройти опасный участок.

К конструктивным элементам угловой подвижности моста, кроме угла α , относятся опережение опор

$$A = \Pi \operatorname{tg} \alpha = \Pi_{\max} \sin \alpha$$

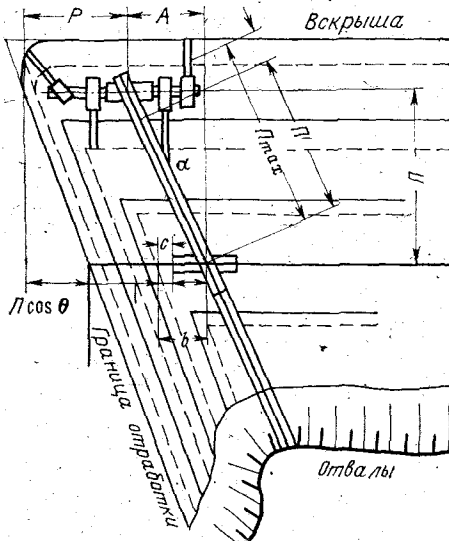
и разность в длинах опор

$$\Delta \Pi = \Pi_{\max} - \Pi = 2 \Pi_{\max} \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Для того чтобы мост в торце смог развернуться на величину угловой подвижности α , нужно расстояние Π между его опорами при подходе к торцу делать не больше $\Pi_{\max} \cos \alpha$ (рис. 148).

Контроль за угловой подвижностью моста заключается в обеспечении отработки вскрыши в торце до границы с разворотом моста в плане на угол, не превышающий α .

Горизонтальная съемка моста. По горизонтальной съемке создаются визирные направления вдоль верхнего и нижнего горизонтальных поясов ферм пролетного и консольного устройств или вдоль любой из ферм моста.



Точки визирного направления располагаются на фермах, а для контроля — также на площадке вскрышного уступа и на отвале, т. е. за пределами моста. Для создания визирного направления используется оптическая труба теодолита с большим увеличением или лазерный визир. Отклонение точек, накерненных на балках, от визирного направления определяется нивелирной рейкой, рулеткой или с помощью ординатомера.

На Байдаковском угольном разрезе съемка моста в плане выполнялась в такой последовательности. На северной стороне верхнего

РИС. 148. Транспортно-отвальный мост в торце карьера

пояса главной фермы была накернена точка A (пояс $23 + 1,5$ м) и точка B (пояс 12). Точки A и B располагались на геометрической оси балок (рис. 149). В створе точек A и B на вскрышном уступе была закреплена точка 1. Под прямым углом к направлению AB на расстоянии 1,2 м от точки 1 была выставлена точка 2, из которой было создано направление, параллельное AB , и на отвале закреплена точка 5.

Под прямым углом к AB на расстоянии 16,7 м от точки 1 была выставлена точка 4. Затем из точки 5 была выставлена точка 6.

Все расстояния измерялись рулеткой с натяжением от руки и с отсчетами по обоим концам. В результате вокруг моста был получен базисный четырехугольник, стороны которого 2—5 и 4—6 служили визирными направлениями при съемке верхнего и нижнего поясов главной фермы пролета и части консоли моста.

Ординаты в узловых точках определялись с помощью бокового нивелирования с горизонтальной рейкой. Отсчеты по рейке бра-

лись через трубу теодолита при двух положениях вертикального круга с предельной погрешностью $2 \cdot 10^{-3}$ м.

Для съемки консольной части моста теодолит устанавливался на точке 6, закрепленной на породном отвале, труба его визирировалась на точку 4, закрепленную на вскрышном уступе. В створе точек 6—4 внизу на горизонте отвальной опоры были выставлены точки A'' , O'' и B'' . Под прямым углом к линии 4—6 на расстоянии 5,9 м от точек 6 и O'' были выставлены точки 8 и 10. Таким же способом с северной стороны моста были выставлены точки 7 и 9. Теодолит устанавливался в точках 7 и 8, а труба его для создания визирного направления направлялась на точки 9 и 10.

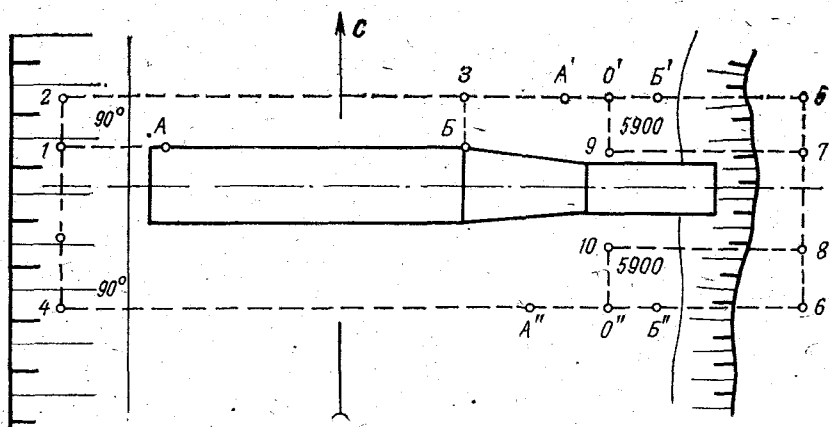


РИС. 149. Горизонтальная съемка моста

Ординаты между визирным лучом и балками фермы определялись с помощью бокового нивелирования. Все линейные измерения делались рулеткой с точностью $(1-2) \cdot 10^{-3}$ м.

Для составления плана все точки координировались в условной системе.

Для съемки нижнего пояса главной фермы по трапам около главного конвейера прокладывался теодолитный ход с относительной погрешностью $1 : 8000$, к которому привязывались все удобные для измерения накерненные точки. Координаты x и y точек вычислялись в единой условной системе. Домеры определялись рулеткой с точностью $1 \cdot 10^{-3}$ м.

Для составления сводного плана верхнего и нижнего поясов съемка верхнего пояса увязывалась с теодолитным ходом нижнего пояса. Для этого визирная ось верхнего пояса привязывалась к точкам теодолитного хода с помощью двух отвесов и линейных домеров рулеткой.

Привязка делалась в начале и конце теодолитного хода. В этом случае можно использовать методику ориентирования через две шахты.

Вертикальная съемка моста. При вертикальной съемке от репера 1 нивелировались железнодорожные пути отвальной опоры по 50—60 м в обе стороны от пролета, а затем с помощью рулетки отметка от головки рельса передавалась на репер 2 отвальной опоры (рис. 150). От репера 2 нивелирный ход шел по точкам горизонтальной съемки нижнего пояса пролетного строения и закреплялся на репере 3 вскрышного уступа. От репера 3 отметка на металлоконструкции моста передавалась рулеткой. Нивелирный ход затем проходил по верхнему и нижнему поясам пролетной и консольной ферм моста и замыкался на репере 1 с невязкой не более $5 \cdot 10^{-3}$ м.

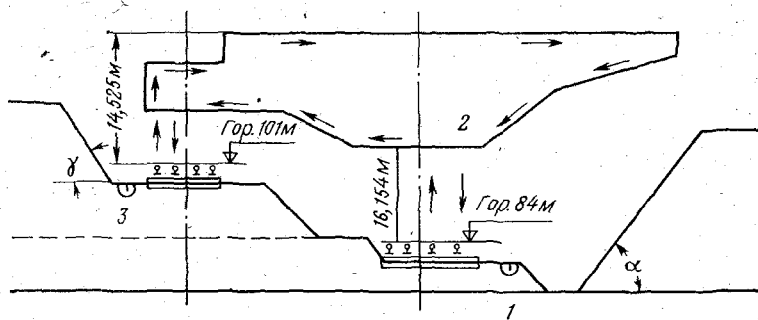


РИС. 150. Вертикальная съемка моста

Для определения деформаций балок в горизонтальной плоскости составлялся план в масштабе 1 : 50 или 1 : 100 для верхнего и нижнего поясов. На плане показывались проектные и фактические контуры ферм моста.

Для определения деформаций балок в вертикальной плоскости составлялся профиль в масштабе 1' : 100 или 1 : 200 для верхнего и нижнего поясов с проектными и фактическими контурами ферм моста в вертикальной плоскости.

После анализа схем определялись слабые узлы ферм и величины деформаций. Для определения упругих деформаций ферм моста вертикальная съемка его делалась в трех положениях консоли: до нагрузки породой, во время нагрузки и после нагрузки. Съемка для определения упругих деформаций заключалась в наблюдении через трубу нивелира рейки или рулетки, установленных в нескольких точках консоли. Как показала съемка моста Байдаковского разреза упругие деформации консоли до и после нагрузки составляли 0,6—0,7 м (те же деформации в ненагруженном состоянии составляли 0,02—0,025 м).

Глава X

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ДРАЖНОЙ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Драги являются мощными и высокопроизводительными в горном производстве машинами, обеспечивающими поточную механизацию добычи, обогащения, получения концентратов и складирования пустых пород в отработанном дражном разрезе (рис. 151).

Разрабатывая и поднимая из забоя при помощи многочерпакового механизма породу вместе с металлосодержащими песками, драга пропускает их через систему обогатительного устройства, в результате чего отделяется и улавливается металл. Промытые породы через отвалообразователи направляются в эфельный и галечный отвалы.

Современные драги классифицируются по следующим признакам:

1) по способу выемки горной массы (в зависимости от конструкции рабочего органа) — черпаковые и землесосные;

2) по мощности, определяемой вместимостью черпака, малой средней и большой мощности с черпаками соответственно на 50—100, 150—250 и 380—600 л;

3) по способу передвижения — свайные, канатные и комбинированные;

4) по роду применяемой энергии — электрические, дизельные и дизель-электрические;

5) по глубине черпания — мелкого, среднего и глубокого черпания на глубину соответственно до 12, 18, 50 м.

Минимальный предел глубины черпания определяется глубиной осадки понтона и зазором (свободным проходом) между понтоном и дном забоя, равным 0,7—1 м.

Последовательность разработки различных участков россыпи драгой определяется принятой системой разработки.

При дражной разработке месторождений полезных ископаемых на маркшейдерскую службу прииска возлагаются следующие основные задачи: контроль выполнения технического проекта разработки россыпного месторождения; создание планово-высотного опорного и съемочного маркшейдерского обоснования; проведение инструментальных маркшейдерских измерений для определения объемов добычи, потерь и разубоживания полезного ископаемого; регулярное пополнение маркшейдерской графической документации; ведение учета и отчетности.

Выполнение указанных задач достигается правильным и своевременным определением геометрических параметров дражного забоя.

Значительные трудности в маркшейдерском обслуживании дражных работ составляют конструктивные особенности дражного

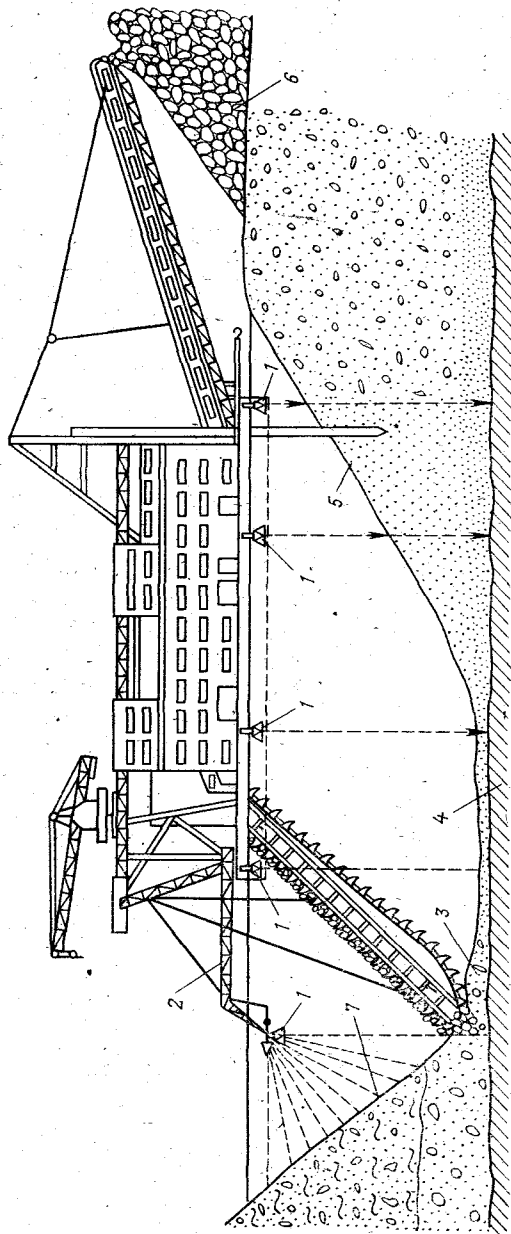


РИС. 151. Схема дражной разработки россыпного месторождения:

1 — акустические системы; 2 — забортное устройство; 3 — рыхлые отложения; 4 — плотик; 5 — эфельный отвал; 6 — га-
лечный отвал; 7 — откос забоя

способа разработки, так как дражный забой залит водой и заложен переработанной горной массой.

§ 90. ПОДГОТОВКА ДОКУМЕНТАЦИИ ДРАЖНОГО ПОЛИГОНА

Решение о строительстве драги на данном месторождении или его участке принимается только по результатам геологической разведки, инженерно-геологических изысканий и проектных проработок.

К разведке и инженерно-техническим изысканиям дражной площади предъявляются следующие требования:

- 1) выявить запасы горной массы и полезного ископаемого;
- 2) определить промышленные контуры дражной площади;
- 3) изучить физические свойства и горно-геологические условия россыпи (глубину и характер напластования, водоносность, гранулометрический состав, характер плотика, глубину сезонного промерзания, наличие вечной мерзлоты, погребенного леса, промывистость торфов и песков, характер распределения полезного компонента в россыпи и др.).

По результатам разведочных работ и инженерно-технических изысканий составляются следующие картографические материалы:

1) топографический план земной поверхности месторождения, подлежащего разработке, составленный в масштабе 1 : 2000 с сечением горизонталей через 1 м;

2) план подсчета запасов в масштабе 1 : 2000 с нанесением геодезической основы, всех разведочных выработок с экспликацией разведочных данных (глубины залегания торфов и песков, среднего содержания на пласт песков и горной массы) по каждой из них, контуров балансовых запасов, границ участков с вечной и сезонной мерзлотой;

3) геологические разрезы по разведочным линиям (горизонтальный масштаб 1 : 2000, вертикальный — 1 : 200). На разрезы наносятся литология пород, распределение содержания металла по глубине, границы продуктивного пласта, границы мерзлоты и таликов, уровень грунтовых вод в разное время года. Отметки устьев разведочных выработок определяются из нивелирования в единой системе высот по всему месторождению;

4) продольный профиль россыпи в том же масштабе, составленный по данным поперечных профилей через наиболее характерные шурфы с нанесением земной поверхности и коренных пород (по нему судят о характере уклона долины и изменчивости залегания плотика россыпи);

5) каталог координат пунктов геодезического обоснования;

6) каталог разведочных выработок, содержащий все данные, полученные при их проходке.

Вся первичная документация передается для утверждения за-

пасов в ГКЗ и предприятиям, ведущим проектирование и эксплуатацию месторождения.

Предприятие, ведущее эксплуатацию месторождения, обязано иметь следующую графическую проектную и исполнительную документацию:

1) до начала работы по каждой из драг составленные и утвержденные в установленном порядке проекты горного и земельного отводов;

2) план горных работ в масштабе 1 : 2000, на который наносятся

- рельеф и ситуация земной поверхности в пределах полигона;
- границы горных и земельных отводов;
- отвалы торфов, гали и эфелей;
- контуры бьефа и горизонтали берегов, дна и плотин бассейнов или водотоков;

- контуры балансовых и забалансовых запасов;
- разведочные линии и выработки по ним;
- траншеи, канавы, дамбы, плотины и перемычки;
- границы выработанного пространства по годам отработки и целики, отнесенные в потери;

- числовые планы или изогипсы плотика;
- геологическая и гидрогеологическая ситуации;
- дренажные выработки и сооружения;
- зоны многолетней мерзлоты;

3) исполнительные продольные и поперечные разрезы по месторождению с нанесением урезов воды, горнотехнических сооружений, обеспечивающих полную отработку месторождения, границ промышленного участка и литологического состава грунтов;

4) генеральный план отработки месторождения (в масштабе 1 : 5000 или 1 : 10 000) с нанесением проектных ходов драги;

5) на предстоящий год проектный план горных работ в масштабах от 1 : 500 до 1 : 2000, на котором детально изображают все необходимые горноподготовительные работы (вскрышу торфов, оттайку сезонной и вечной мерзлоты, работы по охране природы, рекультивации земель, магистрали электро- и водоснабжения, схемы размещения торфяных отвалов, места зимнего отстоя драги и др.)

§ 91. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ

Для всех последующих маркшейдерских работ на дражном полигоне должно быть создано опорное геодезическое плановое и высотное обоснование. *Плановое обоснование* создается в виде пунктов аналитической сети или полигонометрии, заложенных за пределами промышленного контура россыпи. Координаты этих пунктов должны быть определены в единой для всего района системе координат. Возможно также создание планового обоснования путем прокладки теодолитных ходов с применением свето- и радиодальномеров, гироскопических теодолитов.

Высотное обоснование создается путем прокладки ходов геометрического нивелирования IV класса по реперам, а также всем пунктам планового обоснования. От пунктов планового опорного обоснования создается съемочное обоснование. Съемочные сети строят любым из следующих способов: геодезических засечек, полярным, створных линий, теодолитных ходов. Пункты съемочного обоснования располагают с таким расчетом, чтобы при съемке расстояние от теодолита до наиболее удаленной точки дражного забоя не превышало 200 м.

На участке, подлежащем затоплению, пункты съемочной сети закрепляют на достаточно высоких пнях, сваях или на специально отсыпанных бульдозером площадках. При больших объемах работ по закреплению пунктов эти работы включают в проектные объемы горно-подготовительных работ.

От пунктов съемочного обоснования выносятся в натуру проектные данные будущих горных работ. Прежде всего должны быть вынесены в натуру и обозначены опознавательными знаками (вехами), понятными техническому персоналу, драги, границы промышленной части россыпи, увеличенные на ширину откосов.

В натуру выносятся границы площадей, на которых производятся горно-подготовительные работы:

- очистка поверхности полигона от растительности;
- предварительная вскрыша торфов;
- разваловка высоких отвалов при повторной разработке россыпей;

- предохранение пород от глубокого промерзания;

- оттайка пород от вечной мерзлоты;

- работа по регулированию обводненности полигона.

Маркшейдерские работы (изыскательские) до подготовительных работ производят для проектных проработок.

Для контроля за правильностью проекта, учета объемов выполненных горных работ, а также пополнения планов горных работ съемки выполняют в конце месяца или по окончании работ в середине месяца. Способы съемок выбирают в зависимости от характера и объема подготовительных работ, а также в зависимости от условий местности.

В районах вечной мерзлоты, где вскрышу торфов производят бульдозерно-скреперным способом с послойной выемкой пород по мере их естественной оттайки, съемку выполняют способом нивелирования площадей по сетке квадратов со стороной 10 или 20 м, производят также съемку отвалов для определения среднего расстояния транспортировки торфов. При среднемесячной уходке более 1,5 м съемку можно выполнять тахеометрическим или мензульным способами.

При гидроигловом способе оттайки вечной мерзлоты выносят в натуру контур участка оттайки и разбивают основные створные направления магистральных водоводов. Затем от створных направлений производят разбивку отдельных скважин. В процессе

бурения контролируют расстояние между скважинами и глубину их бурения.

При дренажно-фильтрационном способе оттайки производят разбивку в натуре оросительных и осушительных канав, контролируют проходку их в соответствии с проектными размерами и уклонами, выполняют съемку пройденных канав и определяют объемы.

На россыпях с высокой льдистостью пород съемку оттаянного участка производят и в конце оттайки для определения величины оседания поверхности. Эта съемка служит исходной для определения объема драгирования, если на оттаянном участке до начала драгирования не производят вскрышу торфов.

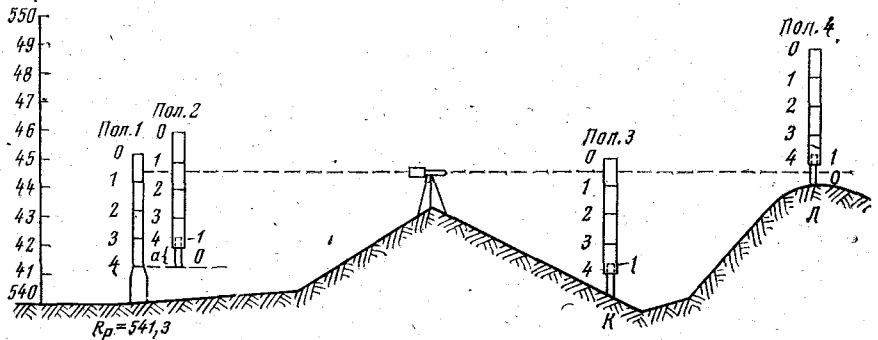


РИС. 152. Упрощенный способ геометрического нивелирования площадей

На многих дражных полигонах с большими площадями, подготавливаемыми к обработке, применяют упрощенный способ геометрического нивелирования (рис. 152). К нивелирной рейке добавляют выдвижную часть, заранее устанавливаемую с учетом условного горизонта инструмента. Подвижной отрезок нивелирной рейки длиной 1,0—1,7 м с помощью специального крепления закрепляется на верхнем конце рейки.

В поле на каждой стоянке определяют условный горизонт инструмента, для чего рейку верхним концом (4 м) устанавливают на исходный репер и берут задний отчет (3). Условный горизонт инструмента находят по формуле

$$ГИ_{ус} = H_R - 3.$$

Так как полученное число чаще всего бывает дробное, то для упрощения полевых вычислений условному горизонту придают отметку с целым числом, а дробный отрезок a вычитают из отметки полученного горизонта и на эту величину (a) удлиняют рейку за счет подвижного отрезка. Тогда

$$ГИ'_{ус} = H - (3 + a).$$

Нивелирование производят так же, как обычной рейкой, с той лишь разницей, что вместо отсчета по рейке получают сразу отметку, прибавляя к условному горизонту отсчет по рейке:

$$H = \text{ГИ}_{\text{yc}}' + \text{отсчет по рейке на точке.}$$

Если горизонтальный луч падает на подвижной отрезок, то необходимо к длине рейки прибавить этот отрезок.

На рис. 152 показана общая схема работы на станции.

П о л о ж е н и е 1. Определяется условный горизонт инструмента. Задний отсчет $Z = 0,6$.

$$\text{ГИ}_{\text{yc}} = 541,3 - 0,6 = 540,7.$$

П о л о ж е н и е 2. Подвижной отрезок установлен на величину $0,7$, таким образом получен условный горизонт инструмента.

$$\text{ГИ}_{\text{yc}} = 541,3 - (0,6 + 0,7) = 540.$$

П о л о ж е н и е 3. Определяется отметка точки K

$$H_K = 540 + 0,5 = 540,5.$$

П о л о ж е н и е 4. Определяется отметка точки L

$$H_L = 540 + 4 + (0,7 - 0,4) = 544,3.$$

§ 92. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МОНТАЖЕ ДРАГИ

Расположение и параметры строительно-монтажной площадки, где производится сборка драги, определяются проектом (рис. 153). Существует два основных способа сборки драги: на берегу водоема и в специальном котловане. На площадке производятся сборка понтона и монтаж драги за исключением передней и задней мачт. Установка мачт, суперструктуры, обогатительного и остального оборудования ведется после ее спуска в водоем, т. е. на плаву.

При подготовке площадки для сборки драги маркшейдер переносит в натуру ее геометрические оси, от которых далее ведет разбивку положений котлована или настила для спуска понтона, всех зданий и вспомогательных сооружений. Все необходимые съемочные и разбивочные работы выполняются в соответствии с проектными чертежами и техническими условиями на строительно-монтажные работы.

При строительстве драги в котловане контур котлована разбивают полярным способом от ближайших пунктов съемочного обоснования. Угловые точки котлована закрепляют временными центрами. Оси котлована и стапеля закрепляют на столбах или обноске за контуром котлована.

Для определения объема земляных работ и контроля за соблюдением проектных размеров котлована и горизонтальности его почвы производят съемку способом нивелирования площадей по квадратной сетке 10×10 м.

После укладки на почву котлована нижних лаг для определения высоты городков нивелированием определяют отметки мест укладки, а после установки городков, верхних лаг и поперечных брусьев проверяют горизонтальность стапеля.

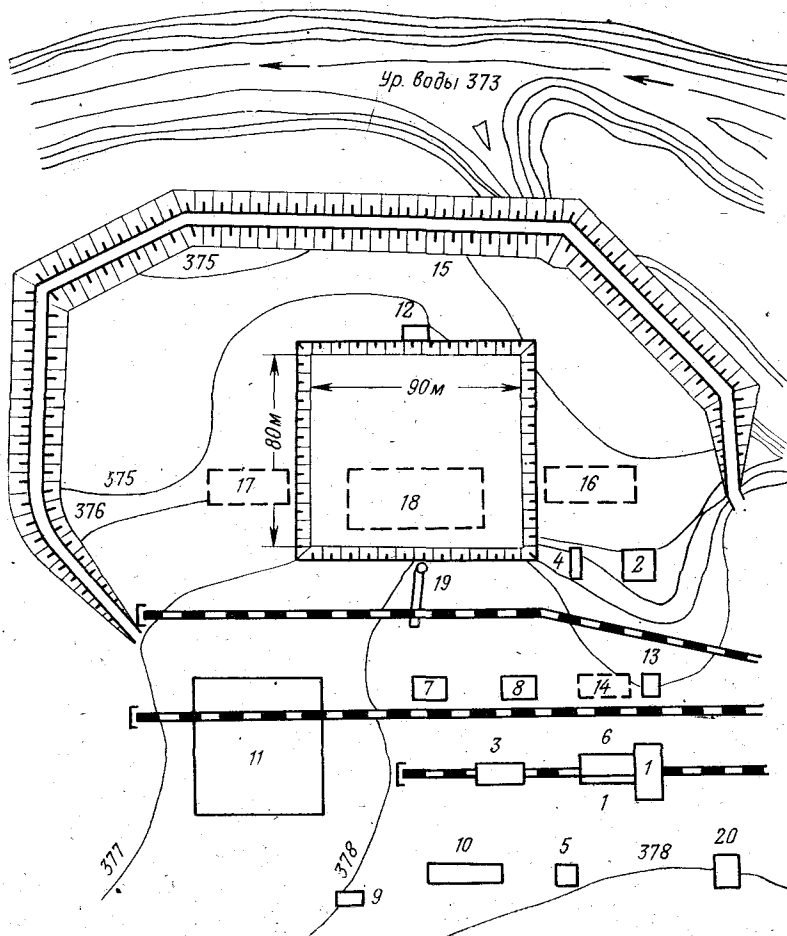


РИС. 153. План строительной площадки и котлована для сборки драги:

1 — контора; 2 — котельно-компрессорная; 3 — столовая; 4, 7, 8 — склады оборудования; 5 — кузница; 6 — сборочная; 9 — склад горючего; 10 — угольный склад; 11 — лесной склад; 12 — насосная; 13 — трансформаторная; 14 — площадка для труб; 15 — насыпь; 16 — настил для черпаковой рамы; 17 — настил для отвалообразователя; 18 — городки для понтона; 19 — кран; 20 — пожарный склад

При строительстве драги на берегу котлована маркшейдер проверяет горизонтальность стапеля и угол наклона настила для спуска драги.

После спуска понтона на воду и установки на нем основных узлов маркшейдер проверяет крен и дифферент (поперечную и

продольную остойчивости) понтона. В практике допускаются углы крена и дифферента не более $1-1,5^\circ$. Для определения углов крена и дифферента понтона на нем отмечают точки 1, 2, 3, 4 (рис. 154).

РИС. 154. Определение углов крена и дифферента драги

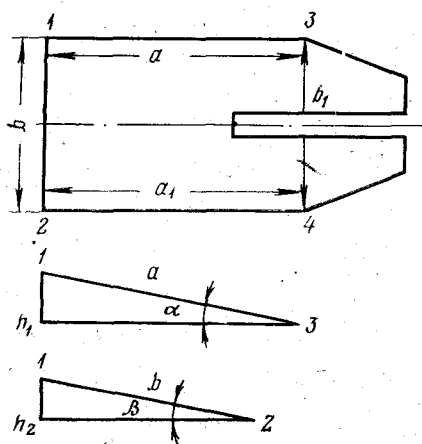
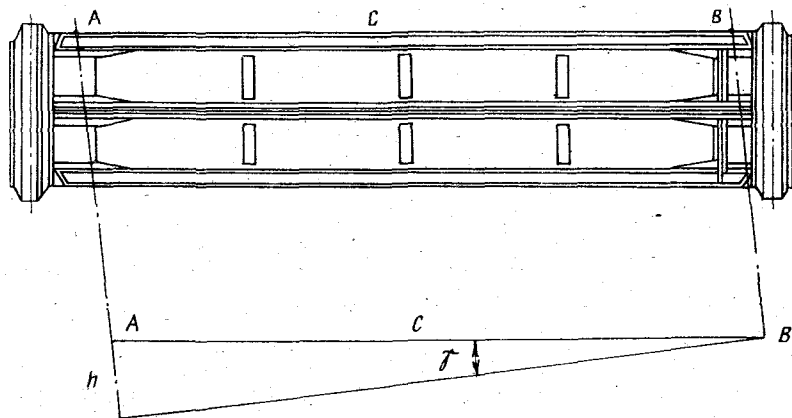


РИС. 155. Определение угла наклона дражной бочки



Рулеткой измеряют расстояние между ними, а нивелиром превышения

$$h_1 = Z_1 - Z_3; \quad h_3 = Z_2 - Z_4; \quad h_2 = Z_1 - Z_2; \quad h_4 = Z_3 - Z_4.$$

Затем вычисляют углы крена α и дифферента β понтона:

$$\sin \alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{h_1}{a} + \frac{h_3}{a_1} \right); \quad \sin \beta = \frac{1}{2} \left(\frac{h_2}{b} + \frac{h_4}{b_1} \right).$$

При сборке отдельных узлов драги (таких как черпаковая рама, передняя и задняя мачты, ферма стакера) проверяют взаимное расположение их основных осей и их общие размеры. Во время установки основных узлов на понтоне контролируют положение

основных осей узлов относительно осей понтона, соблюдая допуски, указанные в технических условиях на монтажные работы. Погрешности измерений не должны быть более половины допустимых отклонений осей узлов и деталей относительно проектных положений, установленных в технических условиях на сборку драги.

Маркшейдер проверяет угол наклона бочки драги, для чего на ее поверхности выбирают две точки A и B (рис. 155), лежащие в одной вертикальной плоскости. Рулеткой измеряют расстояние c между ними, а нивелиром — превышение h . Тогда угол наклона оси бочки

$$\sin \gamma = \frac{h}{c}.$$

В вычисленный угол вводят поправку за дифферент дражного понтона. При дифференте понтона на нос

$$\gamma_0 = \gamma + \alpha.$$

При дифференте на корму

$$\gamma_0 = \gamma - \alpha.$$

Угол γ_0 устанавливается проектом и находится в пределах $6-8^\circ$.

Таким же образом производится проверка шлюзов обогатительного комплекса драги. Проверка углов крена, дифферента понтона, бочки и шлюзов производится и в процессе работы драги (особенно после ее ремонта или модернизации).

§ 93. СЪЕМКА ДРАЖНОГО РАЗРЕЗА

Поскольку при движении драга заваливает выработанное пространство, то для контроля за ведением горных работ в проектных границах и для определения объемов систематически по мере подвигания драги ведут съемку незаваленной части дражного забоя.

Съемка бортов дражного разреза должна производиться в момент их образования, т. е. до нарушения оползневыми явлениями. Современные драги средней мощности подвигаются на 10—12 м в сутки. Маркшейдерская съемка верхней бровки производится через 2—3 суток или 20—30 м подвигания драги. Этот срок достаточен для сохранения формы забоя и почвы выработки.

Самым распространенным способом съемки верхних границ дражного разреза является тахеометрический. При этом методе контурные точки границ дражного разреза снимают полярным методом или угловыми засечками. Точность измерения элементов тахеометрической съемки определяется масштабом плана, составляемого по ее результатам, который обычно принимается равным 1 : 1000 или 1 : 2000.

Дальномерную рейку устанавливают на расстоянии 1—3 м от бровки с последующим корректированием положения точек при

наложении их на план. Реечные точки набирают в характерных местах через 10—30 м, а при съемке подводного борта — через 10—20 м.

При съемке затопленной верхней бровки реечник находится в лодке или на подвесном мостике драги и рейкой нащупывает контур верхней бровки. Съемку дражных выработок с затопленными бортами производят от пунктов съемочного обоснования, расположенных за пределами водоема на плотинах, отвалах или специально созданных искусственных сооружениях. Нередко тахеометрическую съемку верхней бровки производят с палубы остановленной для этого драги. Точку стояния инструмента в этом

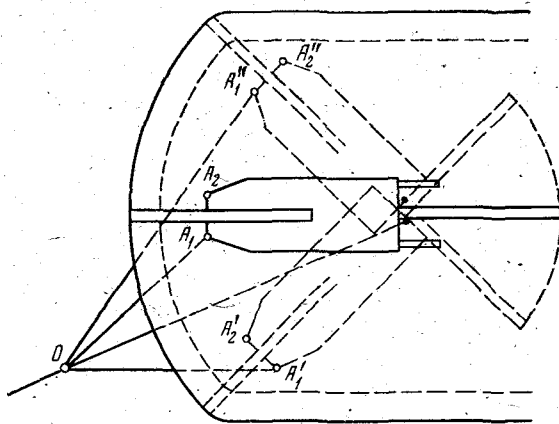


РИС. 156. Съемка затопленной верхней бровки уступа

случае определяют обратной засечкой. При каждой съемке верхней бровки определяют отметку уровня воды в дражном разрезе и изменяют глубину черпания.

При затопленной верхней бровке применяют также способ съемки, предложенный И. И. Пацевым. С пункта съемочного обоснования тахеометрическим способом фиксируют положение рабочей сваи и отдельные (крайние и промежуточные) позиции драги в забое. Для этого снимают вспомогательную точку A_1 или A_2 (рис. 156). Расположение вспомогательной точки можно комбинировать в зависимости от конкретных условий съемки. На план наносят положение рабочей сваи и точку A_1 или A_2 в крайних и промежуточных позициях драги в забое. Положение забоя определяют с помощью макета драги из оргстекла. Макет изготавливают в масштабе плана, сохраняя все основные размеры драги. На макете обозначают точки A_1 и A_2 , а также оси сваи O_1 и O_2 . Совмещают макет в точке O_1 или O_2 и поворачивают его до точек A_1' и A_2' и отмечают по проекции черпаковой рамы (шкале заложения черпаковой рамы, размещенной на прорезе макета) точки, соответ-

ствующие имевшейся глубине черпания, наносят весь контур дражного забоя при данной глубине черпания.

Определение контура нижней бровки забоя дражного разреза. Непосредственная съемка нижней бровки уступа дражного разреза наиболее затруднительна, поскольку нижняя бровка всегда находится под водой. Контур этой бровки не является четко выраженным и может быть зафиксированным с точностью не более 0,5 м. Известно несколько способов определения положения нижней бровки.

По способу, предложенному К. С. Ворковастовым, под верхней площадкой передней мачты (рис. 157) устанавливают в вертикальной плоскости, проходящей через ось черпаковой рамы, специальный брус — рейкодержатель длиной 10—12 м с нанесенной шкалой заложения лобового откоса. В этом случае тахеометрическую съемку производят по дальномерной (проектирующей) рейке. Рейку во время съемки подвешивают непосредственно над нижним черпающим барабаном (НЧБ).

В практике наиболее распространено контур нижней бровки наносить на план горных работ драги от снятого контура верхней бровки путем отложения величины откоса.

$$a = H \operatorname{tg} \beta.$$

Угол откоса β определяют заранее для каждой драги и определенных горно-геологических условий. Съемку для определения откосов дражных полигонов производят, измеряя с лодки или трапа драги глубину и расстояния. Рейку с метровой градуировкой укладывают с лодки на воду перпендикулярно к бровке, концы ее снимают тахеометрически. Затем с лодки лотом или метрштоком измеряют глубину H через каждый метр. По результатам измерений составляют профиль откоса и графически или аналитически определяют горизонтальное расстояние $a_{\text{ср}}$ и глубину $H_{\text{ср}}$, по которым определяют угол откоса

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a_{\text{ср}}}{H_{\text{ср}}}.$$

Имея угол β и измеряя глубину H_1, H_2, \dots, H_n , вычисляют заложение откосов a_1, a_2, \dots, a_n .

Поскольку верхняя бровка уступа, снятая тахеометрически, уже имеется на плане, то откладываемая отрезки a_1, a_2, \dots, a_n , легко построить плановое изображение нижней бровки уступа.

Расчет шкалы заложений наклона черпаковой рамы производят графически или аналитически, исходя из конструктивных размеров драги. Через каждый метр глубины черпания определяют горизонтальное расстояние между центром НЧБ и проекцией центра ВЧБ. Аналитический расчет производят по формуле

$$l_n = \sqrt{L_p^2 - H^2},$$

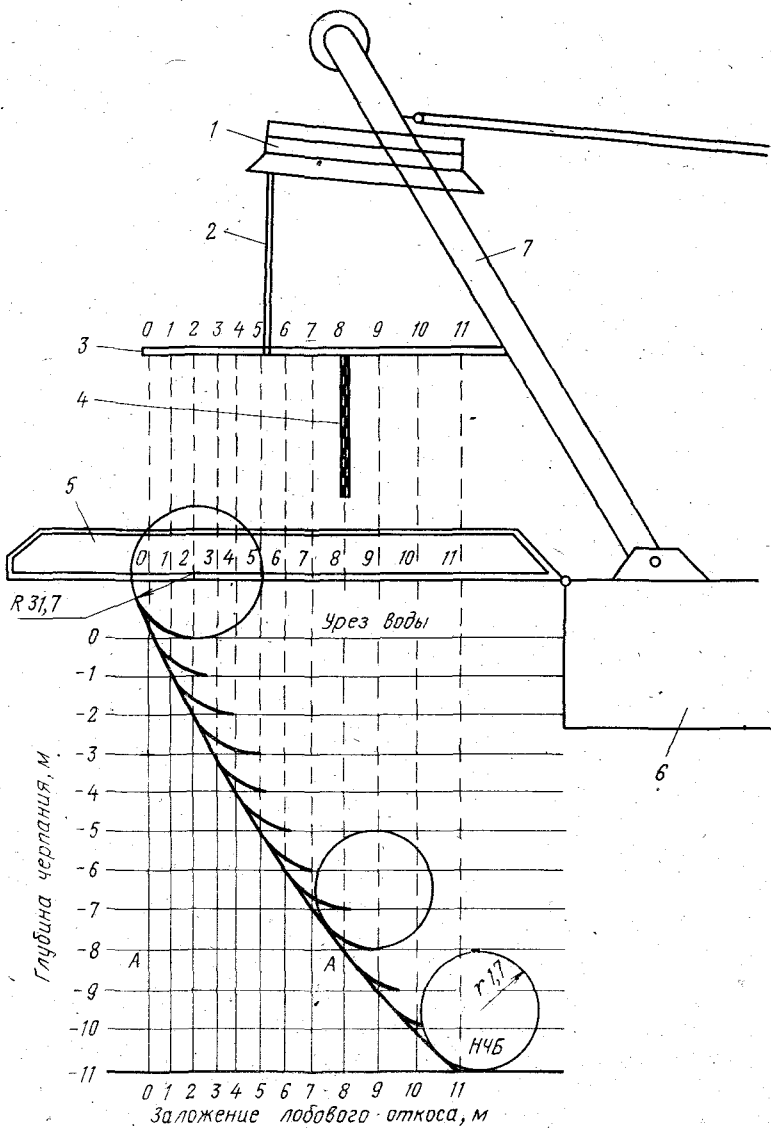


РИС. 157. Разметка шкалы заложения откоса по наклону черпаковой рамы драги:

1 — площадка передней мачты; 2 — подвеска рейкодержателя; 3 — рейкодержатель; 4 — подвесная рейка; 5 — трап; 6 — понтон; 7 — передняя мачта

где l_n — горизонтальное расстояние между центрами НЧБ и проекцией центра ВЧБ на глубине n , м; L_p — расстояние между центрами НЧБ и ВЧБ по паспорту драги, м; $H = h_b - r_p + h_q$ — вертикальное расстояние между центром НЧБ и проекцией центра ВЧБ, м; h_b — высота центра ВЧБ над уровнем воды в дражном разрезе, м; r_p — радиус резания на НЧБ, м; h_q — глубина черпания, м.

Пример расчета шкалы заложений наклона черпаковой рамы драги ИЗТМ 2Ю д (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3

h_q	H	H^2	l_n^2	l_n	$a_n = l_{n-1} - l_n$	$\Delta l_n = l_n - d$
0	10,1	102,10	809,94	28,66	—	9,76
1	11,1	123,21	788,83	28,08	0,38	9,18
...
11	21,1	445,21	466,83	21,61	0,93	2,71
12	22,1	488,41	423,63	20,58	1,03	1,68

Исходные данные: $L_p = 30,2$ м; $r_p = 1,7$ м; $h_b = 11,8$ м; $d = 18,9$ м. Расчет: $L^2 = 912,04$ м; $h_b - r_p = 10,1$ м.

Разметка шкалы заложений на поручнях берегового мостика производится следующим образом. Одно из вычисленных горизонтальных расстояний l_n между центрами НЧБ и ВЧБ (например, при глубине черпания 11 м) уменьшают на величину расстояния d от оси шарнира берегового мостика до горизонтальной проекции центра ВЧБ, т. е.

$$\Delta l_n = l_n - d.$$

Откладывая полученную разность расстояний вдоль поручней берегового мостика (от оси шарнира к забю), отмечают и надписывают деление шкалы заложений, соответствующее данной глубине черпания. Остальные деления размечают от намеченного начального штриха через соответствующие интервалы a_n (табл. 3). При необходимости (большой надводный борт) в интервалы a_n вводят поправки за угол наклона берегового мостика.

Съемка дражного разреза с накладкой на план ее результатов палеткой. Дражная палетка (рис. 158), предложенная М. Д. Лутовиновым, значительно облегчает съемку и последующее построение на плане всех необходимых элементов разреза. Дражная палетка представляет собой пластинку из оргстекла, на которую нанесены в масштабе составляемого плана контур понтона драги, шкала заложений черпаковой рамы, выраженная в глубинах черпания, шкала заложений хвостовых (эфельных) колод и галечного конвейера, выраженная в рабочих углах наклона с учетом выноса гальки в отвал в силу инерции, а также положение свай и двух

маркированных на понтоне точек 1 и 2. На палетке вычерчивают кривые вершины галечного отвала при работе драги на левой и правой сваях.

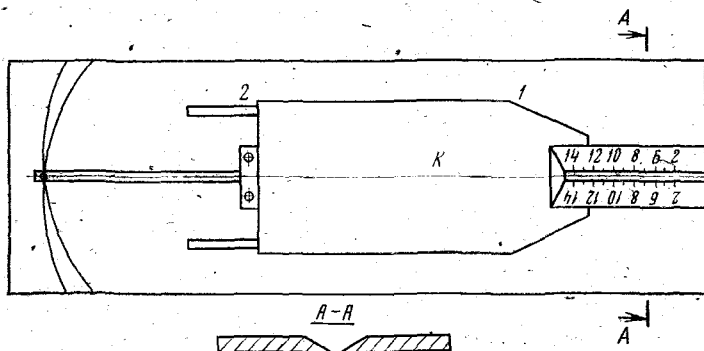


РИС. 158. Дrajная палетка

На палетке делают вырез, соответствующий проекции черпаковой рамы и ряд отверстий для нанесения на план точек забоя. Отверстия для тонкой стальной иглы делают в точках 1, 2 и в местах нахождения обеих свай, на конце галечного конвейера. Длину

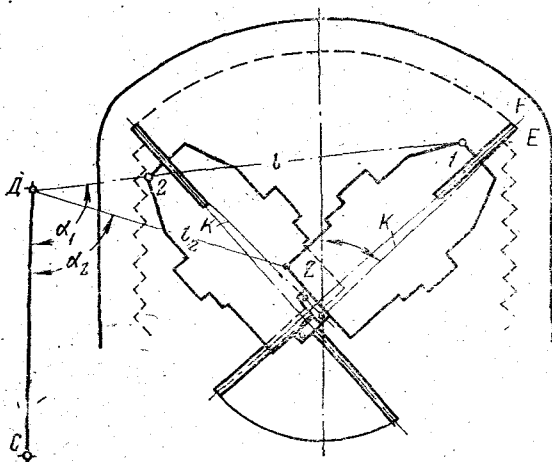


РИС. 159. Съёмка драги при последующем использовании палетки (сплошная линия — верхняя бровка забоя, пунктирная — нижняя)

отрезков шкалы заложения черпаковой рамы находят из табл. 3 или определяют графически.

Полевые работы при съёмке дражного разреза при данном способе заключаются в следующем (рис. 159). Теодолит устанавливают на ближайшей точке съёмочного обоснования и тахеометри-

чески определяют точки 1 и 2, отмеченные на понтоне. Драга при этом должна последовательно находиться в углах забоя. Далее снимают верхнюю бровку забоя и измеряют глубины черпания, отмечают номер забоя и на какой свае производилась разработка забоя.

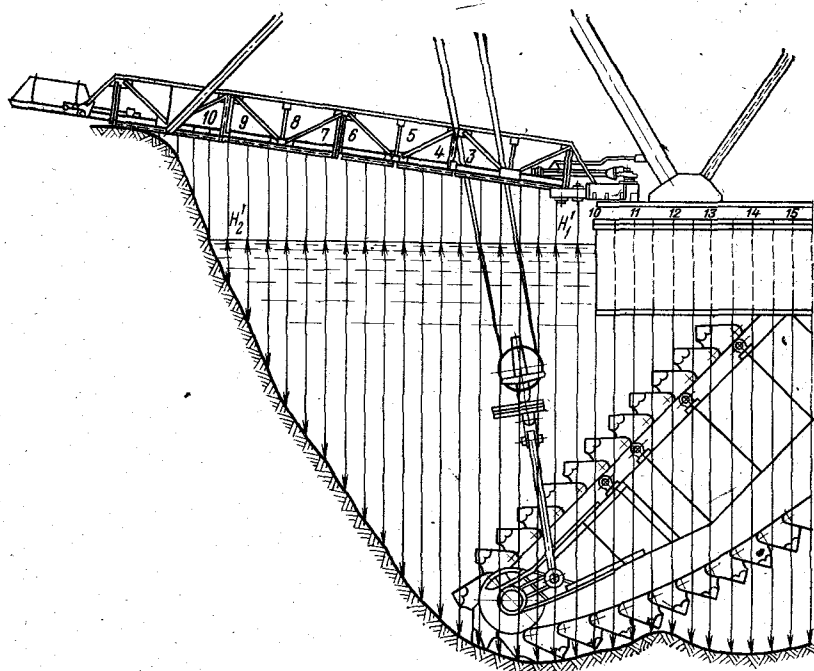


РИС. 160. Измерение глубины с берегового мостика

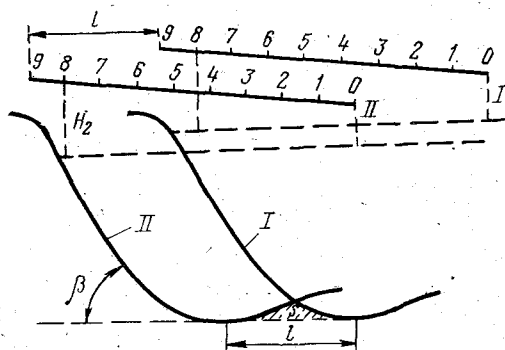


РИС. 161. Графическое определение заложения и угла откоса площадки потерянного межходового целика и фактического шага драги:

I — профиль забоя № 4;
II — профиль забоя № 5;
пунктирная линия — урез воды забоев № 4 и № 5

По результатам тахеометрической съемки на план наносят верхнюю бровку и точки 1 и 2, маркированные на драге и зафиксированные в ее крайних угловых позициях. Палетку накладывают на план так, чтобы точки 1' 2', нанесенные на план, в одном из крайних положений драги совместились с точками 1, 2 палетки.

Затем вставляют иглу в отверстие рабочей сваи и, поворачивая палетку до совмещения с точками 1", 2" второго крайнего положения драги, отмечают границу нижней бровки забоя при данной глубине черпания. Пользуясь иглой, вставленной в одно из отверстий рабочей сваи, палеткой можно воспроизводить на плане любые маневры драги.

На план с помощью палетки наносят границы выработки и отвалов, а также определяют величину привалки бортов дражного разреза эфельными отвалами или решают обратную задачу — по изображениям контура галечных отвалов восстанавливают границы дражного разреза.

Детальная съемка профиля откоса производится для маркшейдерского контроля правильности ведения горных работ, определения фактических потерь и разубоживания полезного ископаемого. Профилировка откоса забоя и почвы дражной выработки осуществляется с берегового мостика драги, на котором для этих целей разбивают базис (рис. 160). Драга останавливается на время измерения в осевой точке забоя. Мостик по возможности устанавливают в горизонтальное положение, а если это невозможно, то измеряют расстояния H_1' и H_2' его концов от уровня воды. Далее с интервалом 1 м по мостику измеряют глубину откоса забоя и почвы выработки. Профилировку забоя делают два-три раза для забоя одной и той же заходки.

Глубину измеряют в тот момент, когда драга актирует забой и производит подшагивание вперед. По результатам измерений составляют детальный профиль откоса (рис. 161), по которому графически определяют угол откоса забоя β , продвижение (зашагивание) драги вперед l и площадь межходового целика (навсегда потерянного) S .

§ 94. ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЧЕРПАНИЯ ДРАГИ

Глубина черпания является важным параметром геометрии дражного разреза. Даже небольшая погрешность в определении глубины приводит к значительным неточностям подсчета объема выработанной горной массы. Измерение глубины дражного разреза осложнено тем, что при работе драги выработанное пространство быстро заваливается промытыми породами.

Непосредственно глубину черпания измеряют простейшими мерными снарядами (рулетка с грузом, штокметр и др.). Непосредственное измерение глубины производят дважды с носовой части понтона от уровня воды в разрезе: один раз с правой стороны понтона при движении драги влево, второй раз с левой стороны при движении драги вправо. Глубину измеряют равномерно по всей площади дражного разреза не реже чем через 10—20 м хода драги, т. е. через 2—4 дня.

При непосредственном определении глубины дражного разреза измеряют глубину черпания и высоту надводного борта. Среднюю

глубину черпания $H_{\text{ср}}$ вычисляют методом среднего арифметического из всех измерений за отчетный период по формуле

$$H_{\text{ср}} = \frac{\sum h_{\text{ч}i}}{n_i} \pm \frac{\sum h_{\text{н}\delta_j}}{n_j},$$

где $h_{\text{ч}i}$ — глубина черпания в точке i , м; $h_{\text{н}\delta_j}$ — высота надводного борта в точке j , м; n_i, n_j — число измерений.

Наибольшее распространение имеет способ вычисления средней глубины по разностям высотных отметок поверхности и дна дражного разреза:

$$H_{\text{ср}} = h_{\text{в, ср}} - h_{\text{д, ср}},$$

где $h_{\text{в, ср}}$ — средняя высота (высотная отметка) поверхности полигона в границах верхней бровки дражного разреза, м; $h_{\text{д, ср}}$ — средняя высота (высотная отметка) дна разреза, м.

В этом случае перед драгированием поверхность дражного полигона нивелируют по пикетам эксплуатационной сетки. Высотные отметки определяют также геометрически, тригонометрически, графоаналитически (по горизонталям плана), стереофотограмметрически и барометрически. Среднюю высотную отметку поверхности полигона и дна дражного разреза вычисляют методом среднего арифметического.

Высотные отметки дна определяют вычитанием измеренных глубин черпания из высотных отметок уровня воды в дражном разрезе на момент измерений. Постоянный контроль уровня воды обеспечивается установкой двух водомерных реек или специального уровнемера (например, ГПН-20). Правильность установки реек или уровнемера проверяется геометрическим нивелированием от реперов высотного обоснования.

Глубины черпания измеряют над точками проекций центра НЧБ вслед за доработкой забоя не менее чем в трех точках (в каждом углу и середине забоя). При сложном рельефе дна глубины измеряют через 10 м ширины дражного разреза по дну. Глубину черпания измеряют с точностью до 0,1 м, а уровень воды — до 0,01 м.

Наиболее достоверными и производительными являются автоматические способы контроля глубины черпания — электромеханический (дражным комплексным прибором — ДКП, разработанным ВНИИ-1, СГИ, Сибцветметавтоматикой) и звуколокационный (разработанный кафедрой маркшейдерского дела ЛГИ).

§ 95. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ЧАСТИ ДРАЖНОГО РАЗРЕЗА

Электромеханический способ измерения. В 1975 г. успешно прошла приемочные испытания система комплексной механизации и автоматизации 250-литровых драг «Драга-1». Одним из важнейших устройств системы является дражный комплексный при-

бор (ДКП-4), предназначенный для автоматического контроля параметров дражного разреза: ширины забоя, глубины черпания и величины зашагивания драги.

В конструктивном отношении прибор ДКП состоит из следующих основных узлов: двухкоординатного регистратора, блока измерения угла поворота, блока питания и пульта управления, датчика глубины черпания и двух концевых выключателей.

Исходя из функционального назначения, прибор ДКП содержит два автономных канала: канал измерения ширины забоя и канал измерения глубины черпания (рис. 162). Указанные каналы идентичны (за исключением первичных датчиков) и представляют

РИС. 162. Блок-схема прибора ДКП-4.

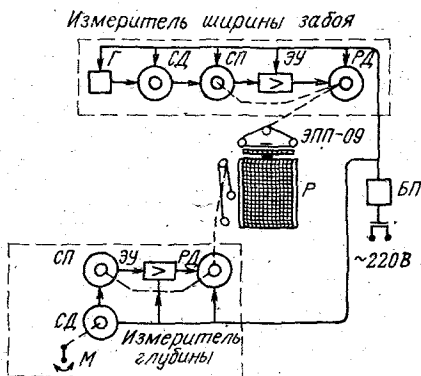
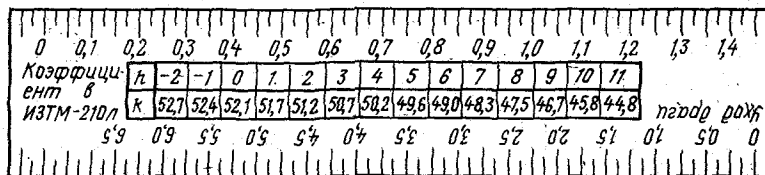


РИС. 163. Масштабная линейка



собой автокомпенсационные системы на бесконтактных сельсинах. В состав каждой системы входят первичный датчик (датчик угла поворота или датчик глубины черпания), сельсинная пара СД и СП, работающая в трансформаторном режиме, усилитель сигнала рассогласования ЭУ и реверсивный двигатель РД с редуктором.

Работа одного из каналов прибора — канала измерения глубины происходит следующим образом. При изменении угла наклона черпаковой рамы на выходе статорной обмотки сельсина-приемника СП возникает сигнал рассогласования. Это объясняется тем, что ротор сельсина-датчика СД удерживается на месте маятником, в то время как статор, кинематически связанный с рамой, поворачивается относительно ротора. Сигнал рассогласования усиливается электронным усилителем ЭУ-109 и обрабатывается реверсивным двигателем РД-09. Одновременно с ротором СП поворачивается ведущий барабан лентопротяжного механизма

двухкоординатного регистратора ЭПП-09 и вместе с ним диаграммная лента. Так происходит запись глубины черпания.

Изменение положения драги по азимуту контролируется гироскопическим датчиком. Схема обработки угла аналогична вышеописанной. Уходы драги при зашагивании контролируются по углу поворота драги. Запись производится на диаграммной ленте в промежутках между «кадрами». По длине записи между «кадрами» судят о величине ухода драги при зашагивании. Запись производится отдельными «кадрами» на диаграммную бумагу с рулона. При переходе на новый забой «кадр» сменяется автоматически. Для этой цели служит двухкоординатный регистратор, в котором угол маневрирования регистрируется с смещением пера самописца, а глубина черпания — смещением диаграммной бумаги.

Визуальный отсчет основных параметров (глубины черпания и ширины забоя) производится по соответствующим шкалам. За начало отсчета принята реперная линия диаграммной ленты, соответствующая уровню воды в дражном котловане.

Линейная шкала глубины черпания градуирована в метрах от уровня воды в котловане, а шкала ширины забоя — в метрах ширины забоя, отсчитанных по дуге забоя на уровне зеркала воды в котловане. Для определения ширины забоя по хорде с учетом глубины черпания необходимо пользоваться масштабной линейкой (рис. 163).

Ширина забоя рассчитывается по формуле

$$H = 2 (R + r \cos \varphi) \sin \alpha,$$

где H — ширина забоя по хорде, м; R — расстояние в плане от центра сваи до центра ВЧБ, м; φ — угол наклона черпаковой рамы от горизонта, градус; r — расстояние от центра ВЧБ до режущей кромки черпаков, м; α — половина угла маневрирования, градус.

Сомножитель $(R + r \cos \varphi) = K$ зависит только от глубины черпания и типоразмера драги. Его значения, соответствующие определенным глубинам черпания, нанесены на масштабную линейку в виде таблицы. Второй сомножитель $2 \sin \alpha = B$ в нелинейном масштабе зависит от угла маневрирования. Для его определения необходимо измерить ширину записи на диаграмме масштабной линейки (шкала «коэффициент B », рис. 163).

Ширину забоя по хорде на данной глубине h (в метрах) определяют как произведение двух сомножителей $H = BK$.

Шкала масштабной линейки рассчитывается по формуле

$$l_d = \frac{2a_k}{\alpha_e} \arcsin \frac{B}{2},$$

где l_d — расстояние от начала шкалы, соответствующее данному B , мм; α_e — угол маневрирования, соответствующий 1 м ширины забоя по дуге на уровне зеркала воды; a_k — линейный размер, соответствующий 1 м ширины забоя по шкале ДКП, мм.

Другая шкала масштабной линейки предназначена для измерения ухода драги при зашагивании. Шкалу рассчитывают по формуле

$$l_d = \frac{2a_k}{\alpha_e} \arcsin \frac{l}{2L},$$

где l — уход драги м; L — расстояние между центрами свай, м.

Датчик глубины черпания предназначен для преобразования угла наклона черпаковой рамы в электрический сигнал и конструктивно представляет собой демпферную камеру. Эта камера разделена на два отсека. В нижнем отсеке расположен маятник, а в верхнем — кулисный механизм для компенсации нелинейности. Маятник связан через кулисный механизм с ротором сельсина-датчика.

Блок измерителя угла поворота (БИУП) предназначен для измерения угла поворота драги относительно заданного направления, указанного гирополукомпасом ГПК-52, и выдачи электрического сигнала, пропорционального указанному углу.

Концевые выключатели предназначены для выдачи сигнала в схему автоматической смены «кадров» в момент нахождения сваи в нижнем положении.

Из-за вариаций магнитного поля Земли возникают технические трудности при определении местоположения рабочего органа драги по ширине забоя. Поэтому ВНИИ-1 (Л. В. Пращ и А. А. Цирер) разработал и изготовил образец оптического датчика угла поворота драги (ОДУП-1), предназначенный для автоматического контроля угла поворота драги с выдачей информации на регулирующий прибор, взамен гирополукомпаса ГПК-52.

Канд. техн. наук В. Г. Лешковым и инж. А. Н. Веремием разработано фотоэлектронное устройство для определения скорости бокового перемещения и местонахождения драги в забое.

В обоих случаях использован принцип измерения угла поворота драги относительно неподвижного источника света, расположенного на борту дражного разреза.

Звуколокационный способ измерения подводной части дражного разреза. Локационные работы для измерения параметров дражного разреза выполняются как с лодки (рис. 164), так и с драги (см. рис. 151).

В комплект дражного звуколокатора входят: основной прибор (генератор, усилитель, блок горизонтального масштабирования), самописец, акустические системы, забортные устройства для установки акустических систем на драге или на лодке.

Дражный звуколокатор предназначен для съемки подводной части дражного разреза, определения затопленных границ выработанного пространства и глубины черпания, полноты выемки, периодического контроля за подыливанием и подэфеливанием драги.

Принципиальная схема звуколокационной установки приведена на рис. 165. Электродвигатель M вращает барабан B , на котором натянута стальная спираль, выступающая на 0,3 мм над поверхностью барабана. В момент касания спиралью барабан пишущей планки против нулевого деления D разрывает контракт $Ш$. При

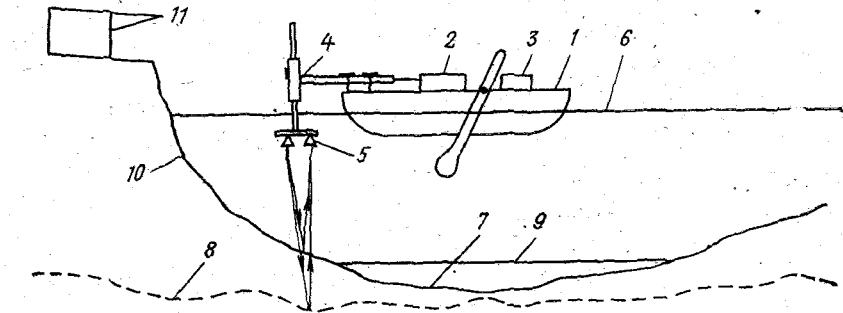


РИС. 164. Схема звуколокационной съемки с весельной лодки:

1 — лодка; 2 — звуколокатор; 3 — источник электропитания; 4 — забортное устройство; 5 — акустическая система; 6 — уровень воды; 7 — поверхность черпания; 8 — верхняя поверхность плотика; 9 — верхняя поверхность иловых отложений; 10 — откос забоя; 11 — створные веши

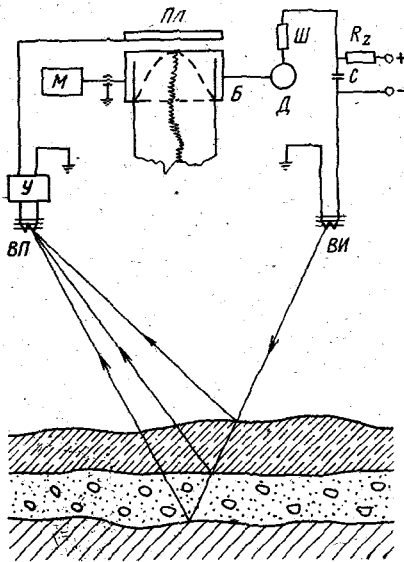


РИС. 165. Принципиальная схема звуколокационной установки

этом заряженный до высокого напряжения конденсатор C разряжается на обмотку вибратора-излучателя $ВИ$. Механические колебания пакета-излучателя в свою очередь вызывают упругие колебания воды. Ультразвуковые колебания распространяются в воде со скоростью в среднем 1500 м/с, достигают препятствия (откоса, плотика и др.), отражаются от него и воздействуют на вибратор-приемник $ВП$, в обмотке которого индуцируется электродвижущая сила. Слабые напряжения сигнала увеличиваются усилителем $У$ и идут на печатную планку $Пл$.

Звуколокационную съемку обычно производят при холостом ходе драги. При ежесуточной (текущей) съемке перед зашагиванием драги определяют глубину черпания и мощность донных отложений.

Контрольную съемку выполняют ежедекадно или ежемесячно при маркшейдерских измерениях объемов переработанных драгой пород. При этом определяют все параметры дражного котлована или полигона.

Съемку предзабойного пространства с использованием забортного устройства, установленного на береговом мостике, производят по радиальным профилям перпендикулярным к линии забоя, прокатывая акустическую систему от драги к забою и обратно.

Съемку забоя можно производить также по дуговым профилям с зафиксированной кареткой при холостом ходе драги.

Камеральная обработка результатов измерений состоит из обработки материалов привязки створов и засечек; обработки эхограмм; нанесения данных с эхограмм на профили или планы и вычерчивания рельефа подводной части дражного разреза.

Обработка эхограмм включает в себя расшифровку, масштабирование и измерение горизонтальных и вертикальных расстояний, необходимых для построения профилей.

Исходной для отчета вертикальных расстояний является верхняя линия, соответствующая электрическому нулю. Эта линия отражает момент посылки звукового импульса. Глубину в той или иной точке профильной линии относительно поверхности воды определяют из выражения

$$H = H' + \Delta H,$$

где H' — расстояние между записью нуля и записью поверхности отработки на эхограмме с учетом ее вертикального масштаба; ΔH — величина погружения акустической системы относительно поверхности воды, м.

На эхограмме четко фиксируется линия, разделяющая жидкую и твердую среды (поверхность фактической отработки). Следующая хорошо выделяемая поверхность — граница между плотиком россыпи и рыхлыми отложениями. На эхограмме отчетливо отражается верхняя поверхность осевшего на дно ила.

Вертикальный масштаб эхограммы получают из соотношения

$$m_v = \frac{C_p}{0,5C},$$

где C_p — скорость развертки, м/с; C — скорость распространения звука в данной среде, м/с.

Горизонтальный масштаб эхограмм определяют по формуле

$$m_r = \frac{l}{L},$$

где l — расстояние между оперативными отметками на эхограмме; L — расстояние между соответствующими промежуточными точками в натуре, м.

Обработку и построение промерных профилей производят в следующем порядке:

на эхограмму введением поправки ΔH (величины погружения акустических систем) наносят линию уровня воды в котловане;

на профиле проводят линию уровня воды, а также по результатам горизонтального масштабирования или материалам геодезической привязки накладывают промерные точки;

откладывают масштабированную глубину H точек почвы, которую определяют по формуле

$$H = kmnm_b,$$

где k — коэффициент тарировки (определяется из соотношения глубин разреза, измеренных звуколокатором и рулеткой с грунтом); m — число миллиметров в одной клетке эхограммы; n — число клеток между нулевой линией и почвой котлована или дражного полигона; m_b — вертикальный масштаб эхограммы;

от линии почвы последовательно откладывают масштабированную мощность слоев донных отложений.

Оформление профилей не отличается от оформления других профилей маркшейдерской графической документации.

Автоматические способы не исключают маркшейдерских замеров, но упрощают их и повышают эффективность труда. Они также дают техническому персоналу драги «инструмент» для оперативных замеров параметров дражного забоя.

§ 96. ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ДРАЖНОЙ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ

Маркшейдерская графическая документация при дражной разработке россыпей включает:

- 1) планы горных выработок полигонов в масштабе 1 : 2000;
- 2) оперативные планы горных выработок полигонов в масштабах 1 : 500 или 1 : 1000;
- 3) вертикальные разрезы горных выработок полигонов (горизонтальный масштаб 1 : 1000 или 1 : 2000, вертикальный — в 10 раз крупнее);
- 4) обзорный (сводный) план участка россыпи в масштабах 1 : 10 000 или 1 : 25 000;
- 5) план отвалов в масштабе 1 : 2000;
- 6) план изогипс постели россыпи (поверхности плотика) в масштабе 1 : 2000.

Чертежи должны исполняться в соответствии с условными знаками для маркшейдерской, геологической и другой горной графической документации; технической инструкцией по производству маркшейдерских работ, а также условными знаками для топо-

графических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500, утвержденных ГУГК.

План горных выработок полигонов (основной) является важнейшим юридическим и техническим документом. План пополняется ежемесячно по результатам инструментальной съемки. План исполняется на чертежной бумаге высшего качества ручного или машинного отлива, наклеенной на жесткую или мягкую (полотно) основу, или на недеформирующихся прозрачных синтетических пленках. Срок хранения — постоянный. На нем должно быть полно и своевременно отображено состояние горных работ и все изменения земной поверхности в процессе разработок. На эти планы наносят: координатную сетку; пункты планового и высотного обоснования; полигонометрические ходы; границы горных, водных и земельных отводов; отвалы торфов, гали и эфелей; контуры балансовых и забалансовых запасов; горные выработки, шурфы и скважины с их геологической экспликацией; русла рек и ручьев, водоемы; производственные и хозяйственные сооружения; дороги, линии электропередач и связи; границы промышленной части россыпи; границы выработанного пространства по годам отработки и целики, отнесенные в потерю; изогипсы поверхности плотика; геологическая и гидрогеологическая ситуации; осыпи, обрушения, оползни; зоны многолетней мерзлоты и таликов; дренажные выработки и сооружения; горизонтالي рельефа местности с сечением через 1 м (на промышленной части россыпи, где проектируется разработка, горизонтали наносят в карандаше).

Оперативный план горных выработок составляют по мере необходимости с опережением горных работ на один-два года вперед. Пополняется он регулярно, сразу же после обработки полевых измерений и съемок. Этот план хранится на горных участках и служит в основном 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, перечисленные для основных планов. На этот план наносят в карандаше технический проект текущего года.

Вертикальные разрезы вкрест и по простиранию россыпи составляют по разведочным линиям и пополняют ежемесячно. Разрезы служат для полноты характеристики россыпи и геолого-маркшейдерского контроля за полнотой отработки россыпи драгами по глубине.

Обзорный (сводный) план горных работ составляют в масштабе 1 : 10 000 или 1 : 25 000. На него наносят: координатную сетку; пункты планового и высотного обоснования; разведочные линии; границы горного, водного и земельного отводов; картограмму расположения планшетов (основных); русла рек, ручьев и водоемы; дороги, линии электропередач и связи; площади проектных разработок на текущий и ближайшие годы. При изме-

нении перечисленных данных план своевременно пополняется. Например, при дополнении или реконструкции планового обоснования наносятся все вновь созданные пункты.

План служит для решения общих задач проектирования и развития горных работ.

П л а н о т в а л о в (рис. 166) составляют в масштабе 1 : 2000 и пополняют один раз в год обычно в конце эксплуатационного периода (в северных районах страны — на 1 октября текущего года).

На план отвального хозяйства наносят контуры балансовых и забалансовых запасов, русла рек, ручьев и водоемы, дороги, линии электропередач и связи, отвалы (Т — торфяные, Г — галечные, Э — эфельные).

План служит для подсчета запасов металла в отвалах и подотвальных площадях россыпи, подсчета объемов отвалов, подсчета объемов вскрышных и планировочных работ при составлении годовых планов горно-эксплуатационных работ, а также объемов работ по рекультивации земель. Для этого с плана отвального хозяйства вычерчивают кальку высот.

При консервации и ликвидации горных работ контуры отвалов переносят на основные планы горных работ с указанием их объемов. После этого планы отвалов в установленном порядке уничтожают.

Для характеристики формы залегания пласта песков, распределения и концентрации металлов в песках рекомендуется составлять горно-геометрические графики (изогипсы поверхности плотика, изомощности, изолинии содержания металла) в масштабе 1 : 2000. Для дражной разработки россыпей обязательным является план изогипс поверхности плотика.

Полезный формат планшетов в квадратной разграфке принимают: для планшетов в масштабе 1 : 5000 — 400 × 400 мм, для планшетов в масштабах 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 — 500 × 500 мм. Чертежи, кроме тех, которые составляют на планшетах, выполняют на листах форматов от А0 (841 × 1189 мм) до А4 (210 × 297). Исходные чертежи не рекомендуется складывать и свертывать, их хранят в специальных негоряемых шкафах в горизонтальном положении на плоскости или вертикальном — на ребре.

Точность составления исходных чертежей характеризуется данными, приведенными ниже.

Положение пунктов или точек	Предельная величина погрешности, мм
Положение точек пересечения прямоугольной сетки координат	0,2
Положение пунктов маркшейдерской опорной и съемочной сети по отношению к сетке координат	0,4
Взаимное расположение ближайших друг к другу пунктов опорной или съемочной сети	0,6
Положение точек четких контуров по отношению к ближайшим пунктам опорной или съемочной сети	0,6
Взаимное положение ближайших контурных точек	0,8

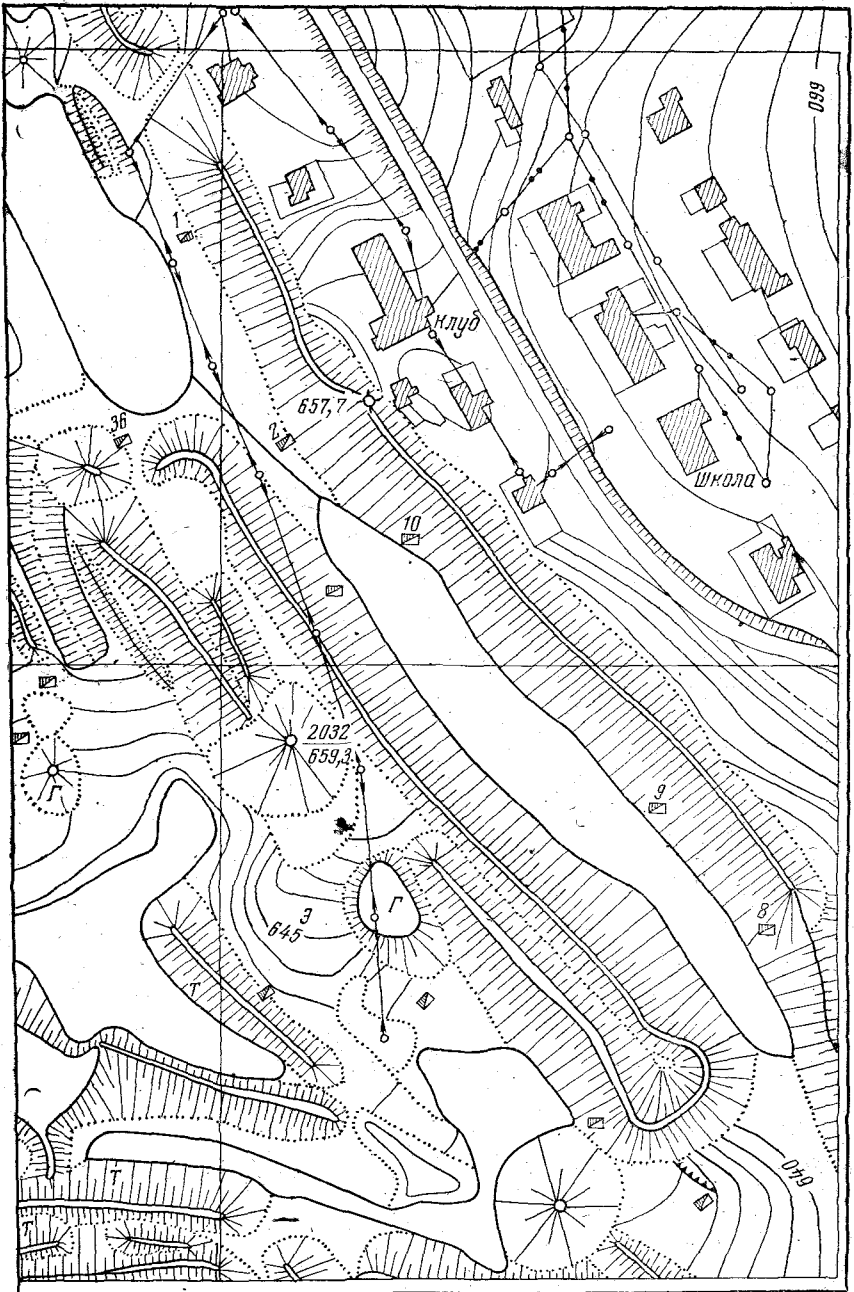


РИС. 166. План отвалов

§ 97. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ
ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДОБЫЧНЫХ РАБОТ

Для определения объема горно-подготовительных работ (снятие растительного слоя и торфов) производят нивелирование по сетке квадратов со сторонами 10 или 20 м до и после производства работ.

Объемы работ подсчитывают на специальных кальках, где выписывают на вершине каждого квадрата отметки, полученные из нивелирования до начала работ и по их окончании. Затем вычисляют разности отметок (уходки за отчетный период) и произведением площади S на среднюю уходку h_{cp} определяют объемы

$$V = Sh_{cp}.$$

При среднемесячной уходке более 1,5 м объемы можно определять тахеометрическим или мензульным способами.

Объемы работ подсчитывают по каждому блоку. Общий итог получают суммированием отдельных блоков.

Объем паро- и гидрооттайки вечной и сезонной мерзлоты подсчитывают произведением соответствующих площадей на глубину оттайки, принимаемой по глубине пробуренных скважин.

Объемы земляных работ в канавах, котлованах, плотинах и дамбах подсчитывают по их поперечным или продольным профилям, составленным по результатам съемки. При подсчете объемов дамб и плотин учитывают коэффициент разрыхления грунта (1,1—1,4), зависящий от его состава. Наиболее распространенная форма поперечного сечения канав, плотин и дамб трапециевидная. Для вычисления объема V применяют формулу

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l,$$

где S_1 и S_2 — площади поперечных сечений, м²; l — расстояние между смежными поперечными сечениями, м.

Если принять $\frac{S_1 + S_2}{2} = S_0$, тогда $V = S_0 l$, или $S_0 = \frac{V}{l}$.

Логарифмируя, дифференцируя последнее выражение и переходя к погрешностям, получаем

$$\frac{m_{S_0}}{S_0} = \sqrt{\left(\frac{m_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{m_l}{l}\right)^2}.$$

Величиной $\frac{m_l}{l}$ можно пренебречь поскольку расстояние l между смежными поперечными сечениями измеряется с относительной погрешностью менее 1 : 1000, или менее 0,1%, тогда

$$\frac{m_{S_0}}{S_0} = \frac{m_V}{V}.$$

Таким образом, точность в определении объемов горно-подготовительных работ зависит от точности определения площади по-

перечного сечения. Площадь поперечного сечения S определяют

$$S = (b + mh) h,$$

где b — ширина дамбы по верху, m ; h — высота дамбы, m ; $\frac{1}{m} = \operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент заложения откоса.

Пренебрегая по малости погрешностью b в измерении ширины дамбы и переходя к среднеквадратическим погрешностям, получаем

$$m_S = (b + 2mh) m_h.$$

Относительная погрешность определится

$$\frac{m_S}{S} = \frac{b + 2mh}{b + mh} \frac{m_h}{h}, \quad \text{или} \quad m_h = \frac{m_S}{S} \frac{b + mh}{b + 2mh} h.$$

Пример: определим погрешность m_h для конкретных величин

$b = 5$ м, $m = 2$ м, $h = 5$ м, $\frac{m_S}{S} = \frac{m_V}{V} = 0,06$ — требование

§ 8.5 «Технической инструкции по производству маркшейдерских работ». Тогда $m_h = \pm 0,18$ м.

Объемы горной массы, добытой и переработанной драгой, могут быть определены следующими способами: автоматическим, вертикальных и горизонтальных сечений и среднего арифметического.

В настоящее время в производственных условиях автоматический способ определения объема дражной добычи еще не применяется. В системе комплексной механизации и автоматизации 250-литровых драг «Драга-1» успешно прошел приемочные испытания цифровой вычислитель производительности драги ЦВПД-3, который рекомендован для оперативного (межсменного) учета производительности.

Способ вертикальных сечений (рис. 167) для определения объема драгирования применяют при разработке россыпных месторождений, имеющих сложную форму плотика, что особенно часто имеет место в каньонных россыпях. Расстояние между сечениями выбирают в зависимости от сложности поверхности плотика, но не более 20 м. Объем определяют по формуле

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l,$$

где S_1 и S_2 — площади смежных сечений, м^2 ; l — расстояние между сечениями, м.

Способ вертикальных сечений из-за трудоемкости измерительных операций и больших погрешностей измерений на дражных разработках применяется очень редко.

Способ горизонтальных сечений применяется также редко. Объясняется это трудоемкостью графических и вычислительных операций при камеральной обработке результатов измерений.

При разработке россыпи неглубоким черпанием и с устойчивым углом откоса ведут съемку только верхней бровки. В этом случае значение объема дражной добычи уменьшают на величину поправки за бортовые откосы, вычисляемую по формуле

$$\Delta V = \frac{H_c}{2} L \operatorname{ctg} \beta = \Delta SL,$$

где L — длина бортового откоса, м; β — угол откоса, градус.

При отработке россыпи смежными участками поправки за бортовые откосы не вводится.

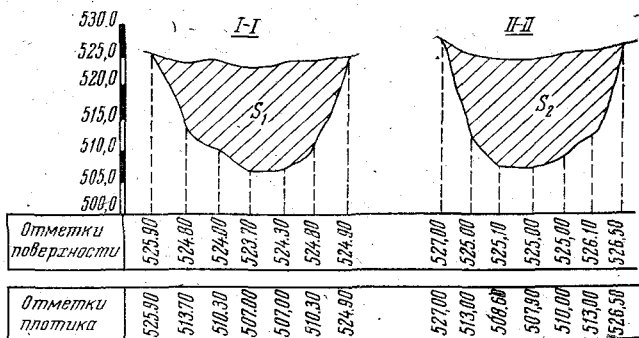


РИС. 167. Определение объемов драгирования способом вертикальных сечений

Основным методом определения объемов на дражных разработках является метод среднего арифметического. Объем дражной выработки

$$V = S_{\text{ср}} H_{\text{ср}},$$

где $S_{\text{ср}}$ — средняя площадь (определяется по плану планиметром), м²; $H_{\text{ср}}$ — средняя высота забоя в пределах площади отработки (определяется непосредственно измерениями при съемке), м.

Величина погрешности определения объема зависит от погрешностей измерения площади и глубины дражной отработки и выражается равенством

$$m_V = \sqrt{H_{\text{ср}}^2 m_{S_{\text{ср}}}^2 + S_{\text{ср}}^2 m_{H_{\text{ср}}}^2},$$

где m_V , $m_{S_{\text{ср}}}$, $m_{H_{\text{ср}}}$ — соответственно средние квадратические погрешности определения величин V , $S_{\text{ср}}$, $H_{\text{ср}}$.

Зависимость погрешностей в относительной мере выражается

$$\mu_V^2 = \mu_{S_{\text{ср}}}^2 + \mu_{H_{\text{ср}}}^2.$$

При современной методике тахеометрической съемки $\mu_{S_{\text{ср}}} \ll \ll + 2-3\%$, $\mu_V = 6\%$, то $\mu_{H_{\text{ср}}} = 5\%$, что при глубине черпания 12—20 м составит 0,6—1 м. Иными словами достигнуть необ-

ходимой точности и плотности измерений глубин, обеспечивающих достаточную точность определения объемов, нетрудно. Достаточно определить глубину отработки с точностью 0,6 м в середине и у бортов разреза через каждые 2—4 дня уходки драги, не реже, чем через 10 м.

§ 98. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЗИМНЕМ ОТСТОЕ ДРАГИ

На зимний период драгу устанавливают в специально отведенное место до нового сезона работы. За это время проводят ремонт драги. В практике приняты три основных способа зимнего отстоя драги: в котловане на заранее установленных ряжах, на плаву, на ледяной подушке. В период зимнего отстоя драги выполняют маркшейдерские наблюдения за состоянием плотика, уровня воды (при отстое на плаву) и положением понтона.

Перед остановкой драги на зиму необходимо очистить дно разреза по всей ширине забоя на расстояние 25—30 м от него. После этого маркшейдер производит детальную съемку дна водоема с промером глубины от уровня воды. Точки измерений глубины снимают тахеометрически. Вблизи границ водоема закладывают несколько рабочих грунтовых реперов, отметки которых определяют от репера, вынесенного за границы влияния горных работ. От этого же репера передают высотные отметки на рейки двух наблюдательных станций, устанавливаемых в дражном котловане.

Для зимнего отстоя драгу подводят вплотную к забою и освобождают от черпаковой цепи. После этого драгу поворачивают бортом к забою и в этом положении оставляют на зиму. На понтоне драги отмечают восемь характерных точек, которые в период зимнего отстоя систематически нивелируют от рабочих реперов. Сроки нивелировки устанавливаются графиком, утвержденным главным инженером прииска.

Измерением глубины в тех же точках находят отметки плотика. При отстое драги на плаву или на ледяной подушке эти отметки остаются неизменными. Отметки точек понтона записывают в карту зимнего отстоя и, сопоставляя их с соответствующими отметками плотика россыпи, определяют величину слоя воды под дном драги и состояние поддерживающей толщи льда или уложенных ряжей.

§ 99. ПОНЯТИЕ О МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТАХ ПРИ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Запасы железомарганцевых конкреций только в Тихом океане составляют 17×10^{11} т (проф. Г. А. Нурук). В состав конкреций входит: железа до 30%, марганца до 35%, меди до 1,8%, кобальта до 2,3%, никеля до 2%. Запасы кобальта на суше определяются в 1 млн. т, а количество кобальта в конкрециях достигает 2 млрд. т.

Морские россыпные месторождения шельфа разрабатываются США, Индонезией, Индией, Японией, Великобританией, Исландией, Австралией, ГДР, СССР и другими странами. Так, 90% добытой платины в США извлекается при подводных разработках, 5% объема мировой добычи алмазов добывается кампаниями США у берегов Африки из алмазоносных подводных россыпей.

Многие страны добывают с шельфа большое количество нерудных материалов со стоимостью добычи ниже, чем при добыче на суше.

Россыпные месторождения морского дна в основном разрабатываются морскими драгами. Ниже дано подразделение драг в зависимости от типа рабочего органа и глубины разработки.

Тип драги	Максимальная глубина разработки, м
Многочерпаковая	50
Землесосная с механическим или гидравлическим разрыхлением разрабатываемых пород	80
Эрлифтная	200
Грейферная	250
Драглайновая	1500
Эжекторная и землесосная с погружными насосами и перекачными станциями	4600

Разработку морских россыпей производят в основном следующими типами горных выработок: полигонами, разрезами (ширина более глубины выработки), траншеями, уступами и воронками.

Маркшейдерская служба предприятия, ведущего разработку морских россыпей, имеет следующую документацию:

- схему прибрежного геодезического и маркшейдерского обоснования на район морской россыпи;

- каталог координат пунктов обоснования;

- схему устройства уровневных постов, футштоков или водомерных реек;

- схему устройства пунктов обоснования;

- каталог координат разведочных линий и выработок по ним;

- основные планы горных работ в масштабах 1 : 2000 или 1 : 5000;

- эхограммы и схемы расположения промерных галсов.

Для маркшейдерских съемочных и промерных работ применяют три группы приборов:

- оптические инструменты (теодолиты, фототеодолиты, дальномеры, радиомензулы и др.);

- радиодальномерные и радионавигационные быстродействующие автоматизированные системы;

- сонарные (гидроакустические) системы.

Пункты маркшейдерского обоснования разделяются на береговые и акваториальные. Береговые пункты строятся в прибрежной полосе на континенте или островах. Акваториальные пункты обоснования подразделяются на свайные или фермовые глубиной до 50 м; плавучие, в виде поплавков, укрепленных буйрепами к цен-

трам на дне моря, и донные. Донные пункты обоснования оснащаются гидроакустической аппаратурой.

Многие вопросы маркшейдерского обеспечения горных работ, несмотря на все более расширяющиеся объемы добычи со дна морей и океанов, еще разработаны недостаточно полно. В настоящее время гораздо труднее определить координаты надводных и подводных объектов, чем на суше, хотя необходимая точность планового и высотного положения надводных и подводных объектов должна быть в пределах 1—3 м.

В ближайшем будущем точность определения координат пунктов будет повышаться за счет совершенствования старой и разработки новой навигационной аппаратуры. Существенное повышение точности может быть достигнуто за счет создания местных

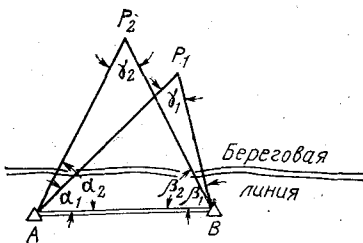


РИС. 168. Плановая привязка с помощью прямой угловой засечки

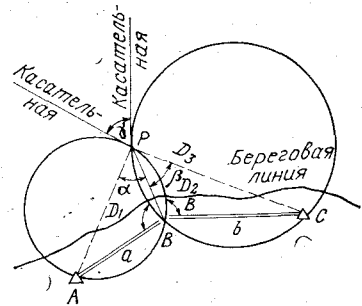


РИС. 169. Плановая привязка с помощью обратной угловой засечки

маркшейдерских сетей, развиваемых на дне моря. При этом решаются две задачи: определение местоположения надводного объекта и определение положения подводного пункта относительно надводного.

Решение первой задачи производится следующими основными способами: геодезическим, фотограмметрическим, радиогеодезическим.

При геодезическом методе могут использоваться прямые засечки с постоянных базисов, обратные и комбинированные засечки.

При определении положения морской драги или пункта обоснования с помощью прямой угловой засечки в пунктах A и B (рис. 168) устанавливают теодолиты и по сигналу с судна одновременно (для движущегося объекта) измеряют углы α и β с указанием времени измерений. Точность определения положения драги методом прямой засечки вычисляется по формуле

$$m = \pm \frac{m_{\beta}}{\cos \gamma p} \sqrt{L_1^2 + L_2^2},$$

где m_{β} — средняя квадратическая погрешность измерения направления, с; L_1 и L_2 — расстояния от точек стояния инструмента до

драги, m ; γ — угол засечки при определяемой точке ($30^\circ \leq \gamma \leq 150^\circ$).

Местоположение надводного объекта при использовании *обратной засечки* определяется одновременным измерением двух горизонтальных углов между тремя опорными береговыми пунктами. Углы измеряют промерным секстаном, обладающим возможностью одновременного наблюдения двух пунктов, между которыми измеряется угол. Измерения секстаном производят с руки, что позволяет производить наблюдения с движущегося судна.

Для измерения углов могут быть выбраны как три, так и четыре пункта. Определяемая точка P (рис. 169) находится в пересечении дуг окружностей, вмещающих вписанные углы α и β , которые измерены секстанами между опорными точками A, B и C .

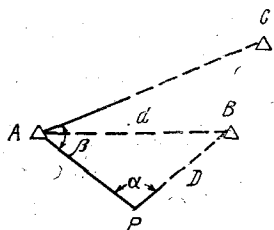


РИС. 170. Плановая привязка с помощью комбинированной засечки

Точность определения положения точки P зависит от угла γ и чем ближе этот угол к 90° , тем меньшее влияние он оказывает на погрешность определения положения точки P .

Для выбора схемы расположения опорных пунктов пользуются выражением $\gamma = 360^\circ - (\alpha + \beta + B)$.

Для того чтобы определяемая точка не попала в круг неопределенности, сумма углов $(\alpha + \beta + B)$ не должна быть близка к промежутку от 160 до 200° (где α и β — углы при определяемой точке между направлениями на опорные пункты; B — угол при опорном пункте между крайними опорными пунктами).

Средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки подсчитывается по формуле

$$M = \pm \frac{m_\alpha D_2}{\sin(A+C)\rho} \sqrt{\left(\frac{D_1}{a}\right)^2 + \left(\frac{D_3}{b}\right)^2},$$

где $m_\alpha = 2'$ — средняя квадратическая погрешность измерения углов секстаном с судна (измерение углов секстанами производится с точностью отсчета $1'$); A и C — углы при крайних пунктах (при этом $A + C = \gamma$); D_1, D_2, D_3 — расстояния от определяемой точки до пунктов; γ — угол при определяемой точке P ; a и b — расстояния между опорными пунктами, m .

В способе *комбинированной засечки* одновременно на берегу теодолитом в точке A (рис. 170) измеряют угол между береговым пунктом C и драгой P , а на судне секстаном — между точкой стояния теодолита и опорным пунктом B .

Средняя квадратическая погрешность определения положения точки P подсчитывается по формуле

$$M = \pm \frac{1}{\sin \alpha \rho} \sqrt{(m_\beta a)^2 + (m_\alpha D)^2},$$

где m_β, m_α — погрешность измерения углов B и A , мин; a, D — расстояния, м.

Фотограмметрический способ привязки основан на разработанной в МИИГАиК аппаратуре и методике камеральной обработки плановой привязки судна при промерных гидрографических работах методом фотозасечек. На судне устанавливается автоматический многозарядный фотоаппарат «МАФА-ИМ», с помощью которого через заданные промежутки времени фотографируют береговую ситуацию с пунктами геодезического обоснования. На пленке фиксируется одновременно не менее двух углов α и β , определяющих положение судна (рис. 171).

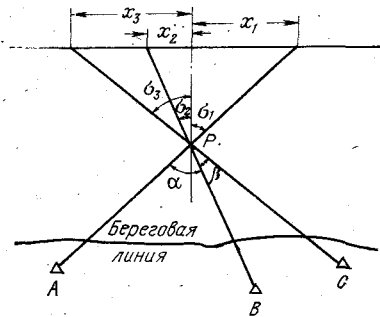


РИС. 171. Плановая привязка с помощью фотозасечки

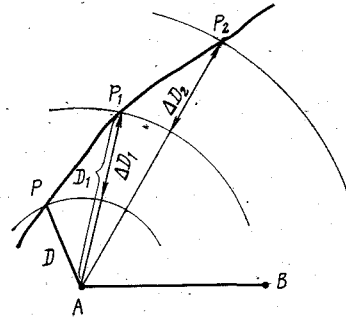


РИС. 172. Определение местоположения подвижного объекта способом радиолога

Углы α и β определяются путем измерения абсцисс x_1, x_2 и x_3 опорных точек A, B и C на снимке. При этом

$$\operatorname{tg} \sigma_1 = \frac{x_1}{f_k}; \quad \operatorname{tg} \sigma_2 = \frac{x_2}{f_k}; \quad \operatorname{tg} \sigma_3 = \frac{x_3}{f_k},$$

где f_k — фокусное расстояние камеры, мм.

Точность определения местоположения методом фотозасечек при ширине акватории 3—5 км и составлении плана масштаба не менее 1 : 5000 в 3—5 раз выше определения мензульными или теодолитными засечками.

Радиогеодезический метод привязки осуществляется в основном двумя способами: радиолога и фазового зонда.

В способе **радиолога** измеряют приращения расстояний от подвижного объекта до исходной точки. Задающая станция в точке P (рис. 172), установленная на передвижном объекте, перемещается относительно исходной точки A , на которой установлена отражающая станция. При перемещении задающая станция излучает непрерывные электромагнитные колебания и принимает отраженные сигналы отражающей станции. По индикатору задающей станции непрерывно ведут отсчет полных фазовых циклов, а на каждой

определяемой точке определяют еще и дробную часть q фазового цикла. Расстояние D от точки P до A

$$D = \frac{V}{Pf} (N + q) + l,$$

где N — число полных фазовых циклов; f — масштабная частота; V — скорость распространения радиоволн, м/с; $P = 2$ или 4 ($P = \frac{4\pi}{\theta}$; $\theta = \pi$ или 2π).

Для определяемой точки P_1

$$D_1 = \frac{V}{Pf} (N + n_1 + q) + l,$$

где n_1 — целое число фазовых циклов, прошедших за время перемещения объекта из точки P в точку P_1 .

Учитывая эти две формулы, получаем

$$\Delta D_1 = \frac{V}{Pf} (n + \Delta q) = \frac{\lambda}{P} (n + \Delta q_1).$$

Зная расстояние D от исходной точки P до начальной точки A и производя подсчет фазовых циклов, можно получать приращения этого расстояния ΔD_1 , ΔD_2 и т. д., а затем и сами расстояния D_1 , D_2 и т. д.

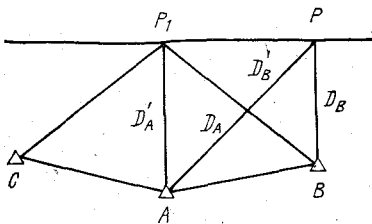


РИС. 173. Определение местоположения подвижного объекта способом фазового зонда

В способе *фазового зонда* измеряют разности расстояний от определяемой точки до двух исходных. Аппаратура состоит из задающей и двух отражающих станций, устанавливаемых на исходных точках, и одной или нескольких приемных станций, устанавливаемых на подвижном объекте. Задающая стан-

ция излучает непрерывные электромагнитные колебания, отражающие станции трансформируют принятые колебания по частоте и ретранслируют их. Колебания задающей и отражающих станций принимаются станцией фазового зонда, имеющей три приемника и два фазометра.

Если в точке P известна разность расстояний $r = D_A - D_B$ до точек A и B , а измеренная разность фаз колебаний, излучаемых станциями A и B , имеет величину $N + q$ (рис. 173), то

$$r = D_A - D_B = \frac{2V}{Pf} (N + q) + l.$$

При перемещении станции фазового зонда в точку P_1 разность расстояний от этой точки до A и B будет

$$r_1 = D'_A - D'_B = \frac{2V}{Pf} (N + n_1 + q) + l,$$

где n_1 — число целых фазовых циклов, прошедших за время перемещения.

Учитывая эти две формулы, получаем

$$r_1 = r + \frac{2V}{Pf}(n + \Delta q_1) = r + \frac{2\lambda}{P}(n + \Delta q_1) = r + \Delta r.$$

Возможно также комплексное применение астрономических и радиогеодезических способов определения координат надводных объектов.

В последнее время появились новые системы, предназначенные для получения планового обоснования надводных объектов. Так, выпускаемый западногерманской фирмой Атлас-Верке «Эхолаг-672» представляет собой комбинацию эхолота и радиодальномера. Эта аппаратура позволяет автоматически определять профиль дрижного разреза и осуществлять координирование драги на галсе.

Для решения второй задачи — определения положения подводного пункта относительно надводного объекта применяется гидроакустическая аппаратура, которая устанавливается как на судне, так и на донных гидробуях (пунктах маркшейдерского обоснования). Пункты оснащаются приемниками и излучателями, сигналы которых принимаются как на поверхности моря, так и в водной среде.

Координаты с помощью гидроакустической аппаратуры определяются по методу с длинной или короткой базисной линией. При методе с длинной базисной линией используется комплект бортового оборудования и несколько гидроакустических буюв, образующих подводную маркшейдерскую сеть.

Измерения производятся следующим образом: посылается акустический сигнал, гидробуй принимает его и излучает ответный сигнал на своей частоте. Определение расстояния производится путем измерения времени от момента посылки до прихода сигнала от гидробуя.

При методе с короткой базисной линией используются один буй и приемная система, состоящая из трех или четырех гидроакустических запросчиков, устанавливаемых под килем судна. Судовой запросчик излучает импульсы и по времени между излучением и приемом производит вычисление расстояний.

Точность определения по первому методу значительно выше и колеблется от 1 до 10 м.

Вынос в натуру контура карьера, а также границ отдельных заходов производится специальными плавучими морскими знаками: буями и вехами. По конструкции буи разделяются на большой, средний и малый морской. Якорем для буя служит чугунный или бетонный груз массой до 1 т. Расстояние между буями определяется конфигурацией контура обработки и условиями видимости. По опыту разработки подводных россыпей Восточной Балтики расстояние между буями составляет до 500 м.

При отработке россыпей малых размеров и сложных очертаний в плане на буях устанавливают радиомаяки, по излучениям которых автоматически прокладывается курс драги по оси заходки.

За рубежом для обеспечения движения драги по направлению применяют лазеры. При наличии на драге авторулевого обеспечивается высокая точность прохода и повышаются полнота и качество отработки россыпи.

Объем добытой горной массы определяют:

на полигонах — способом повторного нивелирования площадей по сетке квадратов, создаваемой галсами эхолотирования;

на разрезах, траншеях и уступах — способом вертикальных параллельных сечений;

при горных работах — воронками как объем конуса.

Возможно также определение объемов добытой горной массы измерениями не в выработках, а в емкостях (трюмах, бункерах) или на складах (в отвалах).

Глава XI

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАЗРАБОТКАХ РОССЫПЕЙ

§ 100. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Маркшейдерское обеспечение при открытых (гидравлических) разработках россыпей имеет свои специфические особенности. Они обусловлены условиями залегания россыпных месторождений, способами их разработки с помощью бульдозеров, скреперов, экскаваторов и их сочетанием или размыва породы гидромониторами, а также коротким сроком отработки полигонов, сезонностью горных работ. Вскрышные работы ведут зимой буровзрывным способом, летом торфа подготавливают к выемке различными способами оттайки. Промывочные работы ведут только в теплый период года.

Одним из высокоэффективных способов открытой разработки россыпных месторождений является способ гидромеханизации. В настоящее время его успешно применяют при разработке ильменито-, алмазо- и золотоносных россыпей, а также при вскрыше торфов на дражных полигонах. Гидроэлеваторный (в комплексе с бульдозерами) способ разработки песков является преобладающим.

Основными технологическими процессами при гидравлической разработке россыпей являются: удаление торфов, разработка песков, их гидравлическое транспортирование (самотечное, напорное и их сочетание), промывка песков на промывочных установках и

отвалообразование. В последнее время значительно увеличены работы по охране окружающей среды и рекультивации земель.

При гидравлической разработке россыпей применяют в основном схемы работ встречным, попутным и попутно-боковым забоями.

Схемы выемки пород могут осуществляться с первичным разрушением массива пород в целике или вторичным гидравлическим разрушением после отделения породы буровзрывным способом или землеройной техникой (бульдозерами, скреперами, погрузчиками и экскаваторами).

Использование для размыва естественного напора воды позволяет вести разработку небольших россыпей в труднодоступных районах с минимальным расходом электроэнергии.

Каждый этап открытой разработки россыпей выполняется с участием маркшейдерской службы, в задачи которой входит:

- повседневный контроль за соответствием выполненных работ утвержденному проекту;

- построение, дополнение или реконструкция опорного и съемочного планового и высотного обоснования;

- составление и систематическое пополнение планов, разрезов, проекций и других чертежей, необходимых при разработке россыпей;

- участие в составлении горно- и земельноотводной документации;

- инженерно-геодезические изыскания и разбивочные работы;

- съемка горных работ и нарушенной земной поверхности при разработке россыпей;

- подсчет и учет объемов выемки горной массы;

- определение и учет проектных и фактических потерь и разубоживания, а также учет движения запасов;

- контроль за полнотой отработки месторождений полезных ископаемых;

- участие в проектировании и планировании горных работ.

§ 101. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

К подготовительным работам при разработке россыпей открытым способом относят очистку поверхности полигона от растительности, проведение осушительных канав и вскрытие россыпи. Для спуска воды из заболоченной части полигона проводят капитальную канаву 1 со стоком в сторону понижения рельефа местности (рис. 174). Для отвода рек и ручьев сооружают руслоотводную канаву 2 обычно за контуром промышленного участка 3. При этом старое русло 4 перекрывают земляным сооружением 5 с целью создания подпора воды, так как трасса руслоотводной канавы, как правило, проходит по более высоким отметкам. Для ограждения разрабатываемой россыпи от стока поверхностных вод соору-

жают нагорную канаву 6. В большинстве случаев, чтобы избежать от постоянных эксплуатационных затрат по откачке воды, для удаления самотеком грунтовых, почвенных и атмосферных вод сооружают разрезные (водосборные) каналы 7.

При гидравлических разработках проходят каналы специального назначения: водоприемную — для подвода воды под напором к гидравлическому полигону, капитальную — для отвода пульпы из забоя на промывочные устройства.

Изыскательские работы при строительстве гидротехнических сооружений (канал различного назначения, плотин, дамб, водонапорных баков, магистралей трубопроводов, промывочных при-

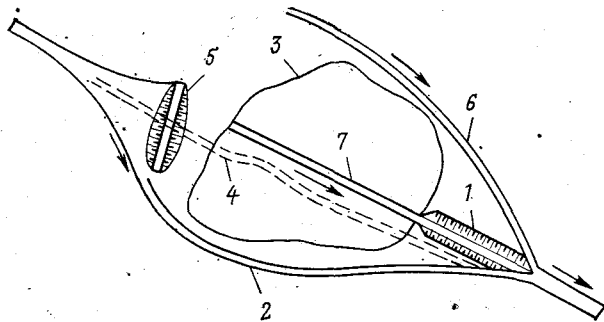


РИС. 174. Схема проведения осушительных канав

боров) маркшейдерская служба производит для обеспечения проектных проработок.

Для проектирования служат копии планов земной поверхности в масштабе 1 : 2000. Изыскательские работы проводят, если эти планы не удовлетворяют по своей точности требованиям, предъявляемым к размещению объектов на генеральном плане, или если проектируемые объекты расположены на участках, не имеющих планов поверхности.

При изыскании канав выполняют плановую привязку трассы и нивелирование по пикетам, расположенным обычно через 20 м вдоль оси и на поперечниках. Для нивелирования трассы применяют нивелиры технической точности. Нивелирование ведут из середины с расстоянием от инструмента до рек не более 150 м. По результатам нивелирования составляют продольный и поперечные профили, горизонтальный масштаб которых 1 : 1000 или 1 : 2000, а вертикальный — в 10 раз крупнее.

Проектные высотные отметки H_n точек, нанесенных на профиль, определяют по формуле

$$H_n = H_0 + id,$$

где H_0 — проектная отметка начальной точки, м; i — заданный уклон; d — расстояние до определяемой точки, м.

По разности проектных (красных) и фактических (черных) отметок поверхности вычисляют рабочие отметки.

Длину капитальной канавы определяют по формуле

$$l_k = \frac{H_p + Z_k}{i_d - i},$$

где H_p — мощность россыпи, м; Z_k — углубка канавы в плотик, м; i_d — уклон россыпи, доли единиц; i — уклон канавы (трубопровода), доли единиц.

Гидравлический уклон канавы определяется выражением

$$i = \frac{v^2}{C^2 R},$$

где v — средняя скорость потока в канаве, м/с; C — коэффициент Шези (определяется по формуле Н. Н. Павловского $C = \frac{1}{n} R^{1.5} \sqrt{v}$); n — коэффициент шероховатости (для канав в наносах $n = 0,025 \div 0,04$; для канав в скальных грунтах $n = 0,03 \div 0,035$); $R = \frac{\omega}{x}$ — гидравлический радиус, м; ω — площадь сечения, м²; x — смоченный периметр, м.

Объемы земляных работ подсчитывают по участкам между двумя ближайшими сечениями, вычисляя среднюю площадь между этими сечениями и умножая ее на расстояние между сечениями. Проектные объемы работ по сооружению канав, дамб и других сооружений по топографическому плану или результатам съемки определяют, строя продольные и поперечные профили.

При изысканиях для строительства промывочных приборов производят нивелирование трассы пульповода, начала и конца шлюзов, мест установки насосных станций, водовода и приемного бункера. Затем строят в масштабе 1 : 200 или 1 : 500 профили и передают их вместе с выкопировкой плана горных работ масштаба 1 : 1000 для составления рабочих чертежей проекта на установку и строительство промывочного прибора.

Трассирование канав производят способом полигонометрии или проектного полигона. Для разбивки трассы способом проектного полигона от исходных геодезических пунктов на плане вдоль трассы строят проектный полигон. Графически по этому плану определяют углы и длины сторон, которые откладывают в натуре и находят искомые проектные точки.

Проектный полигон после примыкания к конечному исходному пункту приближенным способом уравнивают и если величина поправки в координаты пункта будет более 0,8 м, то вводят поправку по формуле

$$\sigma_i = - \frac{f}{[S]} \sum_1^i S,$$

где σ_i — поправка в одну из координат i -го пункта, м; f — невязка хода по соответствующей оси координат, м; $[S]$ — длина хода, м; S — длина стороны, м.

Трассирование канав производят, исходя из наименьшего объема работ по их проведению.

Для соблюдения заданного уклона вдоль оси трассы по пикетам прокладывают нивелирные ходы технической точности. При этом от начальной точки с помощью нивелира и рейки по заранее вычисленным превышениям, соответствующим заданному уклону, находят на трассе все последующие точки. При отыскании каждой точки рейку устанавливают через небольшие интервалы вдоль склона и при совпадении отсчета с вычисленным закрепляют точку трассы.

Для контроля за сооружением канавы производят нивелирование трассы. При этом определяют фактические уклоны. Уклон водоприемной канавы должен быть выдержан в пределах 0,002—0,003. В целях сохранности канавы от размыва или заиливания этот уклон должен быть одинаков по всей длине канавы.

Капитальная канава при гидравлических разработках должна быть прямолинейной с одинаковым уклоном от забоя не ниже 0,003. В целях наилучшей транспортировки пульпы от забоя направление отработки гидравлического полигона всегда должно планироваться от низших отметок плотика россыпи к высшим.

Объем земляных работ определяют по результатам нивелирования почвы канавы и измерения сечений.

§ 102. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ

До начала вскрышных работ обозначают на местности границы полигона, контуры площадей, отведенных под отвалы торфов, направления ходов экскаваторов и другие проектные данные. Перенесение в натуру границ полигона может быть произведено линейными промерами от ближайших разведочных выработок, или от пунктов сети съемочного обоснования полярным способом. В обоих случаях положение проектного контура полигона должно быть совмещено.

В этот же период составляют проект построения съемочного обоснования способом прямоугольной сетки, а также проект съемки на основе плана горных выработок. В проекте предусматривают ориентирование прямоугольной сетки; способы перенесения сетки в натуру, способ закрепления сетки в натуре и определение координат; исходные реперы для нивелирования площади и методику контроля за их устойчивостью; оптимальные размеры сторон сетки для нивелирования площади.

Сетку ориентируют в основном по направлению уклона поверхности плотика, с тем чтобы с одной стоянки нивелира можно было определять наибольшее число пикетов. По плану определяют коор-

динаты одной из вершин сетки и дирекционный угол одного из направлений и от ближайшего пункта съёмочного обоснования выносят сетку в натуру.

Исходные реперы располагают не реже, чем через 0,5 км, и в начале каждого промывочного сезона нивелированием IV класса проверяют высотные отметки всех реперов, предусмотренных к использованию для нивелирования площади.

Оптимальный размер сетки находят по показателю $h\sqrt{S}$, определяя его по проектным данным

$$h\sqrt{S} = \frac{V}{\sqrt{S}},$$

где S — площадь разработки, м²; V — объем вскрыши (промывки) за месяц, м³; h — средняя мощность (уходка) вынимаемого слоя за месяц, м.

В приложении 21 «Технической инструкции по производству маркшейдерских работ» находят ближайшее меньшее значение показателя и выбирают соответствующий ему размер сетки.

Съемку горных выработок при открытой разработке россыпей выполняют одним из следующих способов:

- 1) нивелирования площади;
- 2) наземной стереофотограмметрической съемки;
- 3) тахеометрическим;
- 4) профильных линий.

Способ нивелирования площади при съемке выработок применяют на россыпях, расположенных в районах вечной и сезонной мерзлоты, разрабатываемых бульдозерно-скреперным и экскаваторным способами с послышной выемкой торфов и песков, а также на россыпях, разрабатываемых гидравлическим способом с предварительной вскрышей торфов.

Послышную выемку песков и торфов производят тонкими слоями по мере их естественной оттайки. Характерно, что при этом способе горные работы ведут на больших площадях (0,5—300 га) со средней месячной уходкой до 1,5 м. Это требует высокой точности при выполнении высотной съемки полигона и позволяет допускать меньшую точность его плановой съемки.

При экскаваторном и гидравлическом способах разработки россыпей с выемкой торфов или песков на всю мощность (более 1,5 м) съемку выполняют тахеометрическим способом.

В случаях, когда после выемки образуются откосы сложной формы, а также на полигонах с большим боковым уклоном применяют способ профильных линий.

При благоприятных условиях взамен этих способов применяют наземную стереофотограмметрическую съемку (объединение Северовостокзолото в промышленных масштабах внедряет способ аэрофотосъемки).

Учет работы гидравлики состоит в определении выполненных объемов горных работ. Для этого вначале путем тахеометрической

съемки выявляют контур полигона, затронутого горными работами, затем путем нивелирования площади по пикетам прямоугольной сетки определяют среднюю мощность отработанной части полигона. Умножая среднюю мощность (уходку) на отработанную площадь, получают объем горной массы.

§ 103. ОСОБЕННОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ ПРИ БУЛЬДОЗЕРНО-СКРЕПЕРНОМ И ЭКСКАВАТОРНОМ СПОСОБАХ РАЗРАБОТКИ РОССЫПЕЙ

При бульдозерно-скреперных и бульдозерно-экскаваторных способах разработки в задачи маркшейдерской службы входит определение средних расстояний транспортирования торфов или песков, которое также важно, как и определение выполненных объемов горных работ, так как оно влияет на величину заработной платы трудящихся. Среднее расстояние определяют по результатам съемки, которую проводят в конце месяца для определения объемов, для чего дополнительно составляют профили по отвалам.

Среднее расстояние транспортирования пород — это расстояние от центра тяжести выработанного пространства, образовавшегося в результате выемки горной массы за месяц, до места разгрузки. Его определяют в два этапа: сначала определяют расстояние транспортирования в пределах разрабатываемого участка до контура отвала, а затем — расстояние транспортирования при укладке пород в отвалы.

Для определения среднего расстояния транспортирования в пределах разрабатываемого участка полигона используют копию детального плана горных выработок (масштаб — 1 : 1000) для подсчета объемов. Если нанесенная на копию прямоугольная сетка ориентирована параллельно контурам выработанного пространства, то среднее расстояние определяют непосредственно на этой копии. Если же сетка имеет другую ориентацию, то на план накладывают палетку так, чтобы одно из направлений сетки палетки (со сторонами 20 × 20 м) совпало с контуром отвала, а другое — с направлением движения бульдозеров при транспортировании.

На палетке указывают цифровое обозначение ее рядов, параллельных контуру отвала I—IV (рис. 175). Среднее расстояние транспортирования от центра тяжести выработанного пространства до границы разработки (начала формирования отвала) определяется соотношением

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \sum h_i}{\sum_{i=1}^n (\sum h_i)},$$

где $\sum h_i$ — сумма мощностей для i -го ряда, м; L_i — расстояние от середины i -го ряда до борта полигона или контура отвала, м; n — число рядов.

Для контроля проверяют соблюдение условия

$$\sum_{i=1}^n (\sum h_i) = \sum h,$$

где $\sum h$ — сумма мощностей, определенная при подсчете объемов, м.

Среднее расстояние транспортирования при добыче и промывке песков или вскрыше торфов с выездными траншеями определяют

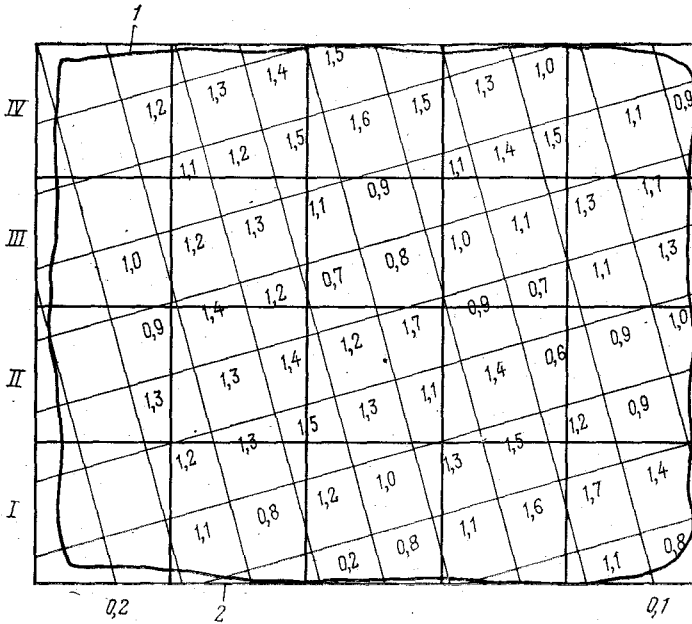


РИС. 175. Графическое определение расстояния транспортирования песков при промывке или вскрыше торфов через выезд:

1 — граница отработки; 2 — приемный бункер или начало выездной траншеи при вскрыше торфов

по кольцевой палетке, совмещая ее центр с бункером промывочного прибора или началом выездной траншеи (рис. 176).

Для определения расстояния транспортирования в пределах отвала при его отсыпке и определения высоты подъема бульдозерного пути по результатам съемки составляют его профиль по всей длине отвала в масштабе, зависящем от размера площади сечения отвала (1 : 500, 1 : 1000). На профиль наносят границы полигона, контуры разрабатываемого участка и сечение отвала.

При укладке наклонными слоями в начальный период (рис. 177, а) находят центр разгрузки P_1 из условия $AP_1 = \frac{2}{3} AB$. Впоследствии точку P_2 находят из условия равенства площадей $BP_2ML = P_2CNM$.

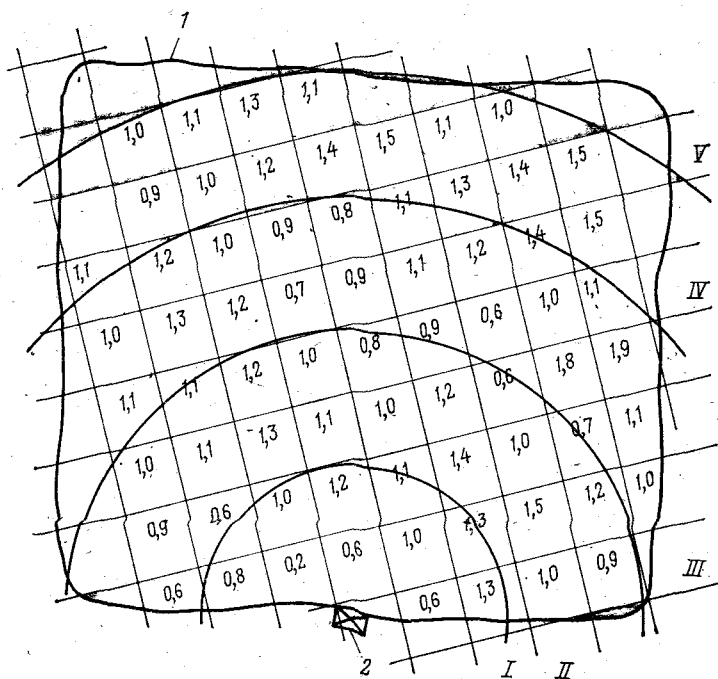


РИС. 176. Графическое определение расстояния транспортирования вскрышных пород с помощью палетки:
1 — граница разработки; 2 — контур отвала

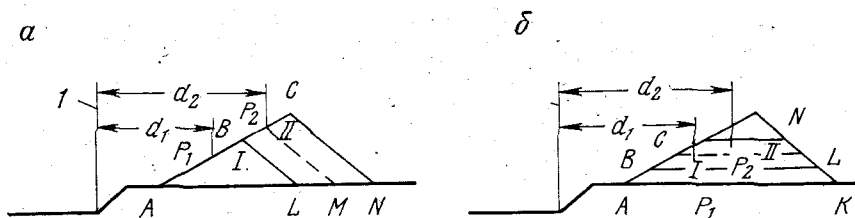


РИС. 177. Отвалы торфов:

а — укладка наклонными слоями; *б* — укладка горизонтальными слоями;
I — слой, уложенный в начальный период; II — слой, уложенный в последующий период; *l* — граница полигона

При укладке торфов горизонтальными слоями (рис. 177, б) центры разгрузки P_1 и P_2 находят как центры тяжести профильных сечений участков отвала $ABLK$ и $BCNL$, насыпанных за отчетный период.

Среднее расстояние транспортирования в пределах отвала и выездных траншей по всему полигону определяют как средневзвешенное из расстояний, определенных по отдельным профильным.

сечениям, принимая в качестве весов объемы горной массы, относящиеся к каждому из профильных сечений.

Если угол наклона бульдозерного пути более $\pm 3^\circ$, то определяют величину подъема или спуска, приравнивая каждый метр подъема или спуска к 4 м пути бульдозера, и вводят поправку в среднее расстояние транспортирования.

Общее расстояние транспортирования определяют по формуле

$$L_{\text{ср}} = L_{\text{пол}} + L_{\text{отв}} \pm L_{\text{к}},$$

где $L_{\text{пол}}$ — среднее расстояние транспортирования в пределах полигона, м; $L_{\text{отв}}$ — среднее расстояние транспортирования в пределах отвала, м; $L_{\text{к}}$ — поправка за крутизну подъема или спуска м.

Определение объемов переэкскавации производят при бестранспортном способе вскрытия, когда укладка торфов в конечные отвалы с одного хода экскаватора невозможна. Этот вид работы выполняется для определения зарплаты трудящимся, а также для контроля за соблюдением проектной схемы вскрытия, переэкскавации и укладки отвалов торфов в определенные проектом места.

Для подсчета объемов переэкскавации используют проектные чертежи, на которые по результатам съемки наносят контуры выработанного пространства и отвалов. По разрезам определяют площадь сечения, соответствующую объему выработанного пространства, образовавшегося за месяц, и площадь сечения части отвала, не подлежащей переэкскавации (положение этой части должно соответствовать проектному). Из общей площади вычитают площадь сечения отвала, не подлежащего переэкскавации. Разделив полученную разность на общую площадь сечения отвала, можно определить процент переэкскавации. Умножая объем выработанного пространства на процент переэкскавации, получают объем переэкскавации.

Возможно также определение объема переэкскавации аналитическим методом.

При переходе открытых разработок россыпей на более глубокие горизонты (в настоящее время отдельным способом разрабатываются пески на глубине до 25 м) в задачи маркшейдерской службы входит *наблюдение за движением и оползневыми явлениями* на бортах полигонов. В практике имеются случаи, когда за один промывочный сезон угол откоса полигона (в силу больших включений льда во вмещающих породах) изменяется от 80° (образован в зимний период при вскрыше торфов с помощью взрывчатых материалов) до $25-30^\circ$, что создает опасность потерь полезного ископаемого или большие затраты, направленные на устранение оползневых явлений, а также опасность для работающих. Съемку бортов в этом случае производят фототеодолитом, а результаты ее используют при проектировании горных работ в аналогичных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Раздел III

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПОДЗЕМНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМОК

В общем курсе настоящего учебника рассмотрены основные маркшейдерские съемки подземных горных выработок (инструменты и способы выполнения подземных съемок, методы составления планов горных выработок и решения по ним простейших задач). Однако там не рассматривались погрешности измерений при тех или иных съемках. Между тем инженер-маркшейдер должен уметь не только выполнять съемки, но и производить оценку точности выполненных им измерений, а также по заданной точности конечного результата съемки обоснованно выбирать инструменты и способы ее выполнения.

Решение двух последних задач базируется на знании теории погрешностей и способа наименьших квадратов, изучаемых студентами до прохождения специальной части курса. Основные маркшейдерские съемки горных выработок включают прокладку полигонометрических и нивелирных ходов. Анализ погрешностей и источников их накопления следует рассматривать применительно к каждому из указанных видов ходов. При прокладке полигонометрических ходов измеряют горизонтальные и вертикальные углы и длину сторон. Поэтому в специальной части курса прежде всего используются погрешности измерения этих трех элементов хода.

Погрешности измерений элементов подземной съемки всегда приводят к невязкам, т. е. расхождениям результатов измерений с известными геометрическими условиями. Поэтому в практической работе маркшейдера возникает вопрос об устранении имеющихся невязок (уравнивания результатов измерений), если они не превышают допустимых величин, установленных технической инструкцией. В соответствии с этим в специальной части курса рассматривается также вопрос об уравнивании подземных полигонометрических и нивелирных ходов.

Глава XII
ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ
ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

§ 104. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ,
ИЗМЕРЕННЫХ СПОСОБАМИ ПРИЕМОМ И ПОВТОРЕНИЙ

Способ приемов. Значение угла β , измеренного n приемами, определяют по формуле

$$\beta = \frac{[b_{\text{л}} - a_{\text{л}}]^2 + [b_{\text{п}} - a_{\text{п}}]^2}{2n},$$

где $a_{\text{л}}$ и $a_{\text{п}}$ — отсчеты по лимбу горизонтального круга теодолита на заднюю точку угла при круге слева и справа; $b_{\text{л}}$ и $b_{\text{п}}$ — то же, на переднюю точку угла.

Каждое наведение и отсчет сопровождаются погрешностями, которые оказывают влияние на точность конечного результата.

Принимаем следующие обозначения:

- m_v — средняя * погрешность визирования одного направления;
- m_o — средняя погрешность отсчета одного направления, определяемого как среднее из отсчетов по двум верньерам;
- m_i — средняя погрешность измерения угла;
- n — число приемов.

Определение каждого направления сопровождается средней погрешностью

$$m_n^2 = m_v^2 + m_o^2.$$

Учитывая, что при измерении угла β n приемами производится наблюдение $4n$ направлений, находим среднюю погрешность

$$m_i^2 = \frac{4nm_n^2}{4n^2} = \frac{m_n^2}{n}.$$

Подставив сюда значение m_n , получим

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_v^2}{n} + \frac{m_o^2}{n}}. \quad (\text{XII.1})$$

Способ повторений. Величину угла, измеренного способом повторений, определяют по формуле

$$\beta = \frac{a_3 - a_1 + k360^\circ}{2n},$$

где a_1 — отсчет по горизонтальному кругу при первом наведении на заднюю точку; a_3 — то же, при последнем наведении на перед-

* Здесь и в дальнейшем под термином «средняя погрешность» понимается средняя квадратическая погрешность.

ную точку; k — число полных окружностей, которое прошел нулевой штрих верньера относительно нулевого деления лимба; n — число повторений.

Обозначим через \tilde{m}_i среднюю погрешность угла, обусловленную погрешностью отсчета m_o .

При измерении угла n повторениями берется два отсчета. Отсюда

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{1}{4n^2} (m_o^2 + m_o^2)} = \pm \frac{m_o}{\sqrt{2}n}.$$

Найдем теперь m_i'' — среднюю погрешность измерения угла β , обусловленную погрешностью визирования m_v , учитывая, что при n повторениях делается $4n$ визирований:

$$m_i'' = \pm \sqrt{\frac{4nm_v^2}{4n^2}} = \pm \frac{m_v}{\sqrt{n}}.$$

Общая погрешность измерения горизонтального угла будет

$$m_i = \pm \sqrt{(m_i')^2 + (m_i'')^2}.$$

Подставив значения m_i' и m_i'' , получим

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_o^2}{2n^2} + \frac{m_v^2}{n}}. \quad (\text{XII.2})$$

§ 105. ПОГРЕШНОСТЬ ВИЗИРОВАНИЯ

При наведении трубы на сигнал ее визирная ось не будет строго совпадать с измеряемым направлением, а составит с ним некоторый малый угол m_v , называемый погрешностью

визирования. Величина погрешности визирования зависит от трех факторов: чувствительности человеческого глаза; оптических свойств трубы и конструкции сетки нитей; внешних условий — яркости освещения сигнала, прозрачности атмосферы и пр. Средняя погрешность визирования может быть определена двумя способами.

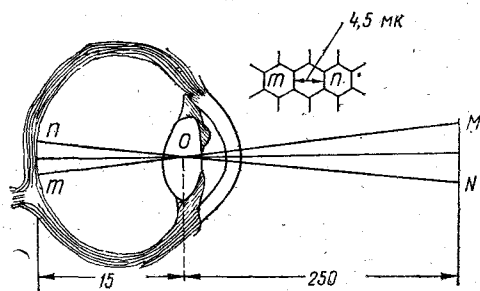


РИС. 178. К определению наименьшего угла зрения невооруженного глаза

Первый способ основывается на понятии о наименьшем угле зрения человеческого глаза.

Пусть (рис. 178) M и N — две точки, наблюдаемые невооруженным глазом; m , n — изображение этих точек на сетчатой оболочке глаза; O — узловая точка глаза.

Специальными исследованиями установлено, что две точки будут восприниматься человеческим глазом раздельно только в том случае, если между клетками, на которые попадает их изображение, находится хотя бы еще одна клетка.

Расстояние между двумя зрительными нервами в среднем составляет 4,5 мк, а расстояние от узловой точки O до сетчатой оболочки — 15 мм. Отсюда наименьший угол зрения будет

$$\alpha_{\min} = \rho'' \frac{4,5}{15\,000} = 60''.$$

Опытные данные показывают, что фактически у разных людей α_{\min} колеблется в пределах от 50 до 124''.

При употреблении трубы, имеющей увеличение v , наблюдаемый угол будет в v раз больше угла, видимого невооруженным глазом, следовательно, наименьший угол зрения при пользовании трубой составит

$$\alpha_{\min} = \frac{\alpha_{\min}}{v}.$$

Будем считать, что средняя погрешность визирования равна этому наименьшему углу зрения глаза, вооруженного трубой, т. е.

$$m_v = \frac{\alpha_{\min}}{v}.$$

Приняв $\alpha_{\min} = 60''$, получим

$$m_v = \frac{60''}{v}. \quad (\text{XII.3})$$

Используя формулу (XII.3), определяем среднюю погрешность визирования для теодолита Т15, имеющего трубу с двадцатикратным увеличением:

$$m_v = \pm \frac{60''}{20} = \pm 3''.$$

Второй способ. Во всех современных теодолитах сетка нитей имеет две вертикальные нити или, как говорят, биссектор нитей.

Наблюдатель, осуществляя визирование, стремится размещать изображение сигнала посредине между нитями. Исследованиями установлено, что человеческий глаз улавливает несимметричность подобной установки только в том случае, если расстояние от одной нити биссектора до сигнала вдвое превышает расстояние до другой нити. Принимая такое соотношение за предел улавливаемой глазом несимметрии, пренебрегая шириной изображения сигнала, получаем следующие два значения погрешности визирования при расположении сигнала по разные стороны от оси биссектора:

$$m_{v_{\max}} = \frac{d}{2} - \frac{2d}{3} = -\frac{d}{6};$$

$$m_{v_{\max}} = \frac{d}{2} - \frac{d}{3} = +\frac{d}{6},$$

где d — угловое расстояние между нитями биссектора.

Среднюю погрешность визирования принимают в два раза меньше максимальной, т. е.

$$m_v = \pm \frac{d}{12}. \quad (\text{XII.4})$$

§ 106. ПОГРЕШНОСТЬ ОТСЧЕТА

Взятый по лимбу теодолита отсчет выражает некоторый центральный угол или дугу лимба, считаемые от нулевого деления последнего. При вращении алидады этот угол или дуга изменяются от 0 до 360°. Однако фиксировать угол поворота алидады мы можем только через определенные интервалы, отвечающие точности верньера. В самом деле, если горизонтальный угол измеряют тридцатисекундным теодолитом, то все отсчеты по лимбу будут кратны 30". Действительные же углы поворота алидады могут принимать иные значения, так как при отсчете по лимбу всегда допускается округление значения угла до величины, кратной точности верньера. Таким образом, погрешность отсчета есть погрешность округления.

Из курса теории погрешностей известно, что средняя погрешность округления m_o определяется по формуле

$$m_o = \pm \frac{\alpha}{\sqrt{3}}, \quad (\text{XII.5})$$

где α — предельная погрешность округления.

Величина предельной погрешности округления при взятии отсчета по лимбу будет

$$\alpha = \pm \frac{t}{2}.$$

Подставим значение α в выражение (XII.5), получим

$$m_o = \pm \frac{t}{2\sqrt{3}}$$

или окончательно

$$m_o = \pm \frac{t}{3,5}. \quad (\text{XII.6})$$

Полученная формула дает возможность подсчитать среднюю погрешность отсчета.

Средняя погрешность отсчета по горизонтальному кругу для теодолита, имеющего $t = 30''$, будет

$$m_o = \pm \frac{30''}{3,5} = \pm 8,5''.$$

§ 107. СРАВНЕНИЕ СПОСОБА ПРИЕМОМ И ПОВТОРЕНИЙ

Для выбора способа измерения горизонтальных углов подземных полигонометрических ходов следует произвести сравнение способа приемов и повторений по количеству затрачиваемого труда

на измерения и точности. Прежде всего устанавливаем, что число визирований, выполняемых при измерении угла приемами и повторениями одинаково. В обоих случаях необходимо сделать $4n$ наведений трубы теодолита. Однако при способе повторений необходимо сделать два отсчета, а при способе приемов $4n$. Таким образом, при способе повторений резко сокращается число отсчетов. Это особенно важно для подземных съемок, где внешние условия нередко создают значительные трудности для отсчитывания по горизонтальному кругу теодолита. Наряду с этим уменьшение числа отсчетов приводит к уменьшению средней погрешности измерения угла.

Указанные преимущества способа повторений выступают еще резче, если учесть, что погрешность визирования составляет $4-5''$, в то время как для тридцатисекундных теодолитов средняя погрешность отсчета равна $\pm 8''$.

Преимущества способа повторений уменьшаются при измерении углов высокоточными теодолитами ($t \leq 10''$), что наглядно видно на графике рис. 179, построенном для $n = 3$.

В связи с этим углы подземных полигонометрических ходов теодолитами, точность верньеров которых $20-30''$, а число измеряемых направлений не более двух, следует измерять способом повторений.

При измерении углов современными оптическими теодолитами с точностью отсчета по горизонтальному кругу $t = 10-12''$ способ приемов и способ повторений по точности практически равноценны.

§ 108. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА, ОБУСЛОВЛЕННАЯ НЕТОЧНОСТЬЮ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ТЕОДОЛИТА И СИГНАЛОВ

Средняя погрешность измерения горизонтального угла, обусловленная неточностью центрирования теодолита и сигналов m_{α} , складывается из трех отдельных погрешностей:

m_{c_A} — средней погрешности измерения угла из-за неточности центрирования сигнала A ;

m_{c_B} — средней погрешности измерения угла из-за неточности центрирования сигнала B ;

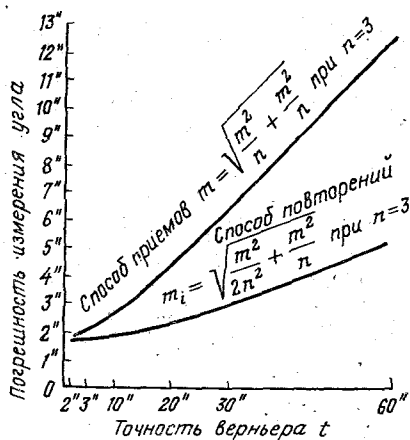


РИС. 179. График изменения средних погрешностей измерения угла способом приемов и повторений (при $n = 3$)

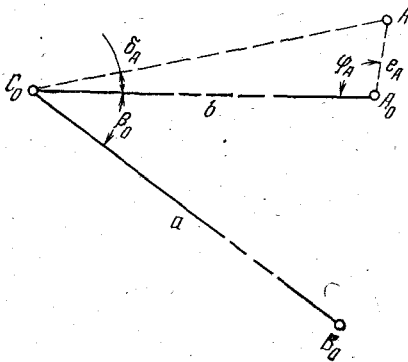
m_e — средней погрешности измерения угла из-за неточности центрирования теодолита.

Общая погрешность измерения угла

$$m_{ц_i} = \pm \sqrt{m_{с_A}^2 + m_{с_B}^2 + m_e^2}. \quad (\text{XII.7})$$

Найдем выражения, позволяющие определить каждую из трех перечисленных погрешностей.

Пусть требуется измерить угол $A_0C_0B_0$, т. е. β_0 (рис. 180). Положим, что сигнал B и теодолит C прицентрированы безошибочно соответственно в точках B_0 и C_0 , в то время как второй сигнал



установлен не в точке A_0 , а в точке A . Расстояние $AA_0 = e_A$ называется линейной погрешностью центрирования сигнала. Величина этой погрешности зависит от принятого способа и условий центрирования.

На погрешность измерения горизонтального угла влияет не только величина линейной погрешности центрирования сигнала, но и ее направление, т. е. угол φ_A . Так, если φ_A равен нулю или 180° , т. е. если линейная погрешность центрирования сигнала направлена по стороне

РИС. 180. Погрешность измерения горизонтального угла из-за погрешности центрирования сигнала A

измеряемого угла, то неточность центрирования сигнала не окажет никакого влияния на точность измерения горизонтального угла. При φ_A равном 90 или 270° , погрешность измерения будет максимальной. Так как линейная погрешность центрирования сигнала может быть направлена в любую сторону от точки, то угол может принимать любое значение от 0 до 360° . Геометрическим местом случайных положений точки A будет окружность радиуса e_A с центром в точке A_0 .

Поскольку случайных положений точки A может быть бесконечно много и каждое из них будет особо влиять на погрешность измерения горизонтального угла, необходимо отыскать среднее квадратическое ее значение.

Из рис. 180

$$\sin \delta_A = \frac{e_A}{b} \sin \varphi_A.$$

Из-за малого значения угла δ_A можно написать

$$\delta_A'' = \rho'' \frac{e_A}{b} \sin \varphi_A.$$

Тогда

$$m_{c_A}^2 = \frac{[\delta_A^2]}{n}$$

или

$$m_{c_A}^2 = \frac{\rho^2}{n} \frac{e_A^2}{b^2} [\sin^2 \varphi_A],$$

но

$$n = \frac{2\pi}{d\varphi}.$$

Подставив значение n в выражение m_{c_A} , а знак суммы заменив знаком интеграла, получим

$$m_{c_A}^2 = \frac{\rho^2}{2\pi} \frac{e_A^2}{b^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \varphi_A d\varphi.$$

Так как

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 \varphi_A d\varphi = \pi,$$

получим

$$m_{c_A}^2 = \rho^2 \frac{e_A^2}{2b^2}. \quad (\text{XII.9})$$

Аналогичными рассуждениями можно найти выражение погрешности измерения горизонтального угла из-за неточности центрирования сигнала в точке B :

$$m_{c_B}^2 = \rho^2 \frac{e_B^2}{2a^2}. \quad (\text{XII.10})$$

Найдем выражение погрешности m_e , предположив для этого, что сигналы A и B (рис. 181) процентрированы безошибочно соответственно в точках A_0 и B_0 , а теодолит процентрирован не в точке C_0 , а в точке C . В данном случае имеется линейная погрешность центрирования теодолита e , составляющая со стороной C_0A_0 угол θ . Очевидно, что при этом будет измерен не искомый угол β_0 , а какой-то другой, т. е. β .

Проведя из точки C линии CA' и CB' , параллельные сторонам измеряемого угла, получим:

$$\begin{aligned} \beta_0 + C_A &= \beta + C_B; \\ \Delta\beta &= \beta_0 - \beta = C_B - C_A. \end{aligned}$$

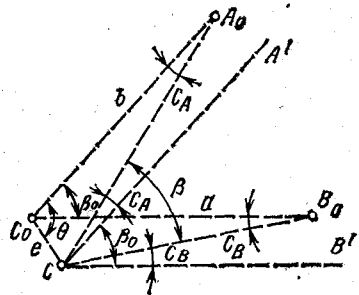


РИС. 181. Погрешность измерения горизонтального угла из-за погрешности центрирования теодолита

Отсюда

$$m_e^2 = \frac{[(\Delta\beta)^2]}{n} = \frac{[(C_B - C_A)^2]}{n}.$$

Из рис. 181 имеем:

$$C_A = \rho^r \frac{e}{b} \sin \theta;$$

$$C_B = \rho^r \frac{e}{a} \sin (\theta - \beta_0).$$

$$(C_B - C_A) = \rho^r e \left(\frac{\sin (\theta - \beta_0)}{a} - \frac{\sin \theta}{b} \right);$$

$$(C_B - C_A)^2 = \rho^2 e^2 \left(\frac{\sin^2 (\theta - \beta_0)}{a^2} + \frac{\sin^2 \theta}{b^2} - \frac{2 \sin (\theta - \beta_0) \sin \theta}{ab} \right);$$

$$\begin{aligned} \frac{[(C_B - C_A)^2]}{n} &= \frac{\rho^2 e^2}{n} \left\{ \frac{1}{a^2} [\sin^2 (\theta - \beta_0)] + \right. \\ &\left. + \frac{1}{b^2} [\sin^2 \theta] - \frac{2}{ab} [\sin (\theta - \beta_0) \sin \theta] \right\}. \end{aligned}$$

Подставив вместо n его значение $\frac{2\pi}{d\theta}$ и заменив знак суммы интегралом, получим

$$\begin{aligned} m_e^2 &= \frac{[(C_B - C_A)]}{n} = \frac{\rho^2 e^2}{2\pi} \left[\frac{1}{a^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 (\theta - \beta_0) d\theta + \right. \\ &\left. + \frac{1}{b^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta - \frac{2}{ab} \int_0^{2\pi} \sin (\theta - \beta_0) \sin \theta d\theta \right]. \end{aligned}$$

Однако

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta &= \pi; \quad \int_0^{2\pi} \sin^2 (\theta - \beta_0) d\theta = \pi; \\ \int_0^{2\pi} \sin (\theta - \beta_0) \sin \theta d\theta &= \pi \cos \beta. \end{aligned}$$

Окончательно будем иметь

$$m_e^2 = \frac{\rho^2 e^2}{2} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{2 \cos \beta}{ab} \right),$$

или

$$m_e^2 = \frac{\rho^2 e^2}{2a^2 b^2} (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta). \quad (\text{XII.11})$$

Полученные значения m_{cA} , m_{cB} , m_e подставим в формулу (XII.8)

$$m_{\text{нл}} = \pm \sqrt{\frac{\rho^2}{2} \left[\frac{e_A^2}{b^2} + \frac{e_B^2}{a^2} + \frac{e^2}{a^2 b^2} (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta) \right]}. \quad (\text{XII.12})$$

Так как способы центрирования обоих сигналов одинаковы, то следует считать

$$e_A = e_B = e_C.$$

Тогда

$$m_{\alpha_i} = \pm \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_C^2 (a^2 + b^2) + e^2 (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta)]}. \quad (\text{XII.13})$$

Формула (XII.13) позволяет определить среднюю погрешность измерения горизонтального угла, обусловленную неточностью центрирования теодолита и сигналов. Как видно, средняя погрешность m_{α_i} , кроме линейных погрешностей центрирования теодолита и сигналов, зависит от величины измеряемого угла и длины сторон угла. Для анализа указанной зависимости рассмотрим три частных случая.

Первый случай — $\beta = 180^\circ$; $\cos \beta = -1$:

$$m_{\alpha_i} = \pm \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_C^2 (a^2 + b^2) + e^2 (a + b)^2]}. \quad (\text{XII.14})$$

Второй случай — $\beta = 90^\circ$; $\cos \beta = 0$:

$$m_{\alpha_i} = \pm \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_C^2 (a^2 + b^2) + e^2 (a^2 + b^2)]},$$

или

$$m_{\alpha_i} = \pm \frac{\rho}{ab} \sqrt{\frac{(a^2 + b^2)(e_C^2 + e^2)}{2}}. \quad (\text{XII.15})$$

Третий случай — $\beta = 0^\circ$; $\cos \beta = 1$:

$$m_{\alpha_i} = \pm \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_C^2 (a^2 + b^2) + e^2 (a - b)^2]}. \quad (\text{XII.16})$$

Рассматривая формулу (XII.15), видим, что влияние длины сторон на среднюю погрешность m_{α_i} отражено в члене

$$\frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{ab} = k.$$

Увеличим стороны угла в n раз, тогда

$$k' = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{nab}.$$

Произведенный анализ формулы (XII.13), позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Влияние погрешности центрирования сигналов на погрешность измерения угла не зависит от его величины и обратно пропорционально длине сторон, образующих угол.

2. Влияние погрешности центрирования теодолита на погрешность измерения угла зависит от его величины. Наибольшее влияние погрешность центрирования теодолита (при прочих равных условиях) будет иметь при измерении углов, близких к 180° .

3. Влияние погрешности центрирования теодолита обратно пропорционально длине сторон, образующих угол.

4. Влияние погрешности центрирования теодолита и сигналов тем больше, чем больше отличаются между собой длины сторон измеряемого угла.

В подземных съемках преобладают наиболее неблагоприятные условия измерения горизонтального угла, так как большинство углов подземных полигонов близко к 180° , а стороны углов не столь велики и часто резко отличаются между собой по длине. Это требует с особым вниманием относиться к центрированию теодолита и сигналов.

Общая средняя погрешность измерения горизонтального угла определяется по формуле

$$m_B = \pm \sqrt{m_i^2 + m_{ци}^2}. \quad (XII.17)$$

В формулу средней погрешности горизонтального угла, кроме его геометрических элементов, входят погрешности m_i , e_c и e , которые называют элементарными погрешностями измерения горизонтального угла.

Элементарные погрешности измерения горизонтального угла при проведении подземных полигонометрических ходов определяли многие исследователи. Полученные ими величины линейных погрешностей центрирования теодолита и сигналов в зависимости от условий измерений находятся в следующих пределах:

при центрировании шнуровым отвесом

$$e = 1,2 \div 2 \text{ мм}; \quad e_c = 1 \div 1,3 \text{ мм};$$

при центрировании оптическим способом

$$e = 1 \div 1,2 \text{ мм};$$

при автоматическом центрировании

$$e = 0,5 \div 0,8 \text{ мм}.$$

Для пояснения порядка определения погрешности измерения горизонтального угла решим следующий пример.

Пример.

Горизонтальный угол измерен в шахте теодолитом ТЗОМ одним повторением. Определить среднюю погрешность измерения угла, если известно, что $a = 21 \text{ м}$, $b = 28 \text{ м}$, $\beta = 175^\circ$, $e_c = 0,001 \text{ м}$, $e = 0,002 \text{ м}$.

Решение. Определяем величины m_p — погрешности отсчета и m_o — погрешности визирования:

$$m_o = \pm \frac{t}{3,5} = \pm \frac{30''}{3,5} \approx \pm 9'';$$

$$m_p = \pm \frac{60''}{v} = \pm \frac{60''}{18} \approx \pm 3''.$$

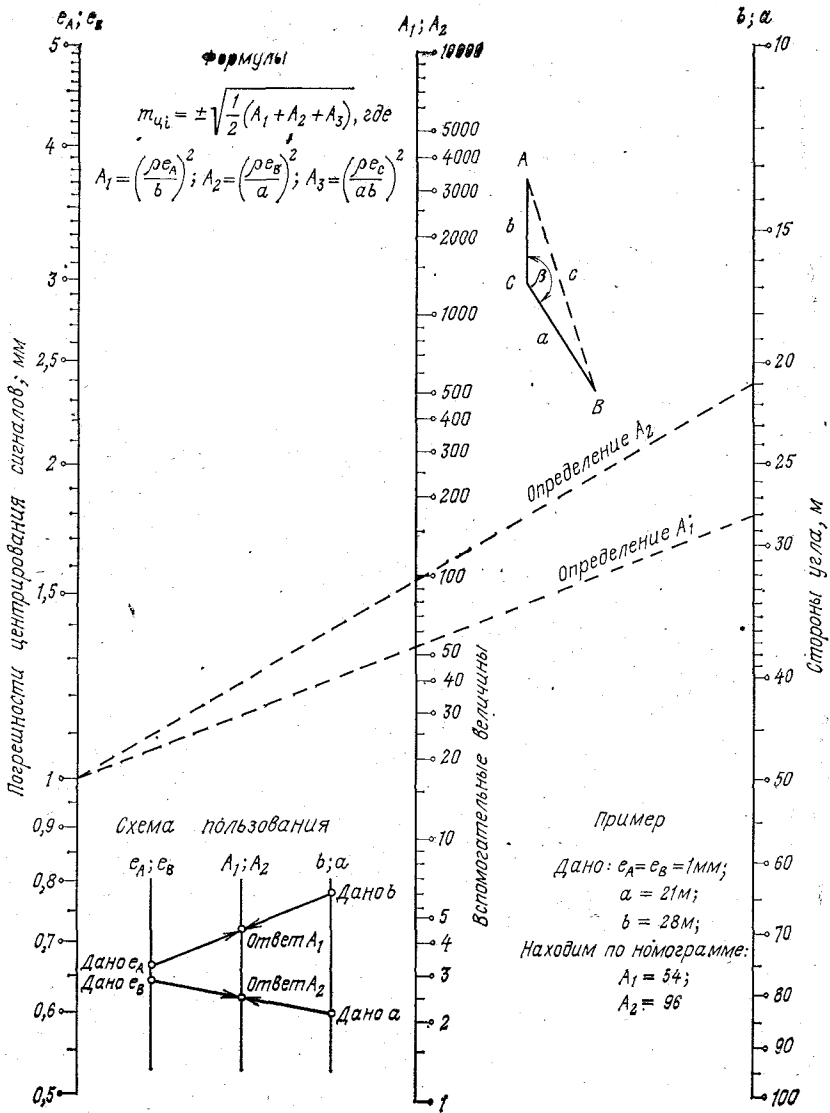


РИС. 182. Номограмма для определения величин A_1, A_2

Находим величину инструментальной погрешности

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_o^2}{2n^2} + \frac{m_v^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{81}{2} + 9} \approx \pm 7''.$$

Подсчитываем общую среднюю погрешность измерения горизонтального угла

$$m_B = \pm \sqrt{7^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{206265}{21 \cdot 28} \right)^2 [0,001^2 (21^2 + 28^2) + \dots + 0,002^2 (21^2 + 28^2 - 2 \cdot 21 \cdot 28 \cos 175^\circ)]} \approx \pm 27''.$$

Приведенный пример, отвечающий обычным условиям подземной съемки, показывает, что рассмотренная погрешность достигает значительной величины ($\pm 27''$), что еще раз подчеркивает большое значение точности центрирования теодолита и сигналов.

Вычисление средней погрешности измерения горизонтального угла по формулам (XII.11) и (XII.12) является довольно трудоемкой работой. Проще определить эту погрешность по специальным номограммам из «Атласа номограмм для маркшейдерских вычислений» Ф. Ф. Павлова и Д. Е. Левита или по таблицам А. Н. Белоголова (XXV сборник трудов ВНИМИ). Номограммы для определения погрешности $m_{ц}$ приведены на рис. 182; 183.

Вначале по номограмме (рис. 182) определяем вспомогательные величины A_1 , A_2 , для чего на шкале e_A , e_B откладываем величину погрешности центрирования сигнала. Соединив соответствующие точки прямыми линиями на пересечении их со средней шкалой, найдем значения вспомогательных величин A_1 и A_2 .

Значение $m_{ц}$ определяем по номограмме (рис. 183) в следующей последовательности:

на шкале e откладываем величину линейной погрешности центрирования теодолита (мм), а на шкале C величину замыкающей угла (м);

соединив полученные точки прямой линией, на пересечении ее с вертикалью I определим положение точки n ;

на шкале b откладываем величину стороны угла (м);

соединив полученную точку с точкой n прямой линией, на ее продолжении найдем пересечение с вертикалью II (точка m);

на шкале a откладываем длину второй стороны угла (м);

соединив полученную точку с точкой m , по шкале A_3 определим значение этой вспомогательной величины;

вычисляем сумму $A_1 + A_2 + A_3$ и по шкале $m_{ц}$ определяем значение этой погрешности.

§ 109. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА, ОБУСЛОВЛЕННАЯ НАКЛОНОМ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ТРУБЫ ТЕОДОЛИТА

На точность измерения горизонтального угла в наклонных выработках существенное влияние оказывает наклон оси вращения трубы теодолита. Последний может быть обусловлен неравенством

подставок, неравенством диаметров цапф и неправильной установкой вертикальной оси вращения теодолита.

В курсе инструментоведения доказывается, что погрешность измерения угла, обусловленная неравенством подставок и неравенством диаметров цапф, исключается, если угол измерять при двух положениях круга.

Погрешность измерения горизонтального угла, вызванная наклоном вертикальной оси инструмента, приводит к ошибочному определению величины угла.

В связи с указанным при измерении горизонтальных углов в наклонных выработках возникает необходимость введения в результаты измерения поправки за наклон горизонтальной оси вращения трубы.

Поправка за наклон горизонтальной оси к направлению, измеренному при двух положениях круга, определяется по формуле

$$u = \frac{I + I'}{2} \operatorname{tg} \delta, \quad (\text{XII.18})$$

где I и I' — наклоны горизонтальной оси вращения трубы, измеренные соответственно при круге справа и круге слева; δ — угол наклона визирного луча к горизонту.

Поправка к измеренному углу

$$\Delta_i = u''_n - u''_s. \quad (\text{XII.19})$$

Наклон оси вращения трубы определяется накладным уровнем. Если нуль делений шкалы уровня находится на середине трубы, а подпись делений возрастает в обе стороны от нуля, то отсчет, соответствующий середине пузырька, равен наклону оси уровня, выраженному в его делениях. Пусть L и Π отсчеты по левому и правому концам уровня. Тогда наклон оси в делениях уровня будет

$$m = \pm \frac{L + \Pi}{2}.$$

Отсчеты L и Π в левой от нуля части уровня имеют знак «плюс», а аналогичные отсчеты в правой от нуля части уровня — знак «минус». Тогда знак m определится знаком алгебраической суммы $L + \Pi$.

Определение m при наведении трубы на точку производят дважды переключением уровня на цапфах. Тогда наклон оси в делениях уровня будет

$$m = \frac{m_1 + m_2}{2},$$

а наклон оси в секундах

$$I = m\tau'', \quad (\text{XII.20})$$

где τ — цена деления накладного уровня.

При вычислении поправки Δ_i следует также учитывать знаки углов наклона δ . Если визирная линия направлена вверх от наблю-

дателя, то $\operatorname{tg} \delta$ придают знак «плюс», если визирная линия направлена вниз, то $\operatorname{tg} \delta$ придают знак «минус».

Если горизонтальный угол измеряют n повторениями, то поправка

$$u = \frac{\sum_1^n \frac{l + l'}{2}}{n} \operatorname{tg} \delta,$$

а величина поправки к углу вычисляется по формуле (XII.18).

Погрешность горизонтального угла из-за наклона оси вращения трубы теодолита может быть значительной. Она может быть устранена введением поправки, вычисленной по формуле (XII.18). Удобнее и проще исключить рассматриваемую погрешность в процессе измерения горизонтального угла. Для этого необходимо и достаточно при каждом полуприеме измерения горизонтального угла устанавливать на ось трубы теодолита накладной уровень и с помощью его ось трубы приводить в горизонтальное положение. По требованиям маркшейдерской инструкции накладной уровень должен обязательно применяться при измерении горизонтальных углов, стороны которых имеют угол наклона более 30° .

§ 110. ОБЩАЯ ФОРМУЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО УГЛА

Вертикальный угол δ определяют по формуле

$$\delta = \frac{(K\Pi + 180^\circ) - K\Lambda}{2}.$$

Следовательно,

$$m_\delta = \pm \frac{1}{2} \sqrt{m_{K\Pi}^2 + m_{K\Lambda}^2}.$$

В каждом полуприеме производятся одно визирование, одна установка оси уровня вертикального круга в горизонтальное положение и берется один отсчет, поэтому

$$m_{K\Pi} = m_{K\Lambda} = \pm \sqrt{m_o^2 + m_v^2 + m_\tau^2};$$

$$m_\delta = \pm \sqrt{\frac{m_o^2 + m_v^2 + m_\tau^2}{2}}. \quad (\text{XII.21})$$

Формула (XII.21) относится к случаю измерения угла одним приемом. При измерении вертикального угла несколькими приемами

$$m_\delta = \pm \sqrt{\frac{m_o^2 + m_v^2 + m_\tau^2}{2n}}. \quad (\text{XII.22})$$

Погрешность отсчета

$$m_0 = \pm \frac{t}{3,5},$$

где t — точность верньера вертикального круга.

Погрешность визирования с учетом того, что оно производится не по биссектору, а лишь по одной горизонтальной нити, можно определить по формуле

$$m_v = \pm \frac{1}{2} \frac{b\rho}{f_{об}},$$

где b — толщина горизонтальной нити трубы теодолита; $f_{об}$ — фокусное расстояние объектива.

Погрешность установки оси уровня в горизонтальное положение принимают равным $0,2\tau$, где τ — цена деления уровня.

Пример.

Определить среднюю погрешность измерения вертикального угла одним приемом теодолитом, для которого $t = 60''$, $\tau = 30''$, $b = 0,02$ мм, $f_{об} = 188$ мм. Тогда

$$m_0 = \pm \frac{60''}{3,5} = \pm 17'';$$

$$m_v = \pm \frac{1}{2} \frac{0,02 \cdot 206\,265}{188} = \pm 11'';$$

$$m_\tau = 0,2 \cdot 30'' = \pm 6'';$$

$$m_\delta = \pm \sqrt{\frac{17^2 + 11^2 + 6^2}{2}} = \pm 15''.$$

§ 111. НЕОБХОДИМАЯ И ДОСТАТОЧНАЯ ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ СТОРОН ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

Вертикальные углы сторон полигонометрического хода должны быть измерены с точностью, обеспечивающей определение горизонтальных проложений и превышений смежных точек с погрешностями, не превышающими требований действующих инструкций.

При исследовании вопроса о допустимых погрешностях длин сторон полигона ниже будет доказано, что вертикальный угол должен быть измерен с погрешностью m_δ , удовлетворяющей выражению

$$m_\delta \leq \frac{14''}{\sin \delta}. \quad (\text{XII.23})$$

Из формулы видно, что чем больше вертикальный угол, тем точнее он должен быть измерен.

Превышение двух смежных вершин подземного полигона, определяемое тригонометрическим нивелированием, вычисляют по формуле

$$\Delta_z = l \operatorname{tg} \delta + i - v,$$

где

$$l = L \cos \delta.$$

Тогда

$$\Delta_z = L \sin \delta + i - v,$$

где L — длина наклонной стороны хода; δ — угол ее наклона; i — высота инструмента; v — высота сигнала.

Средняя погрешность определения превышения

$$m_{\Delta_z}^2 = L^2 \cos^2 \delta \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + m_L^2 \sin^2 \delta + m_i^2 + m_v^2,$$

где m_L , m_δ , m_i , m_v — средние погрешности измерения соответствующих величин.

Первое слагаемое правой части является погрешностью превышения, обусловленной погрешностью измерения угла δ , т. е.

$$m'_{\Delta_z} = L \cos \delta \frac{m'_\delta}{\rho''}, \text{ или } \frac{m'_{\Delta_z}}{L} = \cos \delta \frac{m'_\delta}{\rho''}.$$

Если принять, что превышение должно определяться с относительной погрешностью не более $1 : 3000$, и учесть, что погрешность измерения вертикального угла является одной из четырех погрешностей, влияющих на погрешность превышения, то можно записать

$$\frac{m'_{\Delta_z}}{L} \leq \frac{1}{10000}.$$

Тогда

$$\frac{1}{10000} \geq \frac{m'_\delta}{\rho''} \cos \delta,$$

или

$$m'_\delta \leq \frac{20''}{\cos \delta}. \quad (\text{XII.24})$$

Из формулы (XII.24) видно, что для выполнения второго условия вертикальный угол должен измеряться тем точнее, чем меньше его величина.

Сопоставляя формулы (XII.23) и (XII.24), устанавливаем окончательные значения предельных погрешностей измерения вертикальных углов, обеспечивающих требуемую точность определения длины горизонтальных проекций сторон и превышений смежных вершин полигонов

δ	$0^\circ 30'$	1°	2°	5°	10°
m_δ	$20''$	$10''$	$20''$	$20''$	$20''$
δ	20°	30°	40°	50°	80°
m_δ	$21''$	$23''$	$22''$	$18''$	$14''$

Из формул (XII.23) и (XII.24), а также из подсчитанных по ним значений погрешности m_δ следует:

а) углы наклона от 0 до 40° должны измеряться с погрешностью не более 20" для надлежащей точности определения превышения;

б) углы наклона от 40° и более должны измеряться с погрешностью не более 15—20" для надлежащей точности определения горизонтальных проекций сторон полигонов.

Требуемая точность может быть достигнута измерением углов теодолитами Т15 и Т30М одним приемом.

Глава XIII

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ СТОРОН ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

§ 112. ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДЛИНЫ СТОРОН СТАЛЬНЫМИ РУЛЕТКАМИ

Стороны подземных полигонометрических ходов обычно измеряют рулеткой на весу с натяжением ее от руки или динамометром. Измерению длин сторон сопутствует ряд погрешностей, главнейшими из которых являются следующие:

- 1) от неправильности меры длины рулетки — погрешность компарирования;
- 2) от неправильного учета температуры рулетки;
- 3) от недостаточно точного учета провеса рулетки;
- 4) от изменения меры длины в зависимости от натяжения;
- 5) от неправильного провешивания линий;
- 6) от неправильного определения угла наклона линии или превышения;
- 7) от проектирования точек на концы рулетки;
- 8) отсчета или совмещения.

По своим свойствам перечисленные погрешности могут быть разбиты на случайные (пункты 2, 3, 4, 6, 7, 8), систематические (пункт 1) и случайные по величине, но постоянные по знаку (пункт 5).

Часть из перечисленных погрешностей, имеющих систематический характер, можно уменьшить введением соответствующих поправок в результаты измерений. Случайные же погрешности не могут быть учтены заранее.

Величина отдельных погрешностей в значительной мере зависит от условий измерений. Некоторые из одноименных погрешностей в различных условиях измерений могут носить в одном случае систематический, в другом — случайный характер. Так, например, погрешность температуры и погрешность от натяжения могут быть и систематическими, и случайными. Если температура при

измерении остается постоянной, но не равна температуре при компарировании, а необходимая поправка к длине не введена, то погрешность будет систематической. Если температура при измерении колеблется, то под влиянием недоучета температуры погрешность будет случайной. Погрешность от натяжения рулетки в том случае, если натяжение ее при измерении отличается от натяжения при компарировании на определенную постоянную величину, есть систематическая погрешность. Если же натяжение при измерении, как это часто бывает в практике, будет то больше, то меньше натяжения при компарировании, то погрешность будет носить случайный характер. Из характеристики отдельных погрешностей следует, что при отнесении их к той или иной группе необходимо учитывать принятую методику измерения.

Для решения вопроса о необходимой точности выполнения отдельных операций измерения длины, чтобы конечная погрешность длины не превышала заданной, примем ориентировочно относительную погрешность измерения сторон подземных полигонометрических ходов равной 1 : 5000, а число источников погрешностей (ради предосторожности) — не восемь, а девять. Используя принцип равного влияния погрешностей, найдем, что каждая из погрешностей не должна превышать предела

$$\Delta l_{\text{пред}} = \frac{1}{\sqrt{9 \cdot 5000}} = \frac{1}{15000}.$$

Рассмотрим каждую из перечисленных выше погрешностей.

Погрешность компарирования рулетки. Влияние этой погрешности на длину стороны полигона выразится формулой

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \frac{L}{l}.$$

или при целом числе откладываний полной рулетки

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} n, \quad (\text{XIII.1})$$

где l — длина рулетки; L — измерения длины стороны полигона; $m_{\text{к}}$ — погрешность компарирования рулетки.

Компарирование рулетки должно производиться с относительной погрешностью, не превышающей 1 : 20 000 ее длины.

Погрешность от неправильного учета температуры рулетки. Поправка в длину измеренной линии за разность температур при измерении и компарировании

$$\Delta L_t = \alpha L (t - t_0),$$

где α — коэффициент линейного расширения полотна рулетки (для стали $\alpha = 0,0000115$); L — измеренное расстояние; t — температура при измерении; t_0 — температура при компарировании.

Если m_t — погрешность измерения температуры, то погрешность измерения длины из-за неправильного определения температуры будет

$$M_t = \alpha L m_t. \quad (\text{XIII.2})$$

или

$$\frac{M_t}{L} = \alpha m_t.$$

Согласно ранее принятому условию

$$\frac{M_t}{L} \leq \frac{1}{15\,000};$$

$$0,0000115 m_t \leq \frac{1}{15\,000}.$$

Отсюда

$$m_t \leq \pm 5,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Произведенный подсчет показывает, что погрешность измерения температуры при проложении подземных полигонометрических ходов должна быть не более $\pm 5,8 \text{ }^\circ\text{C}$ или округленно $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. В соответствии с этим маршейдерская техническая инструкция требует, чтобы температура стальных рулеток определялась с погрешностью не более $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Учитывая сравнительное постоянство температуры рудничного воздуха и величину предельной погрешности определения температуры измерителя, можно сделать вывод о том, что нет необходимости измерять температуру при каждом откладывании рулетки. Достаточно знать среднюю температуру снимаемой горной выработки и, пользуясь ею, вводить соответствующие поправки. Эти указания не относятся к измерениям, которые производятся в горных выработках, примыкающих к шахтному стволу, подающему воздух.

Погрешность от недостаточно точного учета провеса рулетки.
Поправка за провес рулетки

$$\Delta L_p = \frac{8}{3} \frac{f^2}{l},$$

где f — стрела провеса; l — длина рулетки.

Если m_f — погрешность определения стрелы провеса, то

$$M_p = \frac{16f}{3l} m_f \quad (\text{XIII.3})$$

или относительная погрешность

$$\frac{M_p}{l} = \frac{16f}{3l^2} m_f.$$

Приняв $l = 20 \text{ м}$, $f = 0,076 \text{ м}$ и относительную погрешность определения каждой поправки не более $1 : 15\,000$, получим

$$m_f \leq 6,6 \text{ см}.$$

Техническая маркшейдерская инструкция предусматривает введение указанной поправки в длину сторон подземных полигонометрических ходов.

Погрешность от изменения меры длины в зависимости от натяжения. Обозначим: P_0 — натяжение при компарировании рулетки; P — натяжение при измерении; P_f — натяжение при определении стрелы провеса всей рулетки.

Выполняя измерения, необходимо обеспечивать, чтобы

$$P_0 = P = P_f.$$

В случае, когда $P_0 \neq P$, рулетка изменит свою длину на величину

$$\Delta L_{\text{н}} = \frac{(P - P_0)L}{ES},$$

где $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па — модуль Юнга; S — площадь поперечного сечения полотна рулетки, м^2 ; P и P_0 — натяжение рулетки, Н.

Найдем, с какой предельной погрешностью при измерениях следует определять натяжение рулетки, чтобы погрешность длины не превысила установленного предела.

Погрешность выразится формулой

$$M_{\text{н}} = \frac{L}{ES} m_p, \quad (\text{XIII.4})$$

где m_p — погрешность определения натяжения рулетки.

Относительная погрешность

$$\frac{M_{\text{н}}}{L} = \frac{m_p}{ES}.$$

Сохранив условие, что относительная погрешность должна быть меньше 1 : 15 000 и приняв $S = 4 \cdot 10^{-8}$ м^2 , получим

$$m_p \leq 26,5 \text{ Н (2,7 кгс)}.$$

Таким образом, натяжение при измерениях в шахте не должно отличаться от натяжения при компарировании на величину более 26,5 Н. При больших расхождениях в результаты измерений должна быть введена поправка за растяжение рулетки.

Рассмотрим вторую сторону вопроса.

Если $P \neq P_f$, то кроме погрешности от растяжения рулетки необходимо еще учесть погрешность из-за неправильного определения стрелы провеса.

Поправка за провес в зависимости от натяжения рулетки

$$\Delta L_p = \frac{q^2 L^3}{24P^2},$$

где q — масса 1 м рулетки, кг; P — натяжение рулетки, Н.

Если натяжение определено с погрешностью m_p , то погрешность по этой причине будет

$$M_p = \frac{q^2 L^3}{12P^2} m_p \quad (\text{XIII.5})$$

или относительная погрешность

$$\frac{M_p}{L} = \frac{q^2 L^2}{12P^3} m_p.$$

Приняв $q = 0,03$ кг, $L = 20$ м, $P = 98,1$ Н и $\frac{M_p}{L} \leq \frac{1}{15\,000}$, получим $m_p \leq 21,6$ Н (2,2 кгс).

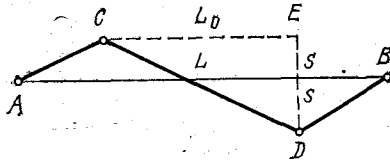
Таким образом, с рассмотренной точки зрения натяжение при измерении не должно отличаться от натяжения при определении стрелы провеса всей рулетки более чем на 19,6 Н (2 кгс).

Общая погрешность в длине из-за погрешности натяжения

$$M_n = \left(\frac{L}{ES} + \frac{q^2 L^3}{12P^3} \right) m_p.$$

(XIII.6)

РИС. 184. Погрешность измерения длины стороны хода от неправильного провешивания линии



Учитывая существенное влияние погрешности натяжения рулетки на точность измерения длины, маркшейдерская техническая инструкция требует при измерении длины в полигонометрических ходах натяжение рулетки, фиксируемое динамометром, осуществлять с силой, соответствующей натяжению при компарировании.

Погрешность от неправильного провешивания линии. Пусть при измерении линии AB в створе ее были выставлены промежуточные точки C и D (рис. 184). Положим, что погрешности провешивания каждой из этих точек равны S , но противоположны по знаку. Из треугольника CDE напишем

$$L_0 = \sqrt{L^2 - (2s)^2} \text{ или } L_0 = L \left[1 - \left(\frac{2s}{L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Величина числителя $2s$ по сравнению со знаменателем L очень мала, поэтому разложим последнее выражение в ряд и ограничимся двумя членами ряда. Получим

$$L_0 = L \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{2s}{L} \right)^2 \right] = L - \frac{2s^2}{L}.$$

Полагая $M_s = L - L_0$, будем иметь

$$M_s = \frac{2s^2}{L} \quad (\text{XIII.7})$$

или относительная погрешность

$$\frac{M_s}{L} = 2 \left(\frac{s}{L} \right)^2.$$

Приняв предельную относительную погрешность равной $1 : 15\,000$, получим

$$\frac{s}{L} \leq \frac{1}{200}.$$

При $L = 50$ м величина s должна быть не более 25 см, а при $L = 20$ м — не более 10 см. Таким образом, при измерении длины сторон полигонов можно ограничиться довольно грубым их провешиванием. Согласно требованиям маркшейдерской технической инструкции отклонение рулетки от створа не должно превышать ± 10 см.

Погрешность от неправильного определения угла наклона линии или превышения. Для определения горизонтальных проекций сторон полигонов измеряется их угол наклона δ или превышение h концов каждой стороны. Поправка за приведение длины сторон к горизонту выражается формулами

$$\Delta L = 2L \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad \text{или} \quad \Delta L = \frac{h^2}{2L}.$$

Если угол наклона δ измерен с погрешностью $\pm m_\delta$, то погрешность стороны

$$M_\delta = 4L \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \frac{m_\delta}{2} = \frac{L \sin \delta m_\delta''}{\rho''}. \quad (\text{XIII.8})$$

Относительная мера этой погрешности составит

$$\frac{M_\delta}{L} = \frac{\sin \delta}{\rho''} m_\delta''.$$

Приняв относительную погрешность равной 1 : 15 000, получим

$$m_\delta \leq \frac{14''}{\sin \delta}. \quad (\text{XIII.9})$$

Полученное выражение показывает, что чем больше угол наклона, тем точнее он должен быть измерен. Значения предельных погрешностей измерения вертикального угла, подсчитанные с учетом формулы (XIII.9), приведены выше.

Положим теперь, что превышение h концов стороны определено с погрешностью m_h . Тогда погрешность длины составит

$$M_\delta = \frac{h}{L} m_h. \quad (\text{XIII.10})$$

Относительная мера этой погрешности будет

$$\frac{M_\delta}{L} = \frac{h}{L^2} m_h.$$

Полагая, что она не должна превышать принятого предела при $L = 20$ м, будем иметь (мм)

$$m_h \leq \frac{25}{h}, \quad (\text{XIII.11})$$

где h — превышение, м.

Погрешность от проектирования точек на концы рулетки. При измерении длины сторон подземных полигонов проектирова-

ние точек с кровли на рулетку в большинстве случаев производится шнуровыми отвесами. При этом:

а) ось шнура отвеса не совпадает с геометрической осью знака;
 б) при прикосновении рулетки к шнуру отвеса последний раскачивается;

в) отвесы отклоняются потоком воздуха.

В большинстве случаев погрешность проектирования носит случайный характер и в зависимости от условий измерений может изменяться в значительных пределах — от ± 1 до $\pm 3,5$ мм. Величина ее

$$M_{\Pi} = \pm m_{\Pi} \sqrt{2}, \quad (\text{XIII.12})$$

где m_{Π} — погрешность проектирования отвесом.

Для уменьшения влияния рассматриваемой погрешности рекомендуется: уменьшать отверстие в маркшейдерском знаке; применять более гибкие и тонкие шнуры для отвеса и увеличивать его груз; предварительно центрировать по отвесу вспомогательную твердую точку, против которой производится отсчет по рулетке; применять оптическое центрирование в выработках с сильной вентиляционной струей.

Погрешность отсчета или совмещения по рулетке имеет случайный характер. Влияние ее на погрешность длины может быть выражено формулой

$$M_o = \frac{m_o \sqrt{2n}}{\sqrt{k}}, \quad (\text{XIII.13})$$

где m_o — погрешность отсчета или совмещения по одному концу рулетки; k — число отсчетов; n — число интервалов.

Величина погрешности отсчета

$$m_o = \pm \frac{t}{3,5}.$$

При $t = 1$ мм $m_o = \pm 0,3$ мм.

Влияние погрешности отсчета может быть уменьшено применением более длинных рулеток и повторением отсчетов по обоим концам рулеток.

Рассмотренные выше формулы дают возможность произвести предрасчет ожидаемой погрешности при измерении длины, обусловленной совокупным влиянием всех источников погрешностей:

$$M_L = \pm \sqrt{M_k^2 + M_i^2 + M_p^2 + M_{\Pi}^2 + M_s^2 + M_o^2 + M_{\Pi}^2 + M_o^2}.$$

Учитывая требование технической маркшейдерской инструкции об измерении длины сторон подземных полигонов в прямом и обратном направлениях, получаем окончательное значение погрешности

$$M'_L = \pm \frac{M_L}{\sqrt{2}}.$$

§ 113. ЗАКОН НАКОПЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ
 ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДЛИНЫ СТОРОН
 ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

Для определения вида общей формулы средней погрешности измерения длины, обусловленной влиянием случайных, систематических погрешностей и погрешностей, случайных по величине, но постоянных по знаку, воспользуемся положениями, известными из теории погрешностей. Обозначим: L — длина измеряемой линии; l — длина рулетки; n — число укладываний рулетки в измеряемом расстоянии; m — случайная погрешность одного откладывания рулетки; m'_L — средняя квадратическая погрешность измеряемой длины, обусловленная влиянием случайных погрешностей.

Произведя измерения, получаем

$$L = l + l + \dots + l \text{ (} n \text{ раз).}$$

Средняя квадратическая погрешность измеряемой длины

$$M'_L = \pm \sqrt{m^2 + m^2 + \dots + m^2 (n_{\text{раз}})}$$

или

$$M'_L = \pm m \sqrt{n}.$$

Однако

$$n = \frac{L}{l}.$$

Тогда

$$m'_L = \frac{m}{\sqrt{l}} \sqrt{L}.$$

или

$$m'_L = \mu \sqrt{L}, \quad (\text{XIII.14})$$

где $\mu = \frac{m}{\sqrt{l}}$ — коэффициент, выражающий влияние случайных погрешностей на единицу измеряемой длины.

Таким образом, влияние случайных погрешностей при измерении длин возрастает пропорционально корню квадратному из величины этих длин.

Рассмотрим теперь влияние систематических погрешностей на погрешность измерения длины L .

Пусть σ — систематическая погрешность одного откладывания рулетки, а m''_L — систематическая погрешность измеряемой длины. Тогда

$$m''_L = \sigma + \sigma + \dots + \sigma (n_{\text{раз}})$$

или

$$m''_L = n\sigma.$$

Приняв $n = \frac{L}{l}$, получим

$$m'_L = \frac{\sigma}{l} L$$

или

$$m'_L = \lambda L, \quad (\text{XIII.15})$$

где $\lambda = \frac{\sigma}{l}$ — коэффициент, выражающий влияние систематических погрешностей на единицу длины.

Формула (XIII.15) показывает, что влияние систематических погрешностей при измерении длин пропорционально величине этих длин.

Что касается третьей категории погрешностей, случайных по величине, но постоянных по знаку, то она полностью учитывается при определении систематических погрешностей.

Суммарная погрешность измерения длины, обусловленная влиянием случайных и систематических погрешностей,

$$m_L = \pm \sqrt{(m'_L)^2 + (m''_L)^2}$$

или

$$m_L = \pm \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2}. \quad (\text{XIII.16})$$

Рассматривая формулу (XIII.16), замечаем, что в нее входят только погрешности, зависящие от длины измеряемой линии, в то время как ранее было установлено существование погрешностей, не зависящих от длины измеряемой линии и имеющих значительную величину. К ним относятся погрешность отсчета и погрешность проектирования точек на концы мерного прибора.

Для учета указанных погрешностей в формулу (XIII.16) вводят третий член η , представляющий среднюю погрешность измерения, не зависящую от длины измеряемой линии. Тогда

$$m_L = \pm \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \eta^2}. \quad (\text{XIII.17})$$

Полученная формула наиболее полно выражает закон накопления погрешностей при измерении длин. Преимущество формулы (XIII.17) особенно проявляется в условиях подземных съемок, где при малой длине сторон влияние погрешностей, не зависящих от измеряемой длины, весьма существенно.

Формулы (XIII.16) и (XIII.17) являются эмпирическими, так как коэффициенты μ , λ , η , входящие в них, определяются опытным путем.

Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ рекомендует средние погрешности измерения длин сторон подземных опорных полигонометрических ходов определять по формуле (XIII.16), используя следующие значения коэффициентов μ , λ :

в выработках с углом наклона $< 15^\circ$ $\mu = 0,0005$; $\lambda = 0,00005$;
в выработках с углом наклона $> 15^\circ$ $\mu = 0,0015$; $\lambda = 0,00010$.

§ 114. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ОБЩЕЙ ФОРМУЛЫ СРЕДНЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ

Значение коэффициентов μ , λ , η формул (XIII.16) и (XIII.17) находят опытным путем. Поскольку значения коэффициентов зависят от принятого способа измерения длины и от условий измерений, найденные их значения должны быть отнесены к определенным условиям и способу измерения.

Существуют четыре способа определения коэффициентов:

- 1) по результатам двойных измерений длины сторон одним и тем же способом;
- 2) из сопоставления значений длины одних и тех же сторон, измеренных высокоточным и обычным способами;
- 3) по невязкам полигонометрических ходов, замкнутых «на себя»;
- 4) по невязкам полигонометрических ходов, опирающихся на две твердые стороны.

Последний способ в маркшейдерской практике применяется редко и не рассматривается в настоящем учебнике. Наибольший интерес представляет второй способ, так как в этом случае могут быть определены значения всех трех коэффициентов формулы (XIII.17). В первом и третьем способах достаточно надежно может быть определено лишь значение коэффициента μ , учитывающего влияние случайных погрешностей. Определение коэффициента μ по невязкам замкнутых «на себя» полигонометрических ходов может быть сделано по формулам С. Г. Могильного*.

Первый способ. Пусть имеется n двойных измерений длины различных сторон подземных полигонных ходов. Может быть составлен ряд разностей двойных измерений:

$$\begin{aligned}d_1 &= l'_1 - l''_1 \\d_2 &= l'_2 - l''_2 \\&\dots \dots \dots \\d_n &= l'_n - l''_n.\end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned}m_1 &= \frac{d_1}{\sqrt{2}}; \quad m_2 = \frac{d_2}{\sqrt{2}}; \dots; \quad m_n = \frac{d_n}{\sqrt{2}}; \\ \mu_1 &= \frac{m_1}{\sqrt{l_1}}; \quad \mu_2 = \frac{m_2}{\sqrt{l_2}}; \dots; \quad \mu_n = \frac{m_n}{\sqrt{l_n}}\end{aligned}$$

или

$$\mu_i = \frac{d_i}{\sqrt{2l_i}}.$$

* Маркшейдерское дело в социалистических странах. Вып. 2. Лейпциг, 1966.

Среднее квадратическое значение коэффициента влияния случайных погрешностей

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[\mu\mu]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}. \quad (\text{XIII.18})$$

Если измерения отягощены остаточным влиянием систематических погрешностей, о чём можно судить, определив

$$\lambda_0 = \frac{[d]}{[l]},$$

то коэффициент влияния случайных погрешностей следует определять по формуле

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[d'd']}{2(n-1)}}, \quad (\text{XIII.19})$$

где

$$d' = d - \lambda_0 l.$$

Второй способ. Из числа сторон подземных теодолитных ходов выбирают ряд сторон различной длины, которые измеряют исследуемым способом. Длину тех же сторон измеряют значительно более точным способом, например инварными лентами на штативах. Погрешности вторых (более точных) измерений по сравнению с погрешностями первых измерений должны быть настолько малы, чтобы ими можно было пренебречь. В этом случае результат более точного измерения может быть принят за истинное значение длины соответствующей стороны хода.

Пусть L_1, L_2, \dots, L_N — результаты более точного измерения длины сторон; l_1, l_2, \dots, l_N — результаты измерения длины тех же сторон обычным способом; N — число измеренных сторон.

Тогда истинные погрешности измерения длины сторон будут:

$$\Delta_1 = l_1 - L_1;$$

$$\Delta_2 = l_2 - L_2;$$

$$\dots$$

$$\Delta_N = l_N - L_N.$$

Общее число измерений для удобства последующих вычислений может быть по длине измеренных сторон разбито на какое-то число групп k , т. е.

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_k.$$

Разбивка на группы определяется наибольшей разностью длин сторон, включаемых в одну группу. Эту разность исследователь может выбрать по своему усмотрению, но она не должна быть очень велика. Она может быть даже различной для разных групп.

Для каждой группы длин найдем средние погрешности:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]_1}{n_1}}; \quad m_2 = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]_2}{n_2}}; \quad \dots; \quad m_k = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]_k}{n_k}}.$$

Веса найденных значений погрешностей примем:

$$p_1 = n_1; \quad p_2 = n_2; \quad \dots; \quad p_k = n_k.$$

Пусть определению подлежат коэффициенты μ , λ и η формулы (XIII.17). Относя найденную среднюю квадратическую погрешность к среднему значению длины данной группы, составляем k уравнений:

$$m_1^2 = \mu^2 L_1 + \lambda^2 L_1^2 + \eta^2 \text{ с весом } p_1;$$

$$m_2^2 = \mu^2 L_2 + \lambda^2 L_2^2 + \eta^2 \text{ с весом } p_2;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$m_k^2 = \mu^2 L_k + \lambda^2 L_k^2 + \eta^2 \text{ с весом } p_k.$$

В последней системе уравнений известны средние значения длины каждой группы L_1, L_2, \dots, L_k , средние погрешности m_1, m_2, \dots, m_k и веса p_1, p_2, p_k . Неизвестны коэффициенты μ, λ, η . При этом $k > 3$.

Рассматривая данный случай как посредственные наблюдения и применяя принцип наименьших квадратов, переходим к трем нормальным уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} [pL^2] \mu^2 + [pL^3] \lambda^2 + [pL] \eta^2 - [pLm^2] &= 0; \\ [pL^3] \mu^2 + [pL^4] \lambda^2 + [pL^2] \eta^2 - [pL^2m^2] &= 0; \\ [pL] \mu^2 + [pL^2] \lambda^2 + [p] \eta^2 - [pm^2] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad \text{(XIII.20)}$$

Решив полученные нормальные уравнения, найдем искомые значения коэффициентов μ, λ, η .

Третий способ. Сущность способа изложена в упомянутой выше работе С. Г. Могильного. Ниже изложены лишь сведения, необходимые для практического решения задачи.

Пусть имеем N замкнутых полигонометрических ходов, в которых

f_{β_i} — угловые невязки;

f_x, f_y — невязки в приращениях координат, вычисленные по исправленным углам;

n_i — число углов соответствующего хода.

Из курса «Теория погрешностей и способ наименьших квадратов» известно, что при строгом уравновешивании полигонометрических ходов необходимо знать величину соотношения

$$q = \frac{\mu^2}{m_{\beta}^2}, \quad \text{(XIII.21)}$$

где μ — коэффициент влияния случайных погрешностей при измерении длин сторон хода; m_{β} — погрешность измерения горизонтального угла.

Средняя квадратическая погрешность $m_{f_{ix}}$ невязки f_{ix} , вычисленной по исправленным углам, выражается формулой

$$m_{f_{ix}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \left[\frac{yy}{p} \right]_i m_{\beta}^2 + \mu^2 [l \cos^2 \alpha]_i, \quad (\text{XIII.22})$$

где y — проекции кратчайших расстояний от центра тяжести системы точек полигонометрического хода до каждой из его вершин на ось y ; α — дирекционные углы сторон хода; l — измеренные длины сторон хода.

Если было бы известно соотношение q , то значение m_{β} можно определить дважды:

по невязкам f_{ix}

$$m_{\beta}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{f_{ix}^2}{\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{yy}{p} \right] + q [l \cos^2 \alpha]};$$

по угловым невязкам

$$m_{\beta}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{f_{\beta i}^2}{n}.$$

Используя указанные зависимости и принимая число используемых полигонов в первом и втором выражениях за N и M , получим

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=N} \frac{f_{ix}^2}{\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{yy}{p} \right] + q [l \cos^2 \alpha]_i}}{\sum_{i=1}^{i=M} \frac{f_{\beta i}^2}{\left[\frac{1}{p} \right]_i}} = \frac{N}{M}. \quad (\text{XIII.23})$$

Полученное выражение дает возможность определить величину \hat{q} . Исследования показали, что наиболее достоверное значение \hat{q} может быть получено при определенном положении оси x' , составляющей угол φ_i с осью x принятой системы координат.

Значение угла φ_i определяется из уравнения

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{xx}{p} \right]_i - \lambda_i [l \sin^2 \alpha]_i \right) \operatorname{tg}^2 \varphi - \\ & - 2 \left(\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{xy}{p} \right]_i + \lambda_i [l \sin \alpha \cos \alpha]_i \right) \operatorname{tg} \varphi + \\ & + \frac{1}{\rho^2} \left[\frac{yy}{p} \right]_i - \lambda_i [l \cos^2 \alpha]_i = 0. \end{aligned} \quad (\text{XIII.24})$$

Входящее в это выражение значение λ_i определяется из уравнения

$$\left(\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{xy}{p}\right]_i + \lambda [l \sin \alpha \cos \alpha]_i\right)^2 - \left(\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{xx}{p}\right]_i - \lambda [l \sin^2 \alpha]_i\right) \left(\frac{1}{\rho^2} \left[\frac{yy}{p}\right]_i - \lambda [l \cos^2 \alpha]_i\right) = 0. \quad (\text{XIII.25})$$

Для полученной новой системы координат определяем:

$$\dot{f}_{ix'} = \dot{f}_{ix} \cos \varphi + \dot{f}_{iy} \sin \varphi;$$

$$\left[\frac{y'y'}{p}\right] = \left[\frac{xx}{p}\right] \sin^2 \varphi - 2 \left[\frac{xy}{p}\right] \sin \varphi \cos \varphi + \left[\frac{yy}{p}\right] \cos^2 \varphi;$$

$$[l \cos^2 \alpha'] = [l \sin^2 \alpha] \sin^2 \varphi + 2 [l \sin \alpha \cos \alpha] \cos \varphi \sin \varphi + [l \cos^2 \alpha] \cos^2 \varphi.$$

Эти значения подставляем в формулы (XIII.23) и определяем окончательное значение \hat{q} , а затем

$$\mu = \sqrt{\hat{q} m_B^2}. \quad (\text{XIII.26})$$

§ 115. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ СТОРОН СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ

При измерении длины сторон подземных полигонометрических ходов светодальномерами наклонное расстояние L определяется по формуле

$$L = \frac{v \Delta \varphi}{4\pi f} + k,$$

где v — скорость распространения световых волн в воздухе; $\Delta \varphi$ — разность фаз отправленного и возвратившегося к приемопередатчику модулированного светового потока; f — частота модулированных колебаний светового потока; k — постоянная поправка светодальномера.

Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний

$$m_L^2 = \frac{m_v^2}{v^2} L^2 + \frac{m_{\Delta \varphi}^2}{\Delta^2 \varphi} L^2 + \frac{m_f^2}{f^2} L^2 + m_k^2, \quad (\text{XIII.27})$$

где m_v — погрешность определения скорости света в воздухе; $m_{\Delta \varphi}$ — погрешность определения разности фаз; m_f — погрешность определения частоты модуляции света; m_k — погрешность определения постоянной поправки светодальномера.

В практике общую погрешность измерения расстояний светодальномерами принято характеризовать эмпирической формулой

$$M_L = \pm (a + bL), \quad (\text{XIII.28})$$

где a — составляющая, обусловленная влиянием погрешностей, не зависящих от величины измеряемого расстояния; b — коэффициент, учитывающий влияние погрешностей, зависящих от величины измеряемого расстояния; L — длина измеряемого расстояния.

Значения величин a и b определяют опытным путем из обработки результатов многократных измерений исследуемых светодалномером базисов, длины которых известны с высокой степенью точности.

Методика обработки таких измерений описана выше.

Значение величины a обусловлено влиянием инструментальных погрешностей и личных погрешностей наблюдателя.

Коэффициент b зависит от погрешностей определения скорости света в вакууме, показателя преломления световых волн в воздухе, частоты модуляции светового потока.

Исследования точности измерения расстояния светодалномером МСД-1М позволили получить следующие значения рассматриваемых коэффициентов: $a = 1,5$ мм, $b = 5 \cdot 10^{-6}$.

Тогда погрешность измерения расстояний (мм) светодалномером будет

$$M_L = \pm (1,5 + 5 \cdot 10^{-6}L).$$

Приняв $L = 100$ м, получим величину относительной погрешности измерения расстояния $M_L : L = 1 : 50\,000$.

Приведенный пример показывает, что точность измерения расстояний светодалномером МСД-1М в 10 раз выше, чем точность измерений, выполненных в аналогичных условиях стальной рулеткой.

Г л а в а XIV

НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ И НИВЕЛИРНЫХ ХОДАХ

§ 116. ПОГРЕШНОСТИ КООРДИНАТ ВЕРШИН И ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ СТОРОН СВОБОДНОГО ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА

Общее выражение средних погрешностей координат вершин хода. Пусть от твердой точки 1 и исходного направления проложен свободный полигонометрический ход 1, 2, 3, ..., K (рис. 185). Погрешности измерения углов и длин сторон этого хода приводят к неправильному определению координат его вершин.

Обозначим:

- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ — измеренные углы хода;
- $m_{\beta_1}, m_{\beta_2}, m_{\beta_3}, \dots, m_{\beta_n}$ — средние погрешности измеренных углов;
- $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ — измеренная длина сторон хода;
- $m_{l_1}, m_{l_2}, m_{l_3}, \dots, m_{l_n}$ — средние погрешности измеренной длины сторон;
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ — дирекционные углы сторон хода.

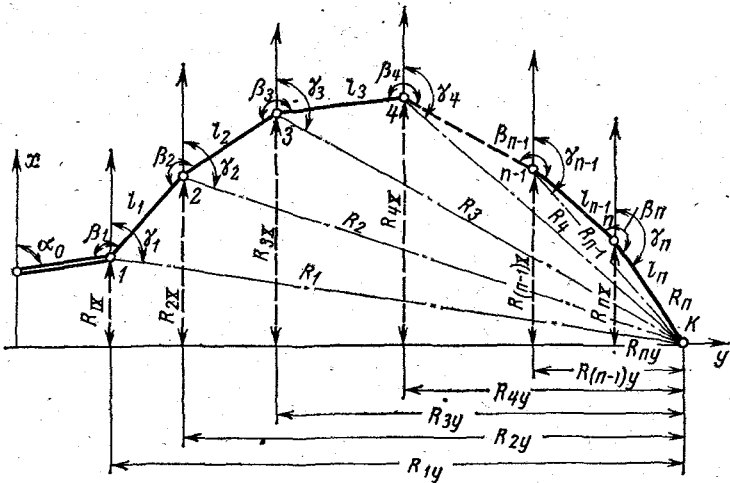


РИС. 185. Свободный полигонометрический ход с указанием кратчайших расстояний R от последней точки хода до предыдущих точек

Координаты точки K хода вычисляют по формулам:

$$x_k = x_1 + l_1 \cos \alpha_1 + l_2 \cos \alpha_2 + l_3 \cos \alpha_3 + \dots + l_n \cos \alpha_n;$$

$$y_k = y_1 + l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin \alpha_2 + l_3 \sin \alpha_3 + \dots + l_n \sin \alpha_n.$$

Средние погрешности координат точки K хода будут:

$$\begin{aligned} M_{x_k}^2 &= \left(\frac{\partial x_k}{\partial \beta_1} \right)^2 \frac{m_{\beta_1}^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial x_k}{\partial \beta_2} \right)^2 \frac{m_{\beta_2}^2}{\rho^2} + \\ &+ \dots + \left(\frac{\partial x_k}{\partial \beta_n} \right)^2 \frac{m_{\beta_n}^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial x_k}{\partial l_1} \right)^2 m_{l_1}^2 + \\ &+ \left(\frac{\partial x_k}{\partial l_2} \right)^2 m_{l_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial x_k}{\partial l_n} \right)^2 m_{l_n}^2; \\ M_{y_k}^2 &= \left(\frac{\partial y_k}{\partial \beta_1} \right)^2 \frac{m_{\beta_1}^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial y_k}{\partial \beta_2} \right)^2 \frac{m_{\beta_2}^2}{\rho^2} + \\ &+ \dots + \left(\frac{\partial y_k}{\partial \beta_n} \right)^2 \frac{m_{\beta_n}^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial y_k}{\partial l_1} \right)^2 m_{l_1}^2 + \\ &+ \left(\frac{\partial y_k}{\partial l_2} \right)^2 m_{l_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y_k}{\partial l_n} \right)^2 m_{l_n}^2 \end{aligned}$$

или сокращенно:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_k}^2 &= \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\partial x_k}{\partial \beta_i} \right)^2 m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\partial x_k}{\partial l_i} \right)^2 m_{l_i}^2; \\ M_{y_k}^2 &= \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\partial y_k}{\partial \beta_i} \right)^2 m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\partial y_k}{\partial l_i} \right)^2 m_{l_i}^2. \end{aligned} \right\} \text{(XIV.1)}$$

В формулах (XIV.1) первое слагаемое представляет собой квадрат средней погрешности координат точки K , зависящей от средних погрешностей измерения углов. Второе слагаемое выражает квадрат средней погрешности координат, обусловленной средними погрешностями измерения длины, т. е.:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_K}^2 &= M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2; \\ M_{y_K}^2 &= M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIV.2})$$

Средняя погрешность координат точки K хода, обусловленная средними погрешностями измерения его углов. Найдем значения частных производных, входящих в формулу (XIV.1)

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} &= - \left[l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_1} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_1} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_1} \right]; \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_2} &= - \left[l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_2} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_2} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_2} \right]; \quad (\text{XIV.3}) \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_n} &= - \left[l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_n} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_n} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_n} \right]. \end{aligned}$$

Зная, что

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 + \beta_1 \pm 180^\circ; \\ \alpha_2 &= \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 \pm 2 \cdot 180^\circ; \\ &\dots \dots \dots \\ \alpha_n &= \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n \pm n180^\circ, \end{aligned}$$

находим значения частных производных $\frac{\partial \alpha_i}{\partial \beta_i}$;

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_1} &= \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_1} = \dots = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_1} = 1; \\ \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_2} &= 0; \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_2} = \dots = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_2} = 1; \end{aligned}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_n} = \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_n} = \dots = \frac{\partial \alpha_{n-1}}{\partial \beta_n} = 0; \quad \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_n} = 1.$$

Подставив значения частных производных в выражения (XIV.3), получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} &= - [l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin \alpha_2 + \dots + l_n \sin \alpha_n]; \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_2} &= - [l_2 \sin \alpha_2 + \dots + l_n \sin \alpha_n]; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_n} &= - l_n \sin \alpha_n. \end{aligned}$$

Выражения в квадратных скобках представляют собой разности ординат последней точки K полигона и точки с номером i , по углу которой взята частная производная. Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} &= -\Delta y_{1K} = -(y_K - y_1) = y_1 - y_K; \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_2} &= -\Delta y_{2K} = -(y_K - y_2) = y_2 - y_K; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_n} &= -\Delta y_{nK} = -(y_K - y_n) = y_n - y_K. \end{aligned}$$

Обозначим через R_1, R_2, \dots, R_n — кратчайшие расстояния от точки K полигона до соответствующих точек хода, а через $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ — дирекционные углы этих направлений. Тогда приращения координат могут быть найдены по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta y_{1K} &= R_1 \sin \gamma_1; \\ \Delta y_{2K} &= R_2 \sin \gamma_2; \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta y_{nK} &= R_n \sin \gamma_n. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} &= -R_1 \sin \gamma_1 = -R_{1y}; \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_2} &= -R_2 \sin \gamma_2 = -R_{2y}; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial x_K}{\partial \beta_n} &= -R_n \sin \gamma_n = -R_{ny}, \end{aligned}$$

где $R_{1y}, R_{2y}, \dots, R_{ny}$ — проекции соответствующих кратчайших расстояний на ось ординат.

Подставив значения частных производных в выражение (XIV.1), получим

$$M_{x\beta}^2 = R_{1y}^2 \frac{m_{\beta_1}^2}{\rho^2} + R_{2y}^2 \frac{m_{\beta_2}^2}{\rho^2} + \dots + R_{ny}^2 \frac{m_{\beta_n}^2}{\rho^2}$$

или сокращенно

$$M_{x\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{iy}^2 m_{\beta_i}^2. \tag{XIV.4}$$

Аналогично можно найти выражение для средней погрешности ординаты y точки K хода

$$M_{y\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ix}^2 m_{\beta_i}^2, \tag{XIV.5}$$

где R_{ix} — проекции расстояний R на ось абсцисс.

Если углы хода измерены равноточно, т. е.

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = \dots = m_{\beta_n} = m_{\beta},$$

то выражения (XIV.4), (XIV.5) будут иметь вид:

$$M_{x_{\beta}}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{iy}^2; \quad (\text{XIV.6})$$

$$M_{y_{\beta}}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ix}^2. \quad (\text{XIV.7})$$

Средняя погрешность координат точки К хода, обусловленная погрешностями измерения длины сторон. Измерение длины сторон подземных полигонометрических ходов сопровождается случайными и систематическими погрешностями, каждые из которых соответственно будут оказывать влияние на погрешность M_{x_i} , M_{y_i} точки К хода. В соответствии с этим примем:

$$M_{x_i}^2 = M_{x_i'}^2 + M_{x_i''}^2;$$

$$M_{y_i}^2 = M_{y_i'}^2 + M_{y_i''}^2,$$

где $M_{x_i'}$ и $M_{y_i'}$ — погрешности координат точки К, обусловленные влиянием случайных погрешностей измерения длины; $M_{x_i''}$ и $M_{y_i''}$ — погрешности координат точки К, обусловленные влиянием систематических погрешностей измерения длины.

а) Определим $M_{x_i'}$ и $M_{y_i'}$.

Значения частных производных формулы (XIV.1) будут:

$$\frac{\partial x_K}{\partial l_1} = \cos \alpha_1, \quad \frac{\partial x_K}{\partial l_2} = \cos \alpha_2, \quad \dots, \quad \frac{\partial x_K}{\partial l_n} = \cos \alpha_n;$$

$$\frac{\partial y_K}{\partial l_1} = \sin \alpha_1, \quad \frac{\partial y_K}{\partial l_2} = \sin \alpha_2, \quad \dots, \quad \frac{\partial y_K}{\partial l_n} = \sin \alpha_n;$$

тогда

$$M_{x_i'}^2 = m_{l_1}^2 \cos^2 \alpha_1 + m_{l_2}^2 \cos^2 \alpha_2 + \dots + m_{l_n}^2 \cos^2 \alpha_n;$$

$$M_{y_i'}^2 = m_{l_1}^2 \sin^2 \alpha_1 + m_{l_2}^2 \sin^2 \alpha_2 + \dots + m_{l_n}^2 \sin^2 \alpha_n$$

или

$$\left. \begin{aligned} M_{x_i'}^2 &= \sum_{i=1}^{i=n} m_{l_i}^2 \cos^2 \alpha_i; \\ M_{y_i'}^2 &= \sum_{i=1}^{i=n} m_{l_i}^2 \sin^2 \alpha_i. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIV.8})$$

Случайная погрешность измерения каждой длины

$$m_{l_i} = \pm \mu \sqrt{l_i}.$$

Подставив значение m_{l_i} в формулы (XIV.8), получим:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_i'}^2 &= \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cos^2 \alpha_i; \\ M_{y_i'}^2 &= \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \sin^2 \alpha_i. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIV.9})$$

б) Определим $M_{x_i''}$ и $M_{y_i''}$.

Систематическая погрешность измерения длины каждой стороны хода

$$m_{l_i}'' = \lambda l_i.$$

Поскольку систематические погрешности сохраняют свое постоянство по величине и знаку, они будут изменять длину каждой линии пропорционально коэффициенту λ . В связи с этим все вершины полигонометрического хода (рис. 186) переместятся по направлениям линий L_i , соединяющих первую точку с каждой из вершин хода, на величину λL_i .

Обозначим длину замыкающей, соединяющей первую и последнюю точки хода, через L , дирекционный угол замыкающей через γ , тогда погрешности $M_{x_i''}$, $M_{y_i''}$ последней точки K хода по координатным осям будут:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_i''} &= \lambda L \cos \gamma; \\ M_{y_i''} &= \lambda L \sin \gamma. \end{aligned} \right\}$$

(XIV.10)

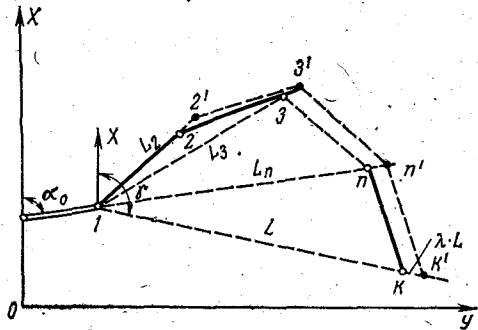


РИС. 186. К определению средних погрешностей координат точек свободного полигонометрического хода, обусловленных систематическими погрешностями измерения его длин сторон

Окончательно средние погрешности координат точки K , обусловленные погрешностями измерения длины сторон хода, будут:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_i}^2 &= \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2 \gamma; \\ M_{y_i}^2 &= \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2 \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIV.11})$$

Общие средние погрешности координат точки K . Средние погрешности координат точки K свободного полигонометрического хода, обусловленные влиянием средних погрешностей измерения его углов и длины сторон, определяют по формулам:

$$M_{x_K}^2 = M_{x_B}^2 + M_{x_i}^2,$$

$$M_{y_K}^2 = M_{y_B}^2 + M_{y_i}^2.$$

Подставим в правые части этих выражений значения M_{x_B} , M_{y_B} , M_{x_i} , M_{y_i} .

Тогда:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_K}^2 &= \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{iy}^2 m_{\beta_i}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2 \gamma; \\ M_{y_K}^2 &= \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ix}^2 m_{\beta_i}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2 \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIV.12})$$

При равноточно измеренных углах полигонометрического хода выражения (XIV.12) будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_K}^2 &= \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{iy}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2 \gamma, \\ M_{y_K}^2 &= \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ix}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2 \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIV.13})$$

При практическом применении формул (XIV.12) и (XIV.13) значение m_{β} определяется по формулам, приведенным в гл. XII, или принимаются в соответствии с требованиями маркшейдерской инструкции для соответствующего разряда полигонометрического хода. Значения R_{ix} , R_{iy} находятся графически по плану горных работ масштаба 1 : 1000 или 1 : 2000.

Рассмотрение выражений (XIV.12) и (XIV.13) показывает, что для уменьшения средних погрешностей координат вершин хода необходимо повышать точность измерения его углов и длин сторон.

Во многих случаях маркшейдерской практики (например, при определении возможного расхождения осей забоев выработки, проводимой встречными забоями) требуется определить погрешность точки хода не по направлениям осей координат, а по некоторым другим, обычно взаимно перпендикулярным направлениям. Для решения данной задачи могут быть использованы формулы

(XIV.12) и (XIV.13), только лишь необходимо построить новую условную систему координат, оси которой совпали бы с заданными направлениями. Расстояния от последней точки хода до соответствующих вершин проектируют на принятые направления условной системы координат, а дирекционные углы этих направлений определяют от условной оси x' .

Средняя погрешность дирекционного угла любой стороны свободного полигонометрического хода. Дирекционный угол n -й стороны полигонометрического хода

$$\alpha_n = \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n \pm n \cdot 180^\circ,$$

где α_0 — дирекционный угол исходной стороны хода; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — измеренные углы хода.

Обозначим:

$m_{\beta_1}, m_{\beta_2}, \dots, m_{\beta_n}$ — средние погрешности измеренных углов;
 m_{α_0} — средняя погрешность дирекционного угла исходной стороны;
 m_{α_n} — средняя погрешность дирекционного угла n -й стороны хода.

Тогда

$$m_{\alpha_n}^2 = \left(\frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_1}\right)^2 m_{\beta_1}^2 + \left(\frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_2}\right)^2 m_{\beta_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_n}\right)^2 m_{\beta_n}^2. \quad (\text{XIV.14})$$

Значения частных производных будут

$$\frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_1} = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_2} = \dots = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_n} = 1.$$

Подставив значения частных производных в выражение (XIV.14), получим

$$m_{\alpha_n}^2 = \sum_{i=1}^{i=n} m_{\beta_i}^2 \quad \text{или} \quad m_{\alpha_n} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} m_{\beta_i}^2}. \quad (\text{XIV.15})$$

При равноточно измеренных углах полигонометрического хода

$$m_{\alpha_n} = \pm m_{\beta} \sqrt{n}. \quad (\text{XIV.16})$$

С учетом средней погрешности дирекционного угла исходной стороны хода m_{α_0} формулы (XIV.15) и (XIV.16) будут иметь вид:

$$m'_{\alpha_n} = \pm \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + \sum_{i=1}^{i=n} m_{\beta_i}^2}; \quad (\text{XIV.17})$$

$$m_{\alpha_n} = \pm \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + n m_{\beta}^2}. \quad (\text{XIV.18})$$

§ 117. СРЕДНЯЯ ПОГРЕШНОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ К СВОБОДНОГО ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА

Средняя погрешность положения точки К свободного полигонометрического хода

$$M_K = \pm \sqrt{M_{x_K}^2 + M_{y_K}^2},$$

где

$$M_{x_K}^2 = M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2;$$

$$M_{y_K}^2 = M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2.$$

Следовательно,

$$M_K = \pm \sqrt{M_{x_\beta}^2 + M_{y_\beta}^2 + M_{x_l}^2 + M_{y_l}^2}.$$

Обозначим:

$$M_{x_\beta}^2 + M_{y_\beta}^2 = M_\beta^2;$$

$$M_{x_l}^2 + M_{y_l}^2 = M_l^2.$$

Тогда

$$M_K = \pm \sqrt{M_\beta^2 + M_l^2}.$$

Преобразуем выражения M_β и M_l , подставив в них значения M_{x_β} , M_{y_β} , M_{x_l} , M_{y_l} из формул (XIV.6), (XIV.7), (XIV.11),

$$M_\beta^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ix}^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{iy}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \left(\sum_{i=1}^{i=n} R_{ix}^2 + \sum_{i=1}^{i=n} R_{iy}^2 \right).$$

Однако

$$R_{ix}^2 + R_{iy}^2 = R_i^2.$$

Тогда

$$M_\beta^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_i^2. \quad (\text{XIV.19})$$

Аналогично получим

$$M_l^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2 \gamma + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2 \gamma.$$

Отсюда

$$M_l^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i + \lambda^2 L^2$$

или

$$M_l = \pm \sqrt{\mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i + \lambda^2 L^2}.$$