

622.1

К 14

6П1.1

К 14

Д. М. КАЗИКАЕВ,
В. Я. АНЦИБОР

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ
СЪЕМКА
ПУСТОТ
НА
РУДНИКАХ

1974 г. Тираж 5000 экз. Зак. № 2582

ТЕХБИБЛИОТЕКА
Центрального

16390



МОСКВА «НЕДРА» 1977

Казиев Д. М., Анибор В. Я. Маркшейдерская съемка пустот на рудниках. М., «Недра», 1977, 192 с.
В книге освещены вопросы маркшейдерской съемки подземных пустот, образуемых при отработке рудных залежей. Приведена классификация пустот с точки зрения доступа к их контурам, изложена методика определения требуемой точности съемки, рассмотрены основные научные и производственные задачи, решаемые по результатам съемки.

Отмечены особенности распространения электромагнитных колебаний, используемых в приборах для съемки пустот; приведены сведения о типах лазеров и показана возможность использования их для маркшейдерских измерений. Данна классификация методов съемки, рассмотрены принцип действия приборов, условия их применения и точность результатов. Освещены вопросы организации и безопасности работ при съемке подземных пустот и обращении с аппаратурой.

Книга предназначена для инженерно-технических работников маркшейдерской службы горнорудных предприятий и может быть полезна студентам вузов и учащимся техникумов, обучающимся по специальности «Маркшейдерское дело».

Табл. 6, ил. 61, список лит. — 59 назв.

К 30702—184 225—77
043(01)—77

© Издательство «Недра», 1977

ПРЕДИСЛОВИЕ

В постановлении Верховного Совета СССР «О мерах по дальнейшему усилению охраны недр и улучшению использования полезных ископаемых» указывается, что рациональное, комплексное и экономичное использование полезных ископаемых при их добыче и переработке является одной из важнейших государственных задач. Каждое вскрытое месторождение должно отрабатываться способами, обеспечивающими наибольшую технически возможную полноту выемки с минимальными потерями полезного ископаемого.

В условиях научно-технического прогресса в горнодобывающей промышленности на подземных рудниках получили широкое распространение системы разработки с отбойкой руды глубокими скважинами. Этот способ выемки, существенно улучшающей технико-экономические показатели добычных работ, приводит к образованию значительных по размеру пустот (очистных камер). В этих условиях существенно изменяется объем, содержание и методика маркшейдерских работ, возникает необходимость в определении положения и размеров пустот. Маркшейдерская съемка камер и других пустот до последнего времени ведется методами, не обеспечивающими достаточную точность, но требующими больших затрат времени. Отсутствие достоверной информации о размерах обнажений не дает возможности своевременно и правильно изменять технологию разработки, что приводит в ряде случаев к увеличению охранных зон. Кроме того, совершенствование технологии переработки полезного ископаемого приводит к необходимости отработки тех запасов полезного ископаемого, которые до определенного времени были забалансовыми на данном месторождении. При отработке таких запасов открытым или подземным способом безопасное ведение добычных работ возможно лишь при наличии достоверной маркшейдерской документации о положении контуров существующих очистных пространств.

Решение всех горнотехнических задач в той или иной мере основывается на материалах маркшейдерской съемки горных выработок. Съемки очистных камер, например, необходимы для решения таких задач, как определение объемов добываемого полезного ископаемого; определение величин потерь и разубоживания его; установление контуров подземных обнажений пород; наблюдение за поведением целиков и определение степени устойчивости их; составление паспортов буровзрывных работ и др.

Попытки разработать надежные методы и соответствующие приборы для съемки подземных пустот ведутся на протяжении многих лет. Большой вклад в разработку и внедрение методов и приборов для производства маркшейдерской съемки недоступных подземных пустот внесли: И. М. Бахурин, Г. Т. Нестеренко, И. А. Грейм, А. П. Трунин, Л. В. Фомичев (ВНИМИ), группа работников Ленинградского горного института под руководством Д. А. Казаковского, В. М. Зубов (Новочеркасский политехнический институт), группа работников Донецкого политехнического института под руководством Д. Н. Оглоблина. ВИОГЕМом при непосредственном участии авторов были также разработаны некоторые методы и приборы для выполнения этих работ.

В настоящее время методы и приборы для съемки очистных камер освещены лишь в отдельных статьях. Авторы сделали попытку обобщить научно-технические разработки и накопленный практический опыт производства маркшейдерской съемки очистных камер и других пустот.

ГЛАВА I ПОДЗЕМНЫЕ НЕДОСТУПНЫЕ ПУСТОТЫ

§ 1. ВИДЫ ПОДЗЕМНЫХ НЕДОСТУПНЫХ ПУСТОТ И СПОСОБЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Под воздействием различных природных явлений или в результате деятельности человека в массиве горных пород могут образовываться пустоты различных размеров и конфигураций. Неизбежно возникает задача определения размеров, формы и ориентировки в пространстве этих пустот. Качественное решение этой задачи возможно лишь в том случае, если будет выполнена инструментальная маркшейдерская съемка пустот несвойственной полнотой и точностью. Именно этим определяются возможности и уровень решения подавляющего большинства научно-технических задач, связанных с изучением и использованием подземных пустот.

Однако подземные пустоты существенно различаются не только по форме и размерам или по происхождению и использованию. С точки зрения решений отмеченных выше задач важным отличительным признаком подземных пустот становится доступность их для маркшейдерской съемки, так как эта особенность не только влияет на полноту и точность съемки, но и является решающей при выборе методов и приборов для выполнения съемочных работ.

В маркшейдерской практике уже продолжительное время подземные пустоты разделяются на «недоступные» и «доступные». При этом среди специалистов имеются расхождения при отнесении какой-либо группы пустот к той или иной категории. Такое положение помимо формальной стороны, например неоднозначности толкования понятий, порождает более серьезные трудности (часто и ошибки) методического характера. По-

этому важное значение приобретает систематизация используемых терминов, понятий и определений, более четкая их формулировка и, наконец, классификация объектов съемки.

В геологии, горном деле и смежных с ними науках широко применяется термин «пустота», как некоторая полость в горных породах. Поскольку в природе не существует абсолютных пустот (в земной коре, во всяком случае), то этот термин нужно признать в известной мере условным. Однако авторы не видят необходимости в замене его другим и предлагают лишь несколько конкретизировать. Таким образом, подземными пустотами мы будем называть полости в массиве горных пород, заполненные воздухом, газом, водой, нефтью, рассолом и т. п.

Следует считать также, что с точки зрения маркшейдерской съемки существующее уже разделение подземных пустот на доступные и недоступные является вполне оправданным, достаточным и в подавляющем большинстве случаев приемлемым. В соответствии с этим к категории недоступных для маркшейдерской съемки надо относить такие подземные полости, к стенкам которых (к обнажениям горных пород, формирующими пустоту) невозможен непосредственный доступ наблюдателя или этот доступ сопряжен с большой опасностью, т. е. запрещен существующими правилами безопасности. Все остальные подземные пустоты, следовательно, должны быть отнесены к категории доступных с точки зрения маркшейдерской съемки образующих их поверхностей.

Таким образом, термин «недоступные пустоты» в данном случае имеет несколько условный характер, так как под ним подразумевается отсутствие непосредственного доступа к стенкам пустот, хотя в отдельных случаях при этом возможно нахождение исполнителя в камере.

Пустоты в массиве горных пород существенно различаются по разнообразным признакам: форме, размерам, назначению, происхождению и т. д. Каждый из этих факторов в той или иной мере влияет на методику и технику измерений, на точность результатов съемки и трудоемкость работ.

По форме подземные пустоты могут быть геометрически правильными (очистные камеры, транспортные

шахты, бункеры и др.) и геометрически неправильными (камеры выщелачивания, газификации углей, карстовые полости и др.). Эти виды подземных пустот приведены на рис. 1. По соотношению размеров поверхностей, оконтуривающих пустоту, последние могут иметь несколько разновидностей. Причем это в равной мере относится к пустотам правильной и неправильной формы.

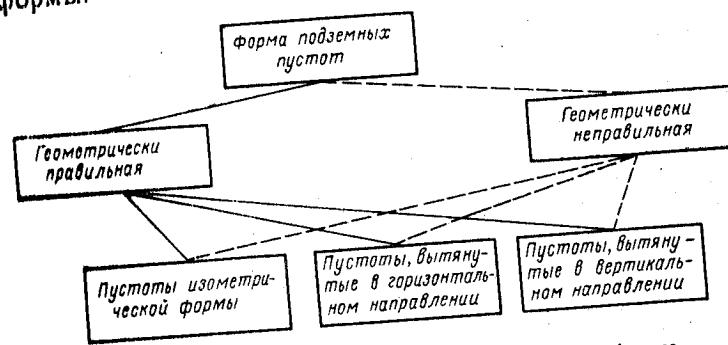


Рис. 1. Классификация подземных пустот по форме

На менее важными для съемки пустот являются их абсолютные размеры. До последнего времени, например, съемка недоступных камер размерами более 80 м считалась проблематичной, а съемка пустот длиной более 150—200 м и сейчас еще задача трудно осуществимая. Как будет показано дальше, каждый из разработанных приборов для съемки пустот имеет предел по измерению положения максимально удаленных точек поверхности обнажения. С другой стороны, многие из них имеют достаточно большой (до 10 м) ближний предел наблюдения, что также накладывает ограничения при съемке пустот сравнительно небольших размеров.

Исключительно большим разнообразием характеризуются подземные пустоты по назначению. Показательно, что человечество все более широко использует земные недра с самыми различными целями, вплоть до сооружения жилых комплексов. Это многообразие видно из классификации искусственно созданных подземных пустот по их назначению, приведенной на рис. 2.

Такое большое различие в назначении и условиях эксплуатации созданных пустот предопределяет и неодинаковые требования к точности, полноте и оперативности маркшейдерской съемки их.

Поясним это положение и проследим, каким образом назначение, условия эксплуатации пустот влияют на требования по методике и точности маркшейдерской съемки их.

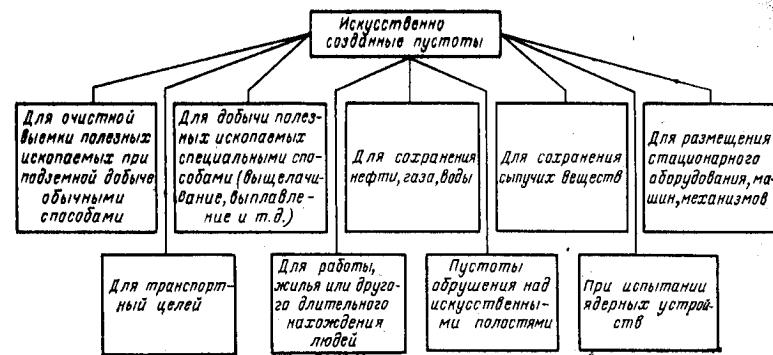


Рис. 2. Классификация подземных пустот по назначению

Рассмотрим, например, требования к маркшейдерской съемке пустот по точности ориентировки их в пространстве. Так, при этажно-камерной системе разработки рудных месторождений положение камер в пространстве должно быть определено с достаточно высокой точностью. Как будет показано ниже, в этом случае по азимуту погрешность ориентировки не должна превышать $30'$, а положение точек на стенах камер следует определять с ошибкой не более $1/200$. Такие требования являются следствием учета ряда факторов и специфических особенностей по назначению и эксплуатации данного вида пустот, например таких, как определение объемов добычи, величины потерь и разубоживания полезного ископаемого, необходимость сохранения заданных размеров опорных целиков и потолочин камер и др.

В то же время существует категория пустот (в зонах обрушения над очистными выработками, пустоты при выщелачивании или выплавлении полезных ископаемых и др.), для которых азимутальная ошибка ори-

ентировки их в пространстве допустима до 3° , а ошибки в определении координат пустоты могут доходить до нескольких метров.

Назначение пустот накладывает часто дополнительные требования к маркшейдерской съемке их. Например, в подземных камерах, предназначенных для размещения ответственных механизмов (подъемные машины шахт, дробилки, дозаторные устройства и т. п.), должны быть тщательно оформлены сопряжения их с другими близлежащими объектами (шахтным стволом, бункером и др.). Большая точность в определении положения стенок пустоты требуется также при последующем креплении их различными видами крепи.

На выбор методики и аппаратуры для съемки пустот влияет и временной фактор: условия для съемки при сооружении пустоты и при ее эксплуатации могут существенно отличаться по характеру доступа, по среде-заполнителю и другим признакам.

Резюмируя, следует подчеркнуть, что назначение и условия эксплуатации подземных пустот являются главнейшими факторами, определяющими требуемую точность и полноту их съемки, а отсюда и решающим образом влияющими на методику производства работ и используемые при этом технические средства.

Способы образования искусственных пустот отличаются исключительно большим разнообразием. Некоторое представление об этом можно получить по приводимой на рис. 3 упрощенной классификации подземных пустот по этому признаку, которая не претендует на полноту и носит в данном случае иллюстративный характер.

Важным здесь является то обстоятельство, что от способа образования зависят «съемочные» качества пустоты. Во-первых, это пути доступа к пустоте и наличие или отсутствие возможности съемки на определенном этапе (только при сооружении или только после сооружения и т. д.).

Важной качественной характеристикой пустоты, зависящей также от способа образования, является степень шероховатости ее стенок. С точки зрения маркшейдерской съемки пустот, наиболее благоприятными, очевидно, будут стены, сформированные механическим резанием пород, нежели взрыванием мелкошпуровых

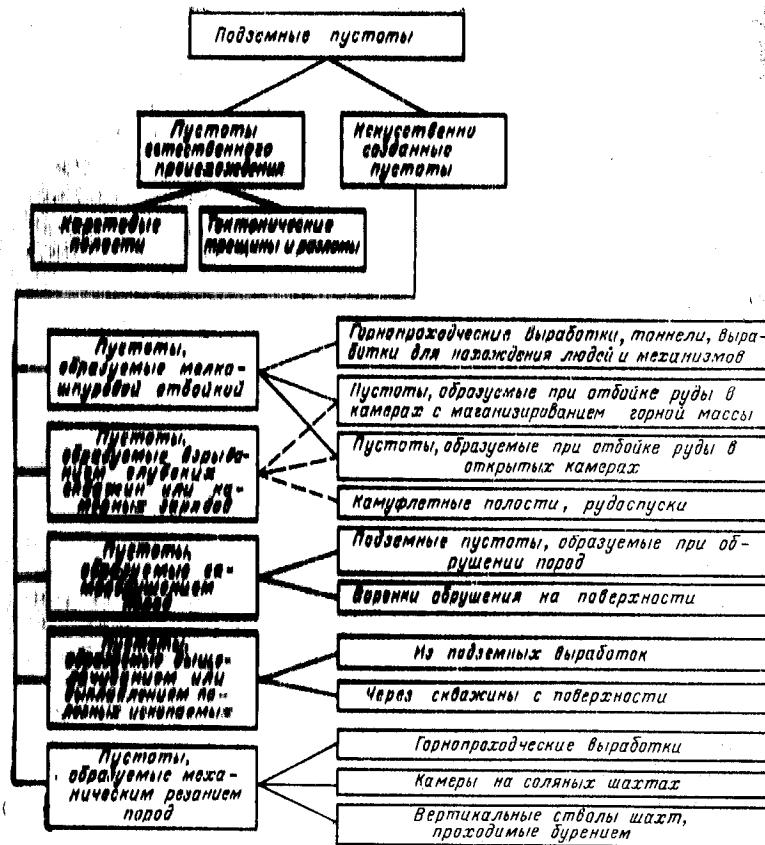


Рис. 3. Классификация подземных пустот по способу образования

зарядов, а тем более зарядов в глубоких скважинах или минных камерах.

Немаловажной характеристикой подземной пустоты для съемки во всех случаях является степень ее разведенности, т. е. в какой мере исполнителю съемочных работ известны форма, размеры, заполнитель и другие качества объекта. Так, если при образовании пустот при камерных системах разработки можно, как правило, с достаточно большой уверенностью прогнозировать эти качественные характеристики пустоты, то этого нельзя сказать о пустотах, образуемых при подземном выше-

личивании полезного ископаемого, или о пустотах обрушения.

Таким образом, рассмотрение подземных пустот, как объектов маркшейдерской съемки, показывает, что они имеют качественные показатели и формируют требования, которые необходимо выполнять или учитывать при выборе метода съемки, организации работ и назначении технических средств.

До сих пор были рассмотрены и проанализированы качества всех подземных пустот без разделения их на доступные и недоступные. Далее будут изложены сведения, относящиеся к съемке лишь недоступных искусственно созданных пустот.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ НЕДОСТУПНЫХ ПУСТОТ

Современное состояние научной разработанности и технической оснащенности проблемы съемки подземных недоступных пустот предполагает непременное выполнение условия вскрытия их какими-либо горными выработками или скважинами.

Существующие некоторые геофизические (в основном, сейсмоакустические) методы обнаружения пустот массивные пород позволяют в какой-то мере решить эту задачу без наличия вскрывающих пустоту каналов, однако результаты их не удовлетворяют по полноте и точности съемки, необходимые для решения технически (особенно маркшейдерских) задач.

По различным съемочным характеристикам, а также по типу вскрывающего канала недоступные пустоты могут быть разделены на три группы (рис. 4). К первому относятся пустоты, в пределах которых возможно и даже пребывание наблюдателя со съемочными техническими средствами (рис. 5).

Разновидности пустот, которые могут быть отнесены к этой группе, показаны на схеме. Следует заметить, что эта категория недоступных пустот является наименее трудоемкой и сложной для маркшейдерской съемки в силу того, что значительная часть (иногда до 50% обнажений пород, оконтуривающих пустоту, имеют прямой доступ и позволяют применять обычные виды съемок. Это обстоятельство поэтому оказывает сущест-

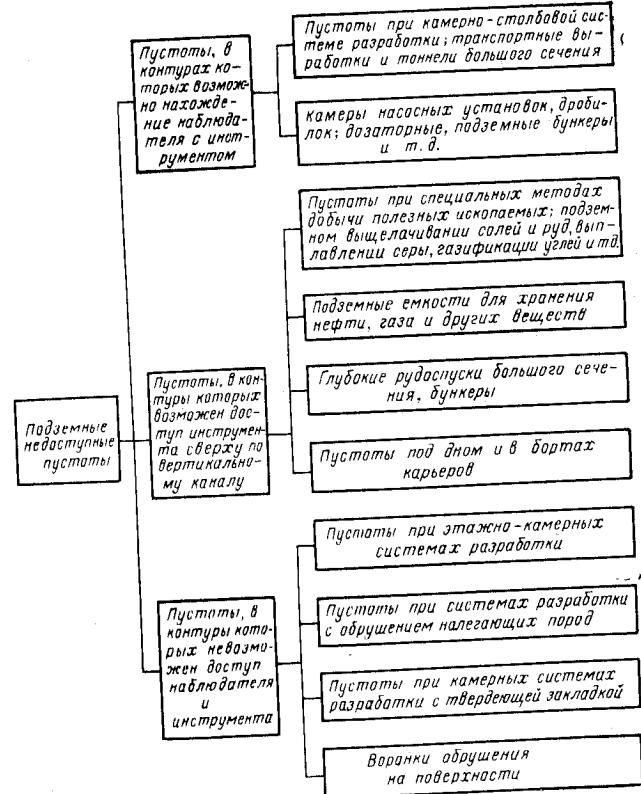


Рис. 4. Классификация подземных недоступных пустот

вленное влияние и на повышение точности съемки недоступных участков таких пустот, в частности, обеспечивается надежный контроль непосредственными промерами.

Пустоты II группы по приведенной классификации включают такие разновидности, в пределах которых наблюдатель не может попасть или пребывание его там недопустимо. Однако важной характеристикой этих пустот является возможность доступа в их пределы измерительных устройств. В подавляющем большинстве случаев для транспортирования измерительного устройства

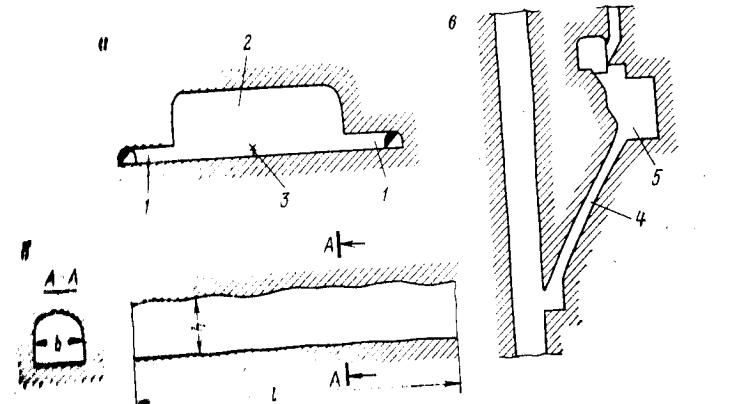


Рис. 5. Пустоты I группы:
 1 - очистная камера; 2 - транспортная выработка; 3 - недоступные пустоты;
 4 - подходящий выработкой; 5 - точки расположения инструмента и наблюдателя;
 6 - доступные пустоты

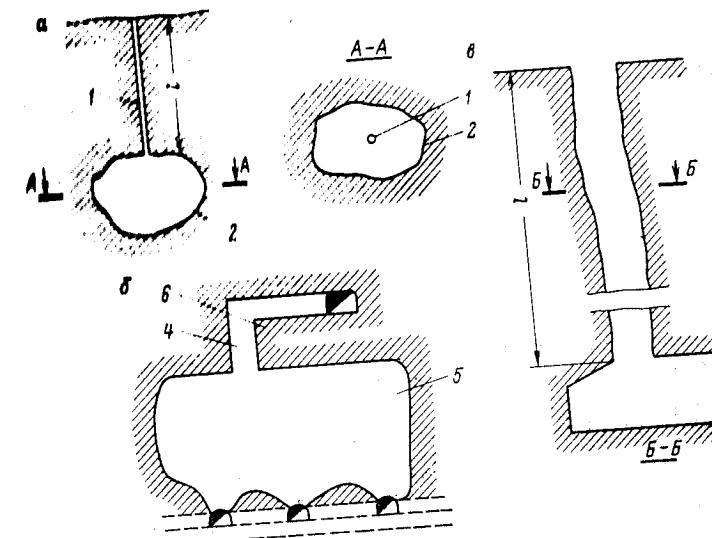


Рис. 6. Пустоты II группы:
 1 - скважина с поверхности; 2 - пустота; 3 - подходящая выработка с вышележащим горизонтом; 4 - скважина; 5 - камеры; 6 - потолочный целик

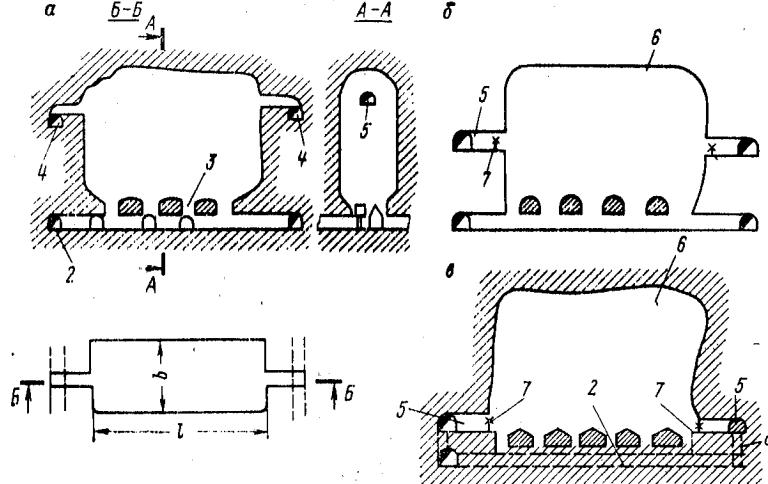


Рис. 7. Пустоты III группы:

a, б — очистная камера с десступом соответственно в верхней, средней и нижней частях; *1* и *2* — выработки откаточного горизонта; *3* — выпускные дучки; *4* — вентиляционно-буровой горизонт; *5* — подходная выработка; *6* — камера; *7* — точка расположения инструмента с наблюдателем; *8* — рудоспуск

ства в контуры пустоты служит вертикальный или крутонаклонный канал: скважина с поверхности или с вышележащего горизонта, восстающий или рудоспуск и др. (рис. 6). Отличительной особенностью пустот рассматриваемой категории является то обстоятельство, что значительная часть их имеет специфическую среду — заполнитель: воду, нефть, газ, рассол, находящиеся при различной (с перепадом в несколько сот градусов) температуре и давлении. Среда эта часто непроницаема для определенного вида излучения, например светового. Все это осложняет условия съемки, отрицательно сказывается на точности и, пожалуй главное, предъявляет особые требования к измерительной аппаратуре как по принципиальной схеме, так и по конструктивному исполнению. Следует, правда, заметить, что требования к маркшейдерской съемке этой группы пустот (см. рис. 4) несколько ниже как по точности, так и по детализации.

К III группе отнесены пустоты, в пределы которых по указанным выше причинам невозможен доступ ни

наблюдателя, ни измерительной аппаратуры (рис. 7). В отличие от двух предыдущих, эта группа пустот характеризуется большим разнообразием по многим съемочным признакам: по необходимой точности и детализации при съемке (сравните: камеры для закладки твердеющей смесью и пустоты обрушения); по характеристикам подходных выработок (их местоположения, размерам, обеспеченности съемочным обоснованием, соединению с пустотой, количеству и др.); по условиям безопасности при съемочных работах и некоторым другим. В эту же группу включены (и выделены в самостоятельную подгруппу) воронки обрушения. Сделано это по следующим соображениям. Воронки обрушения по происхождению являются конечным результатом развития во времени и пространстве пустот обрушения над подземными горными выработками. Кроме физической общности, воронки обрушения идентичны недоступным подземным пустотам и по условиям маркшейдерской съемки, так как доступ к ним исключен ввиду опасности внезапного обрушения или подвижки пород.

Большое значение при производстве маркшейдерских съемок недоступных пустот имеет число, местоположение и качество подходных выработок. Как было отмечено, наиболее благоприятными в этом отношении являются пустоты I группы. Здесь почва снимаемых горных выработок (пустот) представляет, как правило, горизонтальную или слабонаклонную ровную площадку с возможностью доступа в любую точку выработки. Таким образом, измерительный инструмент может быть установлен в любой удобной для съемки точке или в нескольких точках, между которыми имеется прямая связь.

Некоторая часть пустот этой группы (например, камеры дробилок, дозаторных установок, бункеры) имеет довольно сложную конфигурацию и в отдельных случаях может не иметь удобной нижней горизонтальной площадки. В этом случае для установки инструмента используются промежуточные уступы и площадки, временная или постоянная крепь или, наконец, подходные к этой камере выработки по аналогии с пустотами III группы.

Пустоты II группы являются наиболее сложными с точки зрения обеспеченности подходными выработками.

Значительная часть их вообще не имеет вскрывающих каналов (пустоты под дном и в бортах карьеров, пустоты при специальных методах добычи полезных ископаемых и т. д.). Для производства маркшейдерской съемки таких пустот приходится проводить специальные выработки или бурить скважины.

Имеющиеся или специально пройденные вскрывающие каналы пустот II группы являются, как правило, вертикальными или круто наклонными выработками (скважинами), пройденными с вышележащего горизонта или с земной поверхности. В этих условиях необходимо определять не только координаты устья выработки (скважины), но и координаты ее в месте выхода в пустоту, а это требует решения дополнительных маркшейдерских задач.

Пустоты III группы наиболее многочисленны и разнообразны по многим признакам, в том числе и по характеристикам подходных выработок. Пустоты этой группы могут иметь подходные выработки на различных уровнях (в верхней, средней или нижней части), могут быть различного поперечного сечения и различного состояния. Кроме этого, на одном и том же уровне они могут иметь различное число подходных выработок: от одной до пяти.

§ 3. НАЗНАЧЕНИЕ СЪЕМКИ

Общее назначение маркшейдерской съемки недоступных пустот на рудниках состоит (также, как и любых других подземных выработок) в том, чтобы получить объективные исходные данные для решения практических всех горно-геологических и технико-экономических задач, связанных с добычей полезных ископаемых или строительством подземных сооружений. Маркшейдерская съемка, по определению П. А. Рыжова [7], представляет собой совокупность пространственно-геометрических измерений рудников, производимых с целью изучения:

размеров и пространственного положения горных и разведочных выработок, форм залежей полезного ископаемого;

распределения в недрах запасов полезного ископаемого и компонентов в полезном ископаемом;

форм минеральных тел и вмещающих горных

структур, деформаций и сдвигов горных пород и горности, происходящих вследствие горных

работ, в которых этих общих положений назначение маркшейдерской съемки подземных недоступных пустот при сооружении несколько отличается от назначения съемки при эксплуатации, хотя методика производства съемочных работ может быть одной и той же.

При сооружении пустот наиболее существенная задача маркшейдерской съемки заключается в корректировке технологического процесса с тем, чтобы в итоге параметры пустоты (ориентировка в пространстве, форма, размеры и др.) точно соответствовали проектным требованиям к точности, оперативности и полноте информации на этом этапе, как правило, более высокие, чем при эксплуатации сооружения. Правда, и условия съемки здесь более благоприятные, например, число вскрываемых выработок больше, а качество их лучше. Для производства съемочных операций можно использовать уже находящиеся здесь технологические горные машины и механизмы.

При эксплуатации подземных недоступных пустот основной целью маркшейдерской съемки является контроль за состоянием оконтуривающих пустот. В зависимости от конкретных задач требование результатам съемки пустот на этом этапе могут быть различными и равнообразными.

Следует заметить, что разделение в назначении маркшейдерской съемки недоступных пустот, связанное с их сооружением или эксплуатацией, является в определенной мере условным и, на первый взгляд, даже искусственным. Однако оно становится понятным и оправданным, когда исполнитель (особенно впервые) сталкивается с необходимостью выбора наиболее приемлемой и рациональной методики и технических средств съемки конкретного объекта, предназначенный для решения совершенно определенной технической задачи.

Правда, на подземных рудниках процессы сооружения и эксплуатации подавляющей части пустот совмещены. Наиболее характерными в этом отношении являются очистные камеры, где сооружение пустоты является

ся, если не конечной, то основной целью процесса. Тем не менее и в этом случае можно выделить названные выше этапы: например, отбойку руды и выпуск ее из камеры можно отнести к сооружению, а дальнейшее сохранение ее — к эксплуатации. Часто камеры закладывают каким-либо материалом, в этом случае процесс погашения пустот также может быть отнесен к их эксплуатации.

Рассмотрим некоторые характерные примеры маркшейдерской съемки недоступных пустот.

Очистные камеры составляют основную по объему часть горных выработок на рудниках. Соответственно маркшейдерская служба предприятия вынуждена уделять съемке очистных камер много внимания, сил и времени. При всем многообразии задач, решаемых на основе материалов такой съемки, основное назначение маркшейдерской съемки очистных камер может быть сформулировано следующим образом.

1. Определение объемов добычи полезного ископаемого (как для оперативного учета, так и для получения величин погашенных запасов).

2. Определение размеров потерь и разубоживания руды при добыче (особенно для наиболее надежного, прямого, метода).

3. Оперативный контроль за качеством взрывных работ в камере в процессе отбойки руды (особенно при отбойке массовыми взрывами глубоких скважин или минных камер).

4. Контроль за устойчивостью стенок и кровли камер, за состоянием междукамерных целиков и потолочин.

5. Контроль за полнотой закладки камер и другие задачи.

Очистные камеры как объект съемки отличаются еще и тем, что при ее производстве маркшейдеру приходится выполнять работы, как правило, в неблагоприятных условиях как с точки зрения состояния подводных выработок, так и состояния атмосферы камеры (загазованность, запыленность).

Пустоты при повторной или совместной разработке месторождений являются наиболее сложными и ответственными объектами маркшейдерской съемки. В связи с развитием совместного и повторного способов отработ-

ки месторождений актуальность разработки эффективных методов съемки пустот резко возрастает. В данном случае от точности и оперативности съемки недоступных пустот зависит безопасность людей и безаварийность работы машин и механизмов в карьере, расположением в зоне влияния подземных работ. Более того, от результатов маркшейдерской съемки пустот зависят технико-экономические показатели горных работ. Некоторые основные задачи, решаемые по результатам маркшейдерской съемки пустот, заключаются в следующем:

- 1) обнаружение, привязка и оконтуривание подземных пустот;
- 2) определение форм и размера (толщины) целиков между подземными пустотами и уступами карьера;
- 3) контроль за состоянием (изменением формы и размеров) пустот в процессе ведения повторных (совместных) горных работ;
- 4) определение объемов пустот с целью погашения их (например, закладки) и контроль за степенью погашения.

Особенностью процесса съемки подземных пустот при повторной отработке месторождений является то обстоятельство, что непосредственной маркшейдерской съемке, как правило, предшествует разведка пустот из карьера или подземных выработок, осуществляемая различными способами: бурением специальных скважин, геофизическими методами и т. д.

Глубокие рудоспуски (бункеры) — широко распространенные на рудниках каналы для транспортирования горной массы в вертикальном направлении. Они одновременно могут быть использованы и как временные емкости. Через эти выработки перепускается огромное количество горной массы, и безаварийная эксплуатация их имеет исключительно важное значение для ритмичной работы предприятия. Назначение маркшейдерской съемки пустот в данном случае отличается от рассмотренных и состоит в получении исходных данных для решения следующих задач:

- 1) определения профиля, размеров и формы попечного сечения рудоспуска;
- 2) контроля за состоянием выработки (степенью износа, мест повреждения и пр.) при эксплуатации;

3) периодического определения объема (емкости) рудоспуска.

За последние годы особенно широкое развитие при разработке рудных месторождений получило самоходное технологическое и транспортное горное оборудование. Как правило, эти машины и механизмы имеют довольно большие размеры и для работы их в забоях или передвижения по транспортным коммуникациям приходится сооружать выработки большого поперечного сечения. Маркшейдерская съемка их обычными методами также невозможна и требуется применение специальных способов. Назначение этих съемок определяется требованиями решения таких задач, как, например:

1) контроль за соответствием профиля, формы и размеров выработки проектным;

2) проведение мероприятий по креплению выработок.

3) контроль за устойчивостью кровли и стенок выработки.

Здесь в качестве примера рассмотрено назначение маркшейдерской съемки недоступных пустот лишь для четырех разновидностей. Даже из этого небольшого рассмотрения становится ясно, что круг технических и организационных задач, решаемых на основе результатов съемки пустот, не только весьма разнообразен и широк, но и исключительно важен для эффективного ведения горных и других работ на предприятии.

На рудниках постоянно возникают весьма сложные технические задачи, успешное решение которых всецело зависит от качества и своевременности маркшейдерской съемки недоступных пустот. Предугадать их все невозможно, да и нет нужды. Важно, чтобы маркшейдерская служба была в состоянии решать их или искала пути к решению их, если по какой-либо причине не может сделать это сразу.

§ 4. НЕОБХОДИМАЯ ТОЧНОСТЬ СЪЕМКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕДОСТУПНЫХ ОБНАЖЕНИЙ

Любой метод съемки недоступных обнажений сводится к определению координат точек, расположенных на поверхностях этих обнажений. Естествен-

но, что в результате съемки координаты точек будут определены с неизбежными погрешностями.

Как правило, по результатам съемки очистных камер строятся планы, вертикальные и погоризонтные разрезы камеры. Эти графические материалы служат основой для решения разнообразных горнотехнических задач. Следовательно, они должны отображать положение снимаемых объектов с необходимой точностью.

Ведение горнодобывающих работ камерными системами разработки приводит к образованию обнажений, контуры которых имеют неровности, неизбежные при отбойке полезного ископаемого буровзрывным способом. Эти неровности являются первым источником погрешностей при съемке камер. Если все точки недоступного обнажения будут определены с высокой степенью точности, неровности обнажения повлекут за собой погрешность, которая будет зависеть от величины неровностей. Эта погрешность довольно значительна и составляет около 0,5 м [1]. Ее можно уменьшить сгущением съемочных пикетов, что не всегда удается из-за ограниченности подходов к очистному пространству.

Вторым источником накопления погрешностей при определении положения обнажений являются методы и приборы. Как известно, определения полярных координат съемочных пикетов сопровождаются погрешностями в измерении горизонтальных, вертикальных углов и расстояний. Исследования, проведенные во ВНИМИ и ЛГИ, показали, что измерения полярных углов с точностью не ниже $\pm 10'$ не оказывают существенного влияния на точность определения точек недоступного пространства. Основное влияние будет оказывать точность измерения расстояний [1].

Третьим источником погрешностей является ограниченная точность построения планов и разрезов очистного пространства с помощью транспортира и линейки. Можно считать предельной ошибкой отложения угла транспортиром $\pm 20'$. Тогда предельная ошибка в положении пикета за счет отложения угла составит

$$m_a = \pm \frac{20' l}{\rho'} = \pm 0,006 l, \text{ м},$$

где l — расстояние от точки стояния до пикета.
Эта ошибка не будет зависеть от масштаба плана.

Откладывание расстояния при накладке производится линейкой с миллиметровыми делениями. Ошибка откладывания длины такой линейкой равна $\pm 0,5$ мм [2]. Тогда ошибка в положении пикета m_i за счет откладывания длины

$$m_i = 0,0005 M, \text{ м}, \quad (1)$$

где M — численное значение знаменателя масштаба плана.

Как показывает практика, для решения разнообразных горнотехнических задач необходимо, чтобы погрешности измерений были приведены в соответствие с точностью нанесения на план точек недоступных поверхностей.

Построение планов и разрезов очистных камер производится в масштабе, численное значение которого зависит от объекта съемки и решаемых задач. К примеру, на шахте им. Губкина комбината КМАруды съемка камер производится с целью оперативного контроля за устойчивостью междукамерных, панельных целиков и потолочины. Рудное поле шахты сложено кварцитами. Массив кварцитов пересекает большое число даек и сеть более мелких нарушений и трещин. Эти нарушения обуславливают основные плоскости ослабления в целиках. Однако установлено, что нарушения не являются основным фактором, способствующим разрушению целиков [5]. Решающее влияние на устойчивость оказывает сейсмическое воздействие взрывов, в результате которого происходит откол от массива по плоскостям ослабления. Величина откола составляет 0,5 м и более. Учитывая величину откола, целесообразно результаты периодической съемки оформлять в виде планов и разрезов в масштабе 1 : 500.

Однако детальное изучение характера разрушения целиков показало, что кроме обрушений больших блоков наблюдаются шелушение, мелкие отслоения кварцитов, продолжающиеся на протяжении многих лет.

Изучение факторов, вызывающих такие явления, производить по графическим материалам, выполненным в масштабе 1 : 500, трудно. В связи с этим более целесообразен масштаб 1 : 200. Однако в этом случае и съемку следует производить более точно. Согласно формуле (1), в первом случае необходимо производить из-

мерение расстояний с точностью $\pm 0,25$ м, а во втором — с точностью $\pm 0,1$ м.

На рудниках Кривбасса построение планов и разрезов очистных камер ведется с целью определения объемов отбитой горной массы. В соответствии с требованиями «Технической инструкции по производству маркшейдерских работ» определение объемов необходимо производить с точностью $\pm 5\%$. Исходя из этого и принят масштаб планов и разрезов — 1 : 500.

При проведении транспортных выработок возникает необходимость в съемке их вчерне и в свету. Это необходимо при проходке тоннелей, линий метрополитена, а также транспортных выработок, проводимых для откатки полезного ископаемого самоходным оборудованием. Съемка вчерне необходима для установления истинных размеров выработки после проходки, а также определения объема бетонных работ. Требования к качеству выполнения бетонных работ высоки. Сечение в свету должно быть строго выдержано согласно проекту. Все это обуславливает высокие требования к точности съемки. Не случайно масштаб графического построения такой выработки принимается равным 1 : 100, а иногда 1 : 50. Эти масштабы соответствуют требуемой точности $\pm 0,05$ м. Нетрудно подсчитать, что принятый масштаб построения сечений выработки и требуемая точность съемки соответствует формуле (1).

Погрешность определения объема необходимого количества закладочного материала, согласно Технической инструкции [3], не должна превышать 3%. По данным Норильского горно-металлургического комбината, для определения объема закладки камер с такой допустимой погрешностью необходимо определять параметры камер с точностью 1/300. Принятый масштаб планов и разрезов на комбинате составляет 1 : 200. При наибольших измеряемых расстояниях (35—40 м) необходимая точность измерения параметров камер соответствует формуле (1).

Учитывая вышеизложенное, можно рекомендовать съемку очистных камер выполнять приборами, обеспечивающими относительную точность 1/200—1/500 измеряемого расстояния.

Анализ табл. 1 показывает, что необходимая точность съемки очистных камер зависит от назначения

Таблица 1

Горные предприятия	Цель съемки камер	Средняя измеряемая длина, м	Принятый масштаб плана	Необходимая точность съемки
Шахта им. Губкина	Контроль за устойчивостью целиков и потолочин	50	1:200	1/500— —1:200
Рудники Кривбасса	Определение объемов отбитой горной массы	50	1:500	1/200
Норильский горно-металлургический комбинат	Определение объема закладочного материала	25	1:200	1/200
Зыряновский свинцовый комбинат	Съемка сечений горных выработок		1:100	1/100
	Определение объемов отбитой горной массы, величины потерь и разубоживания	30	1:200	1/200
Рудники Джезказгана	Определение объемов отбитой горной массы, величин потерь и разубоживания	30	1:200	1/300
Рудник им. Матросова объединения Северо-востокзолото	Определение величины потерь и разубоживания, контуров камер, размеров целиков	30	1:200	1/300

съемки и тех задач, которые решаются по результатам съемки. Эта таблица составлена по данным маркшейдерских бюро шахт и опубликованных научных работ [1, 5, 7].

ГЛАВА II ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЕ¹

В главе I были показаны разновидности подземных пустот, их особенности с точки зрения размеров и подходов к очистному пространству. Маркшейдерская съемка таких пустот обычными измерениями невыполнима. Поэтому, по мере внедрения в горнорудное производство камерных систем разработок, возникла проблема измерения пустот. Естественно, что первоначально пытались снимать пустоты угломерными инструментами (принцип прямой засечки). Однако для этого необходимо было осветить стены выработки; значительные размеры камер, а также наличие в рудничном воздухе взвешенных частиц пыли, газа и влаги делали эту задачу невыполнимой. Тогда попытались использовать узконаправленный пучок света, испускаемый специальными оптическими системами (проекторами световой марки). Такие проекторы создавали на стенах камеры световые пятна (марки), местоположение которых можно было определять также способом угловых засечек. Использование узконаправленного пучка привело к разработке светопроекционных тахеометров.

Одновременно с разработкой приборов для тахеометрического метода съемки разрабатывались приборы, принцип действия которых основывался на использовании звуковых и радиоволн.

Применение того или иного вида излучения в приборах для съемки камер связано с трудностями, основными из которых являются следующие:

- 1) наличие аэрозолей в шахтной атмосфере;
- 2) слабая отражательная способность горных пород;

¹ Глава написана совместно с М. В. Оводенко.

3) зависимость скорости распространения волн от температуры, давления и других условий.

В связи с этим небезынтересно рассмотреть механизм распространения различных волн в рудничной атмосфере и влияние перечисленных факторов на эффективное использование волн в приборах для съемки очистных камер.

§ 5. СОСТАВ И СВОЙСТВА РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Рудничный воздух имеет в своем составе значительное количество разнообразных по составу, плотности и форме взвешенных пылевых частиц. Кроме того, горно-геологические условия на больших глубинах обуславливают повышение атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. Непостоянство направления и скорости движения воздуха приводит к непостоянной концентрации пыли на различных участках. Наличие конвекционных токов воздуха, а также движение людей и механизмов препятствуют оседанию мелких частиц [8].

Запыленность рудничной атмосферы в основном является результатом ведения добычи с помощью БВР, работы машин и механизмов, выпуска руды из камеры и т. д.

Наибольшее количество пыли дают взрывные работы. Концентрация пыли после взрыва может достигать 200 тыс. частиц в 1 м³. Однако этот уровень запыленности наблюдается в течение сравнительно небольшого промежутка времени. В проветриваемых выработках через 1 ч концентрация пыли уже составляет около 2 тыс. частиц в 1 м³.

Частицы пыли подразделяются по размерам на макроскопические (диаметр более 10 мкм), микроскопические (диаметр от 0,25 до 10 мкм) и ультрамикроскопические (диаметр менее 0,25 мкм), которые по своему поведению в воздухе приближаются к газовым молекулам [10].

Размер пылинок, мкм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Количество частиц, %	24,2	33,4	19,7	11,8	5,7	2,7	1,1	0,3

Продолжение

Размер пылинок, мкм	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Количество частиц, %	0,16	0,23	0,2	0,3	0,08	0,02	0,02

В спокойной атмосфере возможно оседание макроскопических и микроскопических частиц. Более мелкие частицы в результате броуновского движения постоянно находятся во взвешенном состоянии. О содержании в рудничной атмосфере пылинок различной величины после взрывных работ можно судить по следующим данным.

Например, для оседания на глубину 50 м частицы кварца размером 20 мкм необходимо примерно 0,5 ч, а для частицы размером 0,7 мкм около 360 ч. При наличии слабого движения воздуха продолжительность оседания существенно увеличивается.

Количественные характеристики содержания пыли непосредственно в воздухе камер в литературе не приводятся, что связано с трудностью взятия проб в атмосфере камеры. Однако проводились детальные исследования запыленности рудничного воздуха и динамики вентиляционных струй на всем их протяжении, в том числе запыленности выработок, непосредственно примыкающих к очистным камерам [11]. На графике (рис. 8) приведены средние значения запыленности воздуха в характерных точках по всем шахтам Кривбасса, а также пределы изменения концентрации пыли в тех же точках. По оси абсцисс отложены точки, в которых определены концентрации пыли, а по оси ординат — уровень запыленности воздуха.

Наряду с запыленностью даже в чистой атмосфере имеются частицы воды и других жидких соединений размером около 0,1 мкм, а во влажном воздухе содержится до 50% частиц размером от 5 до 20 мкм. При каком размере капель достигают 2000 мкм.

В общем случае рудничная атмосфера представляет собой коллоидную систему, в которой воздух и водяной пар являются средой со взвешенными в ней частицами пыли различных размеров. Эти частицы являются ядрами конденсации водяных паров. Образовавшаяся наилучшей конденсации капелька покрывается тонким слоем пленки, препятствующей поглощенному воздуху, образующему пленку, препятствующую

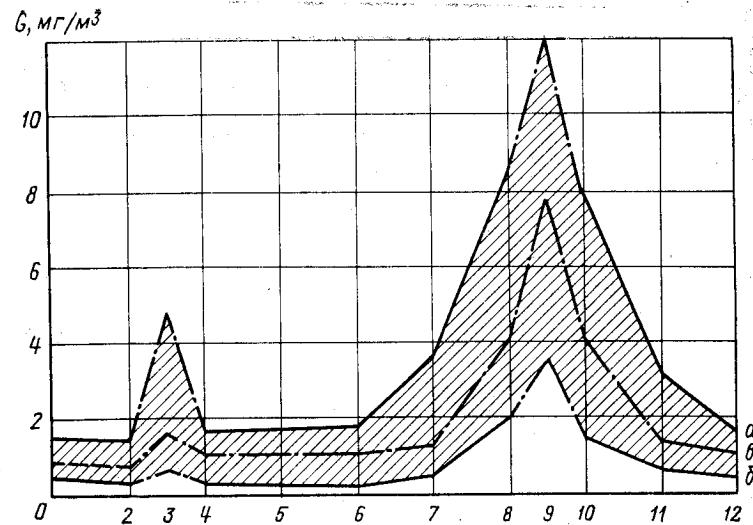


Рис. 8. Динамика запыленности вентиляционных потоков шахт Кривбасса:

а, б — максимальные, минимальные и средние значения запыленности воздуха в характерных точках;
1 — «нулевая» площадка (на входе в шахту); 2 — в клетевом рудном дворе; 3 — в скраповом рудном дворе; 4 — в начале главного квершлага; 5 — в конце главного квершлага; 6 — на входе в блок (на горизонте откатки); 7 — на входе в блок (на горизонте скреперования); 8 — на рабочем месте скрепериста; 9 — на выходе из выработок скреперования; 10 — на выходе из блока; 11 — на выходе из группы блоков; 12 — на выходе из шахты

вующую ёлинию частиц. От числа ядер конденсации, содержащихся в данном объеме воздуха, зависит размер частиц, образующихся при конденсации влаги. При большом числе ядер конденсации образуются более мелкие частицы диаметром 0,5—1 мкм, создающие так называемую дымку. При меньшем числе ядер конденсации могут образоваться туманы, имеющие диаметр частиц в среднем 5—9 мкм.

Все описанные выше частицы, содержащиеся в рудничной атмосфере, объединены под общим названием аэрозоль. Из приведенных данных видно, что в атмосфере очистных камер может находиться большое количество аэрозолей размером от 0,1 до 10 мкм, причем преобладают частицы размером от 0,5 до 3 мкм.

§ 6. РАЗНОВИДНОСТИ КОЛЕБАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРИБОРАХ ДЛЯ СЪЕМКИ ПУСТОТ

В явлениях природы, в науке и технике встречается большое количество различных колебательных волновых движений, начиная от простых и всем известных — колебаний маятника часов или движения волн по поверхности воды и кончая сложными и труднопредставимыми — гравитационными волнами и волнами вероятности. Из всего многообразия этих колебаний в настоящее время для съемки подземных пустот применяются два основных вида — звуковые и электромаг-

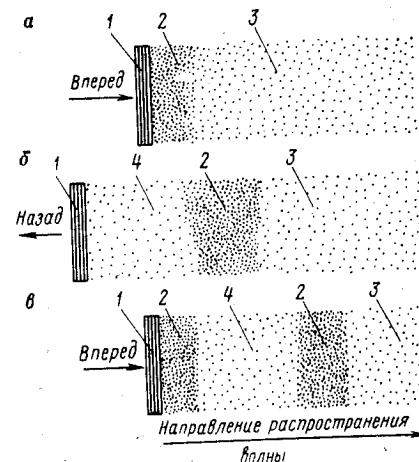


Рис. 9. Механизм возникновения и распространения акустических волн

итные волны. Каждый из этих видов имеет определенные свойства, которые обусловливают особенности применения их в приборах для съемки пустот.

Звуковые волны. Звуковые колебания распространяются в воздухе, как и в других газах в виде упругих продольных волн. Известно, что воздух обладает свойством объемной упругости, поэтому, если в воздушном пространстве находится какое-нибудь колеблюющееся тело, то оно при своем движении вперед сжимает воздух, находящийся перед ним (рис. 9, а). Благодаря

объемной упругости этот сжатый слой воздуха расширяется и при этом сжимает следующий наружный слой. Обратное движение колеблющегося тела обуславливает в воздушном пространстве разрежение (рис. 9, б). Затем, когда тело движется опять вперед, распространяется сжатие (рис. 9, в). Таким образом, колеблющееся тело непрерывно образует или, как говорят, излучает упругие волны, состоящие из последовательных сжатий и разрежений воздуха, которые и являются звуковыми волнами.

В звуковой волне каждая частица воздуха движется вперед и назад по направлению распространения волны, поэтому волна называется продольной.

Звуковые волны, как и всякие другие, характеризуются длиной волны λ , частотой f и скоростью распространения $c_{\text{зв}}$. Длиной звуковой волны называют расстояние между двумя последовательными сгущениями или разрежениями воздуха (рис. 10), или вообще

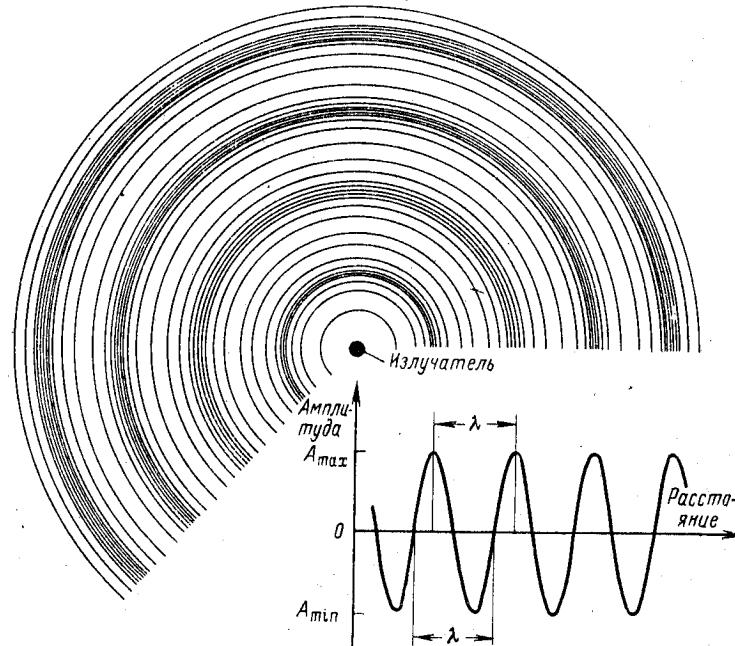


Рис. 10. Излучение сферической звуковой волны (схематически показана только часть сферической волны)

щее расстояние вдоль линии распространения волны между двумя соседними точками воздуха, колеблющими в одной фазе.

Число волн, проходящих в 1 с через данный участок среды, называется частотой звука. В связи с тем, что за сжатием следует разрежение, звуковая волна имеет переменную по своей величине амплитуду, которая от минимума возрастает до максимума. Отрезок времени между приходом в определенную точку среды двух соседних минимумов или максимумов волны, называется периодом. Распространение звуковых волн характеризуется также скоростью. Между скоростью распространения $c_{\text{зв}}$, длиной волны λ и частотой f (или периодом T) существует зависимость

$$\lambda = \frac{c_{\text{зв}}}{f} = c_{\text{зв}} T.$$

Упругие волны в воздухе имеют очень большой диапазон как частот, так и длин волн. К звуковым волнам относят упругие волны тех частот, которые лежат в пределах слышимости человеческого уха, т. е. примерно от 16 до 20 000 Гц. Это соответствует длине волн в воздухе от 20 м до 1,7 см. Упругие колебания с частотой ниже 16 Гц называют инфразвуком, выше 20 000 Гц — ультразвуком, выше 10^9 Гц — гиперзвуком. В звуколокации удаленных объектов применяются обычно звуковые колебания с частотой 15—20 кГц.

Распространение звуковых колебаний в рудничной атмосфере. Как известно, метод измерения расстояний с помощью звуковых колебаний основан на измерении времени прохождения звукового сигнала $t_{\text{пр}}$ от излучателя до приемника и обратно. Тогда расстояние S определяется из выражения

$$S = \frac{c_{\text{зв}} t_{\text{пр}}}{2}.$$

Скорость распространения звука в воздухе является величиной непостоянной и зависит от различных факторов. Для ее определения существует формула

$$c_{\text{зв}} = \sqrt{1,41 \frac{P}{\rho}}, \quad (2)$$

где P — давление воздуха; ρ — плотность воздуха.

Из этой формулы, казалось бы, можно сделать вывод, что скорость звука тем больше, чем больше давление P или чем меньше плотность воздуха ρ . Такое заключение было бы однако неправильным: при повышении давления увеличивается и плотность воздуха, при снижении же плотности уменьшается и давление, и при этом так, что отношение $\frac{P}{\rho}$ остается постоянным.

Скорость звука в воздухе одинакова как на больших высотах, например в горах, где воздух разрежен и давление составляет лишь долю атмосферного давления на уровне моря, так и в подземных условиях, где давление может быть значительно выше. Однако это верно лишь при условии, что температура под землей и в горах одинакова. Скорость звука сильно зависит от температуры воздуха. При повышении температуры на 1°C скорость звука увеличивается примерно на $0,5 \text{ м/с}$. Пользуясь уравнением Клайперона, формулу (2) можно привести к виду

$$c_{\text{зв}} = 20\sqrt{T}, \text{ м/с},$$

где T — абсолютная температура.

В связи с этим, если температура воздуха неоднородна вдоль пути звуковой волны от прибора до снимаемого объекта, может возникнуть погрешность измерения расстояния. Кроме того, звуколокатор нуждается в калибровке или необходимо каждый раз при съемке производить измерения температуры рудничного воздуха.

Исследования возможности применения звуковых волн для локации недоступных объектов проводились с использованием ультразвукового диапазона частот [25]. Поэтому дальнейшее рассмотрение механизма затухания звуковых волн в рудничной атмосфере будет относиться в равной мере и к ультразвуку.

При распространении акустических колебаний в воздухе происходит уменьшение их энергии — затухание ультразвука, обусловленное поглощением энергии колебаний вязкой средой, а также теплопроводностью воздуха. Величина этого поглощения прямо пропорциональна квадрату частоты колебаний.

Чтобы судить о поглощении звука, вводят коэффициент поглощения α — величину, показывающую, как

убывает амплитуда звуковой волны с расстоянием. Эксперимент показывает, что это убывание происходит по экспоненциальному закону

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x},$$

где A_x — амплитуда звуковой волны на расстоянии x от источника; A_0 — начальная амплитуда звуковой волны.

Чтобы определить затухание не амплитуды звука, а его интенсивности, необходимо учесть, что интенсивность звуковой волны пропорциональна квадрату амплитуды. Поэтому коэффициент поглощения по интенсивности α_i будет в 2 раза больше, чем коэффициент поглощения звука по амплитуде $\alpha_i = 2\alpha$.

Расчет коэффициента поглощения звука в воздухе [20] дает зависимость

$$\alpha_i = N f^2,$$

где f — частота колебаний; N — коэффициент пропорциональности.

Из этого выражения видно, что коэффициент поглощения пропорционален квадрату частоты, т. е. чем выше частота колебаний, тем сильнее затухание звука (ультразвука).

Наличие в воздухе водяных паров и частиц воды в виде тумана ведет к значительному увеличению поглощения ультразвука.

В случае запыленности воздуха, что обычно имеет место при подземной разработке месторождений, затухание ультразвука также увеличивается. Пока длина волны звука по величине превосходит размеры частиц пыли, главную роль в ослаблении ультразвука играет трение о взвешенные частицы воздуха. Когда же длина волны ультразвука соизмерима с размерами частиц (на высоких частотах), к этому эффекту добавляется значительное ослабление ультразвука за счет рассеяния пыли на частицах пыли. Поэтому для обеспечения достаточной дальности действия звуколокационного прибора, т. е. уменьшения ослабления звуковых волн, частоту звука необходимо уменьшать.

Однако уменьшение частоты, т. е. увеличение длины волны колебаний, приводит к увеличению размеров массивного прибора. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что для звуколокаций

ционных приборов, работающих в воздушной среде, оптимальными являются частоты звуковых колебаний от 15 до 20 кГц [20].

Электромагнитные волны. В отличие от звуковых электромагнитные волны могут распространяться не только в среде, но и в вакууме. Это свидетельствует о том, что электромагнитная волна является формой распространения в пространстве особого вида материи — переменного электромагнитного поля, в котором переменное магнитное поле создает электрическое поле, переменное же электрическое поле генерирует магнитное, и этот процесс порождает электромагнитные волны. Всякая электромагнитная волна характеризуется векторами электрической напряженности \vec{E} и магнитной напряженности \vec{H} , которые находятся во взаимно перпендикулярных плоскостях; в частности, они могут совершать периодические во времени синусоидальные колебания, принимая то положительное, то отрицательное значения и обращаясь в нуль при переходе от одного к другому, совершая при этом движение со скоростью света в направлении, перпендикулярном к напряженности как электрического, так и магнитного полей (рис. 11).

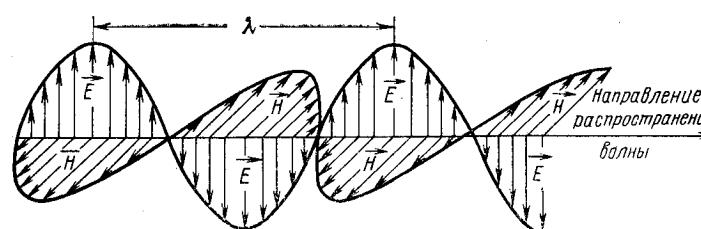


Рис. 11. Картинка распространения плоскополяризованной монохроматической электромагнитной волны

Электромагнитная волна также характеризуется тремя основными параметрами: длиной волны λ , частотой колебаний f и скоростью распространения c_0 . Длину волны измеряется расстоянием между двумя соседними максимумами вектора электрической напряженности. Частота определяется скоростью изменения электрического поля в данной точке во времени. Для электромагнитных волн также справедливо соотношение (2), если вместо $c_{\text{зв}}$ подставить c_0 .

$$\lambda = c_0 T = \frac{c_0}{f}$$

Электромагнитные волны играют исключительно важную роль в науке и технике. Такие виды излучений, как тепло, свет, радиоволны и рентгеновские лучи — все это различные проявления одного и того же излучения — электромагнитных волн. Однако мы все-таки различаем виды излучений не только качественно и субъективно, например тепло или свет, но и строго количественно. Основной признак, по которому производится различие, — это длина волны излучения [20].

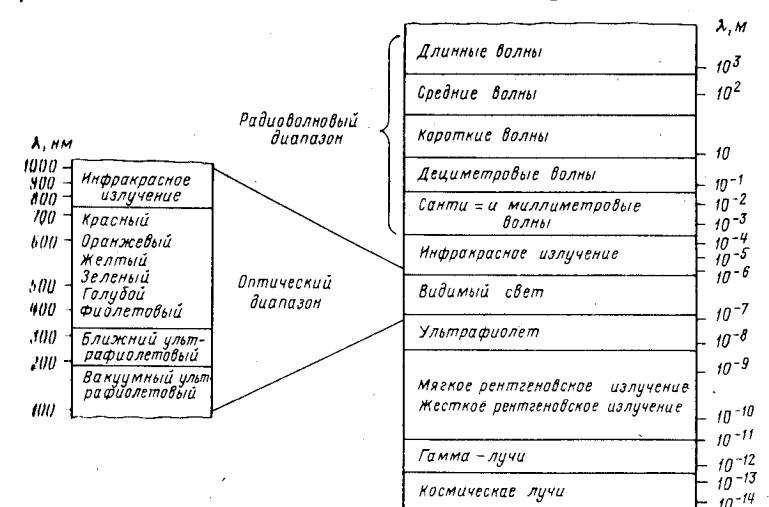


Рис. 12. Спектр электромагнитных волн

На рис. 12 показан спектр электромагнитных волн, начинающийся с так называемых радиоволн, длина которых может достигать нескольких километров, и кончивающийся космическими лучами, длина волн которых

На XI Генеральной ассамблее Международного геодезического и географического союза в 1957 г. было принято и рекомендовано для использования значение скорости электромагнитных волн (специ) в вакууме, равное $299\,792,5 \pm 0,4$ км/с.

ничтожна (10⁻¹⁴ м). Как видно из рисунка, свет, помошью которого мы видим, составляет только небольшую часть широкого спектра явлений одной природы — электромагнитного излучения. Необходимо также отметить, что на самом деле между разными диапазонами нет никаких границ, природа их не создала. Числа, которые соответствуют разным диапазонам, конечно, сами названия диапазонов весьма условны.

Любой волновой процесс, будь то распространение звука или электромагнитных колебаний, обладает двумя основными характерными свойствами. Первое из них — способность волн огибать препятствия — называется дифракцией. Второе свойство называется интерференцией и заключается во взаимодействии однородных волн, встречающихся в какой-либо области пространства. В результате интерференции, например, напряженность электрического поля, обусловленного двумя электромагнитными волнами, равна сумме напряженности полей каждой волны в отдельности. Это означает, что при наложении двух волн электрические поля могут либо складываться, либо гасить друг друга в зависимости от взаимного расположения волн.

Все приборы, предназначенные для локации недоступных объектов, в том числе и в подземных условиях, в которых используется излучение и прием волн, создаются с учетом описанных выше свойств, присущих волнам, например передающие части приборов — антенны конструируются и рассчитываются с учетом дифракции волн на краях антенны. На рис. 13 показана передающая антenna, излучающая пучок волн (звуковых или электромагнитных) в направлении объекта. Если D является диаметром передающей антенны, λ — длиной волн излучения, а L — расстоянием до объекта, то ширина B пучка в месте падения излучения на объект

$$B = \frac{\lambda}{D}. \quad (3)$$

Это соотношение показывает, что для получения малой ширины пучка на объекте необходимо увеличивать диаметр D передающей антенны или уменьшать длину волн излучения. Очевидно, что первый путь нежелателен, поскольку он приводит к увеличению размеров

приборов. Поэтому обычно в приборах для съемки подземных пустот используют излучение с возможно меньшей длиной волны. С другой стороны, нельзя забывать, что в нашем случае волны распространяются в специ-

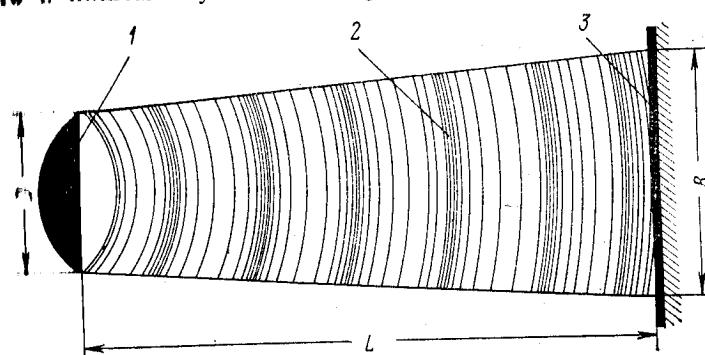


Рис. 13. Расхождение пучка волн вследствие дифракции на краях передающей антенны:
1 — антenna; 2 — расходящийся пучок волн; 3 — объект

физической среде — рудничной атмосфере, которая оказывает весьма значительное влияние на проходящее в ней излучение, причем характер и степень этого влияния существенно зависят от длины волны излучения.

§ 7. ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ПРИБОРАХ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Как известно, приборы для измерения расстояний с помощью радиоволн называются радиодальномерами. Действие радиодальномеров основано на точном определении времени, необходимого электромагнитным колебаниям для преодоления измеряемого расстояния в прямом и обратном направлениях.

Расстояние S определяется по формуле

$$S = \frac{c_0 t_{\text{пр}}}{2},$$

где $t_{\text{пр}}$ — время прохождения колебаний в прямом и обратном направлениях.

Точность измерения расстояний радиодальномерами зависит прежде всего от полноты учета условий распространения электромагнитных колебаний, определяющих скорость c_e , которая может быть вычислена по формуле

$$c_e = \frac{c_{e,\text{в}}}{n},$$

где $c_{e,\text{в}}$ — скорость распространения электромагнитных колебаний в вакууме; n — показатель преломления атмосферы.

Показатель преломления n атмосферы неодинаков для электромагнитных колебаний различных частот (явление дисперсии). Кроме того, показатель преломления атмосферы зависит от плотности воздуха, температуры и количества водяных паров. Эта зависимость может быть выражена эмпирической формулой

$$n - 1 = 78 \cdot 10^{-6} \left(\frac{P}{T} + 0,37 \frac{l}{T^2} \right),$$

где T — температура воздуха, К; P — давление воздуха, ммбар; e — парциальное давление водяного пара, ммбар.

Наличие переменных по величине и направлению потоков воздуха в камере приводит к тому, что величины T и e имеют различные значения вдоль пути распространения волны. Измерить их непосредственно в камере очень трудно, а в большинстве случаев вообще невозможно. Поэтому на практике скорость c_e не рассчитывают теоретически, а определяют контрольными измерениями известного расстояния. Эти измерения называются калибровкой радиодальномера.

Точность измерения расстояний радиодальномерами в значительной степени зависит от точности определения времени прохождения колебаний $t_{\text{пр}}$. Современные средства позволяют измерять время с точностью $(2-3) \times 10^{-10}$ с [48], при этом расстояние можно измерить с ошибкой $\pm 3-5$ см. Однако трудно создать такие импульсы электромагнитных колебаний, которые давали

бы возможность фиксировать с требуемой точностью моменты их посылки и приема [47]. Поэтому в приборах для измерения небольших расстояний обычно применяется не импульсный, а фазовый метод, при котором в направлении объекта съемки излучаются непрерывные колебания, а время прохождения колебаний определяется косвенным путем по разности фаз посланных и принятых колебаний. Для обеспечения необходимой точности измерения разности фаз, а следовательно, и расстояний, наиболее целесообразно пользоваться колебаниями с частотой от 10 до 50 МГц.

Однако, как уже отмечалось выше, из-за неоднородной концентрации частиц воды и пыли коэффициент преломления n имеет неодинаковое значение в разных точках объема камеры, и волны этого диапазона (от 30 до 6 м) распространяются не прямолинейно, а по кривой линии (явление рефракции). Кроме того, для формирования волн такой длины в узконаправленные пучки необходимы антенны очень больших размеров, которые практически нетранспортабельны в шахтных условиях.

Более короткие волны (менее 1 м) распространяются практически прямолинейно и хорошо формируются в узкие пучки с помощью сравнительно небольших антенн.

Однако с уменьшением длины волны возрастают трудности измерения разности фаз.

Чтобы использовать преимущества обоих диапазонов волн, пользуются модулированными колебаниями, т. е. передают информацию (сигналы) меньшей частоты, используя в качестве несущих колебания более высокой частоты. Для съемки камер в качестве несущих применяются колебания с частотой от 300 МГц до 300 ГГц, и частота модуляции лежит в пределах 10—40 МГц.

Большим преимуществом радиоволн по сравнению с колебаниями оптического диапазона и звуковыми колебаниями является их очень малое ослабление в шахтной атмосфере, что позволяет применять передатчики малой мощности. К недостаткам следует отнести сравнительно большие размеры передающей и приемной антенн, сложность аппаратуры, применяемой для генерации и приема волн, а также обработки информации.

§ 8. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛН ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА В ПРИБОРАХ ДЛЯ СЪЕМКИ КАМЕР

Известные в настоящее время источники света разделяются на тепловые, газоразрядные, люминесцентные и квантовые.

Газоразрядные и люминесцентные не нашли применения в проекционных приборах.

Тепловые используются во всех применяющихся в настоящее время методах и приборах для тахеометрической съемки очистных камер (ТПБ, ТПК, УДС, способ световых засечек и др.).

Чтобы иметь возможность наблюдать световую марку в неблагоприятных условиях, необходимо иметь сосредоточенную в узком, остронаправленном пучке достаточно высокую световую энергию. Для этого необходимо проекторы световой марки конструировать с большим фокусным расстоянием и уменьшать величину тела накаливания. Однако уменьшение величины светящегося тела при неизменной его яркости приводит к резкому уменьшению световой энергии, а увеличение фокусного расстояния увеличивает размеры прибора, так как необходимость сохранения апертуры ведет к увеличению оптической системы.

Оптические квантовые генераторы нашли эффективное применение в приборах, служащих для задания направления при ведении проходческих работ в подземных условиях [12, 13], ориентирования подземных горизонтов [14] и автоматического ведения проходческих агрегатов [15].

Исследование возможности использования ОКГ в приборах для измерения расстояний до недоступных объектов в подземных условиях было проведено ВИОГЕМом, результатом которого явилось создание новых приборов для съемки очистных камер ТБЛ-1, ТБЛ-2, ТЛ-1 [16—19].

Ослабление светового потока в шахтной атмосфере. Из-за наличия в шахтной атмосфере разнообразных по размерам, форме и составу аэрозолей она по отношению к электромагнитным волнам оптического диапазона является так называемой мутной, (т. е. не полностью пропричной) средой. Прохождение света в такой среде сопровождается ослаблением излучения, которое происходит за счет поглощения энергии излучения газовыми компонентами, рассеяния излучения на молекулах газа, а также рассеяния и поглощения аэрозольными частицами.

Физическая природа процесса поглощения определяется тем, что молекулы газов, присутствующих в шахтной атмосфере, представляют собой сложные колебательные системы с набором резонансных частот. При совпадении частоты электромагнитного излучения с резонансной частотой молекулы происходит поглощение энергии излучения этой молекулой. Наиболее значительные полосы поглощения в шахтной атмосфере имеют молекулы кислорода O_2 , водяного пара H_2O и углекислого газа CO_2 . Однако в оптическом диапазоне эти полосы довольно слабые, поэтому вклад процесса поглощения излучения газовыми компонентами в общее ослабление излучения сравнительно невелик [20, 21].

Молекулярное, или «рэлеевское», рассеяние света происходит на флуктуациях плотности молекул газов. Это явление всегда имеет место при прохождении света в атмосфере, но ослабление света при этом незначительно. Если бы ослабление излучения было обусловлено только молекулярным поглощением и рассеянием, метеорологическая дальность видимости достигала 300 км.

Метеорологической дальностью видимости называется дальность видимости «стандартным» наблюдателем в дневное время на фоне неба темных предметов с угловыми размерами больше 0.5° .

С оптической точки зрения наиболее активной составляющей атмосферы является аэрозоль. Именно аэрозоль определяет в основном ослабление видимого излучения в шахтной атмосфере (достаточно вспомнить, как нарушается видимость через облака и туман). Характер и степень поглощения и рассеяния излучения аэрозолями в значительной степени зависят не только от концентрации частиц аэрозоля, но также и от размера, формы и природы частиц. Ослабление излучения в среде описывается законом Бугера, который в случае однородной среды имеет вид

на одной частоте, а занимает некоторый интервал частот, или спектр. Ширину спектра излучения удобно характеризовать степенью монохроматичности M , которая равна

$$M = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0},$$

где f_0 — центральная частота; f_1 и f_2 — частоты, при которых интенсивность излучения равна половине максимальной.

Если $\frac{\Delta f}{f_0} = 0$, то излучение идеально монохроматично; если $\frac{\Delta f}{f_0} \ll 1$, то излучение называется квазимонохроматическим или почти монохроматическим. Величина M представляет собой отклонение от идеальной монохроматичности; чем она меньше, тем выше монохроматичность излучения. Идеально монохроматического излучения не может быть в природе. Обычно монохроматическим считают излучение, имеющее достаточно узкий спектральный интервал, который можно характеризовать одной частотой или длиной волны.

Излучение наиболее распространенных обычных источников света, например ламп накаливания или газоразрядных ламп, немонохроматично; оно имеет широкий спектр, теоретически включающий все частоты, хотя очень короткие и очень длинные волны практически не вносят вклад в общую долю излучения. Из этого спектра можно с помощью, например, оптического фильтра выделить монохроматическую составляющую, заключенную между длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$, однако мощное монохроматическое излучение таким образом получить нельзя. В общем случае, чем монохроматичнее выделенное фильтром излучение, тем меньше его мощность. Расчеты показывают, например, что в полосе 1 МГц на длине волны 0,55 мкм квадратный сантиметр самого мощного из тепловых источников света — Солнца — имеет излучаемую мощность, составляющую лишь 10^{-5} Вт, в то время как существующие современные лазеры имеют мощность порядка сотен и тысяч мегаватт при площади сечения пучка около 1 см^2 с полосой частот в пределах одного мегагерца. Таким образом, спектральная интенсивность плотности мощности лазеров в мил-

лион раз превосходит спектральную интенсивность плотности мощности Солнца. Поэтому лазеры можно считать непревзойденными источниками монохроматического излучения в оптическом диапазоне.

Итак, одно из отличий лазеров от обычных источников света заключается в том, что в обычных источниках энергия излучения распределена в широком спектральном диапазоне, а излучение лазеров сосредоточено в одной или нескольких чрезвычайно узких спектральных линиях.

Когерентность. Свойство когерентности излучения является самым важным и в то же время самым сложным для понимания. Английское слово coherency означает единство, согласованность. Понятие когерентности в применении к колебаниям относится к связи, или согласованности, между фазами колебаний в различных точках пространства в один и тот же момент времени (пространственная когерентность) или между фазами колебаний в одной и той же точке в различные моменты времени (временная когерентность).

В отличие от обычных источников, излучение лазера имеет высокую степень пространственной и временной когерентности. До появления лазеров единственными источниками когерентного излучения были электронные генераторы. Временная когерентность излучения позволяет с его помощью производить передачу информации, интерферометрию, использовать в стандартах частоты и времени и т. п. Однако для нас важнее другой вид — пространственная когерентность, которая является причиной высокой направленности лазерного излучения и возможности фокусирования его в пятно чрезвычайно малых размеров.

Направленность. Под направленным понимают такое излучение, которое распространяется в пределах очень небольшого телесного угла. Иными словами, направленность характеризуется телесным углом, в котором распространяется большая часть излучения. Примером направленного излучения может служить пучок света, созданный прожектором.

Обычные источники обладают очень низкой направленностью излучения, потому что направленность электронных излучателей (атомов или молекул), из которых состоит источник света, характеризуется телес-

на одной частоте, а занимает некоторый интервал частот, или спектр. Ширину спектра излучения удобно характеризовать степенью монохроматичности M , которая равна

$$M = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0},$$

где f_0 — центральная частота; f_1 и f_2 — частоты, при которых интенсивность излучения равна половине максимальной.

Если $\frac{\Delta f}{f_0} = 0$, то излучение идеально монохроматично; если $\frac{\Delta f}{f_0} \ll 1$, то излучение называется квазимонохроматическим или почти монохроматическим. Величина M представляет собой отклонение от идеальной монохроматичности; чем она меньше, тем выше монохроматичность излучения. Идеально монохроматического излучения не может быть в природе. Обычно монохроматическим считают излучение, имеющее достаточно узкий спектральный интервал, который можно характеризовать одной частотой или длиной волны.

Излучение наиболее распространенных обычных источников света, например ламп накаливания или газоразрядных ламп, немонохроматично; оно имеет широкий спектр, теоретически включающий все частоты, хотя очень короткие и очень длинные волны практически не вносят вклад в общую долю излучения. Из этого спектра можно с помощью, например, оптического фильтра выделить монохроматическую составляющую, заключенную между длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$, однако мощное монохроматическое излучение таким образом получить нельзя. В общем случае, чем монохроматичнее выделенное фильтром излучение, тем меньше его мощность. Расчеты показывают, например, что в полосе 1 МГц на длине волны 0,55 мкм квадратный сантиметр самого мощного из тепловых источников света — Солнца — имеет излучаемую мощность, составляющую лишь 10^{-5} Вт, в то время как существующие современные лазеры имеют мощность порядка сотен и тысяч мегаватт при площади сечения пучка около 1 см^2 с полосой частот в пределах одного мегагерца. Таким образом, спектральная интенсивность плотности мощности лазеров в миллионах раз превосходит спектральную интенсивность мощности Солнца. Поэтому лазеры можно считать непревзойденными источниками монохроматического излучения в оптическом диапазоне.

Лазер. Одно из отличий лазеров от обычных источников света заключается в том, что в обычных источниках энергия излучения распределена в широком спектральном диапазоне, а излучение лазеров сосредоточено в **одной** или нескольких чрезвычайно узких спектральных линиях.

Когерентность. Свойство когерентности излучения является самым важным и в то же время самым сложным для понимания. Английское слово coherency означает связь, согласованность. Понятие когерентности в применении к колебаниям относится к связи, или согласованности, между фазами колебаний в различных точках пространства в один и тот же момент времени (пространственная когерентность) или между фазами колебаний в одной и той же точке в различные моменты времени (временная когерентность).

В отличие от обычных источников, излучение лазера имеет высокую степень пространственной и временной когерентности. До появления лазеров единственными источниками когерентного излучения были электронные генераторы. Временная когерентность излучения позволяет с его помощью производить передачу информации, интерферометрию, использовать в стандартах частоты и времени и т. п. Однако для нас важнее другой вид — пространственная когерентность, которая является причиной высокой направленности лазерного излучения и возможности фокусирования его в пятно чрезвычайно малых размеров.

Направленность. Под направленным понимают такое излучение, которое распространяется в пределах очень небольшого телесного угла. Иными словами, направленность характеризуется телесным углом, в котором распространяется большая часть излучения. Примером направленного излучения может служить пучок света, создаваемый прожектором.

Обычные источники обладают очень низкой направленностью излучения, потому что направленность элементарных излучателей (атомов или молекул), из которых состоит источник света, характеризуется телес-

ным углом примерно 2π , а излучение этих источников является результатом сложения хаотически направленных излучений от элементарных излучателей. Вследствие этого обычные источники излучают в пределах телесного угла от 2π до 4π , т. е. почти равномерно во все стороны. От обычных источников света можно по-

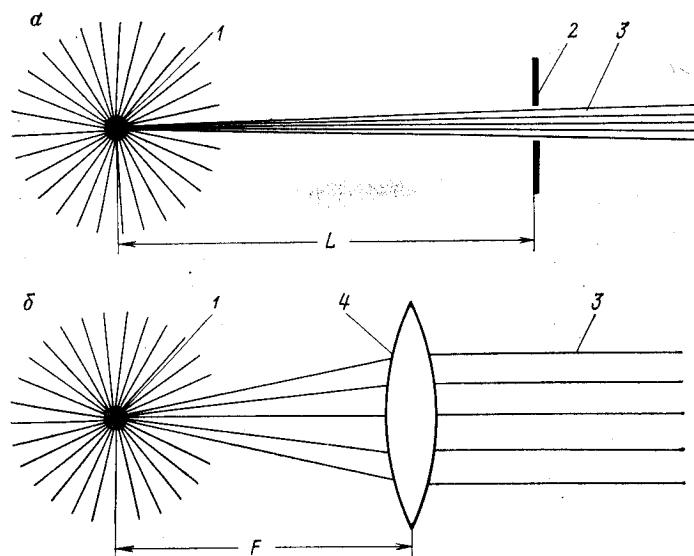


Рис. 15. Получение пучка света с малой расходностью:
а — с помощью диафрагмы; б — с помощью линзы коллиматора; 1 — источник света; 2 — диафрагма; 3 — полученный пучок света с малой расходностью; 4 — фокусирующая линза коллиматора

лучить почти параллельные лучи, если на большом расстоянии от него поставить диафрагму (рис. 15, а). Чем больше расстояние и чем меньше диаметр диафрагмы, тем меньше расходность пучка за диафрагмой. Ясно, что почти параллельные лучи, выделенные диафрагмой, несут очень небольшую энергию, так как она убывает пропорционально квадрату расстояния от источника до диафрагмы.

Почти параллельные лучи от обычного источника можно также получить, если поместить источник света в фокальной плоскости линзы коллиматора (рис. 15, б). Если при этом допустить, что источник представляет

собой точку, и aberrации¹ оптики отсутствуют, то получим параллельный пучок, расходимость которого будет определяться дифракцией на линзе коллиматора. Однако энергия такого пучка будет ничтожной, так как источник очень малого размера будет излучать чрезвычайно малую энергию, из которой, вдобавок, объектив вырежет лишь какую-то часть. Если же в фокальной плоскости линзы поместить источник конечного размера, то коллиматор даст пучок с расходностью, равной размеру источника, деленному на фокусное расстояние линзы. Чем меньшую расходность пучка хотим получить, тем меньше должен быть источник и тем меньше будет энергия в пучке. Идеально параллельный пучок не несет никакой энергии.

Лазеры излучают в очень небольшом телесном угле, т. е. они являются источниками почти параллельных лучей с очень небольшой расходностью, которая определяется дифракцией на выходном отверстии. Необходимо подчеркнуть, что направленность излучения лазеров достигается не в результате каких-либо приемов, как в случае обычных источников, а благодаря самому характеру излучения — когерентности. С помощью лазера нельзя создать идеально параллельный пучок, потому что когерентная волна будет дифрагирована на выходном отверстии. Применяя соответствующую оптику, можно лишь уменьшить угол расхождения, но сделать его равным нулю невозможно.

Высокая направленность определяет следующие преимущества лазеров перед обычными источниками излучения:

чрезвычайно малые потери энергии, связанные с увеличением расстояния и расходностью пучка, так как количество энергии, приходящейся на единицу площади поперечного сечения пучка на определенном расстоянии от источника, обратно пропорционально телесному углу расхождения пучка;

высокое угловое разрешение, что дает возможность точно направить излучение на мелкоразмерные цели и значительно уменьшить помехи, создаваемые посторонними предметами или излучением.

¹ Аберрация — погрешность в изображении, созданном реальной оптической системой по сравнению с изображением, построенным идеальной оптической системой.

Продолжение табл. 2

Тип прибора	Длина волны, мкм	Режим генерации	Мощность излучения, Вт	Основные размеры, мм		
				150×170×1070	150×170×1070	150×170×1070
ЛГИ-17	1,118	Импульсный	50, 40, 10	15	20	150×170×1070
	1,15					
	1,206					
	2,026	»	100	15	300	150×170×1070
	3,43		50	10		
	3,51		20			1075×290×280
ЛГИ-26	0,4880	Непрерывный	1	4	300	302×30×40
	0,6328	»	3·10 ⁻³	1,5	8	
ЛГ-106						
ЛГ-78						

Как уже отмечалось, произвести теоретический расчет коэффициента k_λ очень сложно, поэтому авторы сделали попытку определить величину k_λ для атмосферы шахты им. Губкина на основании экспериментальных исследований.

Учитывая то обстоятельство, что лазерное излучение, проходя через коллиматор, представляет собой в первом приближении пучок параллельных лучей, и следовательно, между мощностью U и интенсивностью I излучения существует прямая пропорциональная зависимость, можно утверждать, что закон Бугера справедлив и для мощности излучения U :

$$U_t = U_0 e^{-k_\lambda l}, \quad (4)$$

где U — мощность излучения на выходе из слоя толщиной l ; U_0 — мощность излучения на входе в слой.

После несложных преобразований формулы (4) получим:

$$k_\lambda = \frac{1}{l} \ln \frac{U_t}{U_0}. \quad (5)$$

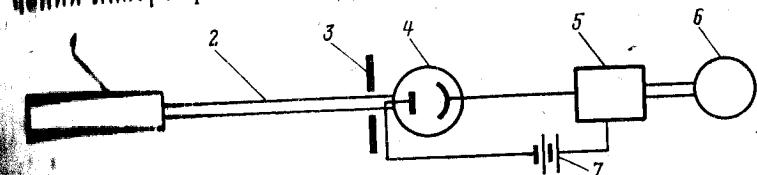
Из этой формулы видно, что для определения k_λ необходимо измерить мощность излучения в двух точках по ходу луча и расстояние между этими точками.

Значение k_λ определяли в штреке с запыленностью около 60 мг/м³. Работа выполнялась в следующем порядке:

а) лазер ЛГ-56 с коллиматором укреплялся в штреке;

б) по направлению прохождения луча лазера размечались пикеты через 10 м;

в) на каждом пикете определялась мощность излучения лазера фотометром (рис. 16);



16. Измерение мощности излучения с помощью фотометра:
1 — источник излучения; 2 — зеркало; 3 — диафрагма; 4 — вакуумный фотоэлемент Ф-5;
5 — линза; 6 — стрелочный индикатор; 7 — батарея постоянного тока

сухих. Если породы покрыты пылью, их отражательная способность зависит от ее свойств и определяется коэффициентом отражения самой пыли, который может уменьшаться относительно своего первоначального значения в несколько раз. Так, белый известняк ($k_{\text{отр}} = 72-78\%$), покрытый пылью халькопирита ($k_{\text{отр}} = 8\%$), снижает свою отражательную способность почти в 10 раз. Причем, пыль рудообразующих материалов имеет очень низкую отражательную способность. Например, пыль пирротина имеет $k_{\text{отр}} = 3,5\%$, пирита — $3,5\%$, галенита — $5,5\%$, ковелина — 10% , сфалерита — 21% . Приведенные примеры показывают, что за счет поглощения и рассеяния света отражающей поверхностью объекта в среднем теряется до 80% лучистой энергии.

§ 12. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗВУКОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Попытаемся теперь оценить возможность использования звуковых и электромагнитных колебаний для съемки подземных пустот с целью выделения наиболее перспективного вида колебаний.

Как указывалось ранее, скорость распространения звука в воздухе в значительной степени зависит от температуры, что может привести к возникновению по-грешностей в измерении расстояний. Кроме того, увеличение частоты колебаний, желательное с точки зрения уменьшения размеров и массы аппаратуры, приводит к значительному усилению затухания звука, что также является отрицательным свойством акустических колебаний. На основании этого можно сделать вывод, что звуковые колебания желательно применять для съемки подземных пустот, заполненных жидкостью, так как в них условия распространения звука значительно лучше, чем в воздухе, поскольку жидкость является намного более упругой средой.

Электромагнитные колебания имеют ряд преимуществ перед звуковыми при распространении в шахтной атмосфере. В связи с этим в последние годы появляется

еще большее число разработок приборов для съемки подземных пустот, использующих электромагнитное излучение радиоволнового и оптического диапазонов [13, 14, 17, 18, 19]. Наилучшие результаты достигаются при работе с лазерным излучением, которое обладает уникальными свойствами: высокой направленностью и интенсивностью, когерентностью и монохроматичностью. Широким преимуществом является также малогабаритность как самих лазеров, в особенности полупроводниковых, так и оптических устройств, фокусирующих излучение. Все это позволяет создавать приборы с высокими техническими характеристиками. Например, ВНИИМ создан безотражательный дальномер для съемки подземных пустот на основе полупроводникового лазера [48]. В связи с этим появляются перспективы автоматизации измерений, без которой невозможно решить проблему маркшейдерской съемки недоступных пустот на современном уровне.

ГЛАВА III МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

§ 13. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

В настоящее время работы ведутся в основном в направлении разработки приборов для съемки подземных очистных камер и подземных транспортных выработок большой площади сечения. Маркшейдерская съемка этих объектов составляет основную часть съемочных работ при ведении добывочных работ камерными системами разработки, а также при строительстве подземных транспортных магистралей.

Работы, связанные с созданием приборов для съемки указанных объектов, ведутся в направлении разработки приборов:

- 1) основанных на тахеометрическом принципе определения координат недоступных объектов;
- 2) основанных на фотограмметрических принципах определения координат;
- 3) позволяющих определять координаты объектов путем измерения и преобразования физических величин в геометрические величины, которые могут характеризовать параметры недоступных пустот.

Такой довольно различный подход к решению задачи вполне оправдан многообразием горнотехнических условий проведения съемки. Вследствие этого пока не возможно создать единый прибор для съемки всех камер.

Как было показано ранее, в практике ведения горнодобывочных работ встречаются разнообразные очистные камеры. По съемочным характеристикам очистные камеры разделяются на три большие группы. Каждая группа имеет свои особенности, которые ограничивают применение того или иного вида съемочного прибора и характеризуют:

56

- 1) число и расположение подходных выработок к очистному пространству;
- 2) соотношение параметров камеры (длины, ширины, глубины);
- 3) углы наклона стенок камеры, прилегающих к точке стояния прибора.

Наиболее универсальны по применимости приборы для тахеометрической съемки. Однако успешное применение таких приборов возможно при:

- 1) наличии не менее двух подходных выработок к очистному пространству или возможности непосредственного доступа в камеру;
- 2) соотношении формы и размеров камеры, исключающем возникновение «мертвых зон»;
- 3) стенах камеры, прилегающих к точке стояния инструмента, имеющих вертикальное или крутые падение.

В настоящее время разработка приборов для тахеометрической съемки недоступных пустот идет в основном в направлении усовершенствования дальномерной части тахеометра: разработки проекционно-визуальных дальномеров геометрического типа с использованием излучения лампы накаливания и лазерного излучения, а также применения электронно-оптических дальномеров.

Применение фотограмметрических приборов также требует соблюдения перечисленных выше условий. Одиночная съемка фотограмметрическими приборами имеет ряд преимуществ по сравнению с тахеометрическими: наглядность результатов и меньшая трудоемкость съемочных работ.

Основным фактором, ограничивающим широкое внедрение фотограмметрических приборов, является трудность создания равномерной и достаточной по яркости освещенности очистного пространства.

Как показывает анализ результатов применения фотограмметрических приборов для съемки очистных камер, в дальнейшем использование фотограмметрии будет зависеть от решения таких задач, как: создание компактного фотограмметрического оборудования, надежной в работе, компактной осветительной аппаратуры и применение фотограмметрии в комплексе с лазерными источниками света.

57

Большую часть имеющихся в практике горнодобывающих работ очистных камер можно снимать тахеометрическим и фотограмметрическим методами. Однако имеются камеры, имеющие специфические условия, например:

- 1) длина значительно превышает ширину, а подходная выработка расположена с длинной стороны;
- 2) высота камеры превышает длину и ширину;
- 3) камеры, у которых стенки падают под углом не меньшим 45° ;
- 4) камеры, у которых имеется одна подходная выработка;
- 5) очистные камеры III группы по классификации на рис. 4.

Такие камеры тахеометрическим и фотограмметрическим методами снимать невозможно. Для их съемки необходимо разработать специальные приборы, которые можно было бы доставлять в очистное пространство помоему специальных приспособлений через подходную выработку, восстающий в потолочине или же через скважину, пробуренную с земной поверхности. Управление этими приборами должно осуществляться дистанционно, прибор должен иметь автоматическую запись показаний.

Принцип работы дистанционно-управляемых приборов основывается на применении: звукоакции, радиолокации, фотограмметрии и телеметрии.

Как видно, развитие маркшейдерского приборостроения в области создания приборов для съемки недоступных пустот отличается многообразием применения различных принципов и методов съемки. Попытаемся выделить из этого многообразия основные методы съемки подземных пустот и направления дальнейшего развития маркшейдерских приборов для съемки.

Классификацию методов съемки целесообразно проводить на основе физико-геометрических принципов горнотехнических условий применения приборов. В связи с этим все приборы и способы съемки, применяемые в комплексе с различного рода осветителями, проекторами светового излучения и дающие возможность определять полярные координаты недоступных пустот, следует отнести к тахеометрическому методу съемки.

Метод съемки	Точность измерения расстояний	Вид приборов	Условия применения	Способ съемки пространства
Тахеометрический	1:100 – 1:500	Тахеометры, снабженные дальномером двойного изображения; проекционным, визуальным и проекционно – визуальным дальномером; электронно-оптическим дальномером	Очистные камеры I группы Очистные камеры II группы с двумя или большими подходами с расположением, исключающим наличие «мертвых зон», транспортные выработки большого сечения	При помощи угломерной части прибора
Фотограмметрический	1:50	Приборы для способа световых засечек Коротковолновые спаренные стереокамеры в комплексе с проекторами лазерной марки Стереоскотографы	Очистные камеры I группы Очистные камеры II группы с расположением подходов, исключаящим «мертвые зоны».	При помощи маркшейдерской привязки
Локационный	1:50	Дистанционно – управляемые приборы, снабженные звуко- или радиодальномерами	Очистные камеры II и III группы	При помощи маркшейдерской привязки, самоориентирование с помощью магнитного датчика

Приборы и способы съемки, основанные на принципе фотографирования недоступных пространств, освещаемых специальными светильниками, светового пятна, движущегося по стенкам очистного пространства или следов лазерного излучения, относятся к фотограмметрическому методу съемки.

Приборы, позволяющие определять координаты путем измерения и преобразования физических величин, характеризующие параметры недоступного пространства, следует отнести к локационному методу съемки.

Любой метод съемки предполагает нанесение контуров недоступного пространства на план, следовательно съемка должна быть ориентирована относительно существующей маркшейдерской сети.

По способу ориентирования съемки приборы следует разделить на самоориентирующиеся и приборы, ориентирование которых производится с помощью обычной маркшейдерской привязки.

Термин «самоориентирование» употребляется к приборам, имеющим специальное устройство, позволяющее производить ориентирование (например, буссоль). Приборы, которые не имеют такого специального устройства, снабжаются дополнительными узлами или специальными метками для привязки прибора к существующей съемочной сети.

Табл. 3 дает представление о возможностях существующих методов съемки в конкретных условиях.

Дальнейшее развитие маркшейдерского приборостроения в области создания приборов для съемки очистных камер идет также по трем направлениям: совершенствование приборов для тахеометрического, фотограмметрического и локационного методов съемки. Тахеометрический метод наиболее прост и экономичен. Поэтому он и в дальнейшем будет применяться для съемки разнообразных пустот. Темпы развития фотограмметрического метода будут определяться в основном наличием высокопроизводительного съемочного оборудования и оборудования для камеральных работ. Локационный метод может получить широкое распространение лишь после разработки компактных приборов доставляемых в очистное пространство.

§ 14. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Тахеометрический метод основан на сфереической системе координат. Определение положения точек снимаемого объекта относительно точки стояния инструмента производится измерением двух угловых (α, ρ) и одного линейного параметров l , где α — горизонтальный угол на снимаемую точку; ρ — вертикальный угол и l — расстояние от станции до пункта.

Отсутствие специальных приборов на рудниках и острая необходимость в съемке недоступных пустот привели к разработке методов тахеометрической съемки, при которых используются в большинстве случаев обычные угломерные инструменты, а также приспособления, играющие вспомогательную роль при производстве съемки (проекторы световой марки, прожекторы и др.).

В основе этих методов определения координат точек недоступных пространств лежит способ угловых засечек. При этом способе измеряются угловые параметры направления на снимаемую точку, а линейный параметр определяетсякосвенно.

Одновременно с этим разрабатывались специальные тахеометры, которые при производстве съемки устанавливают в подходной выработке (при непосредственном доступе — в камере), ориентируют относительно существующих маркшейдерских точек. Такие тахеометры позволяют определять расстояния с помощью дальномера и одновременно регистрировать горизонтальные и вертикальные углы на снимаемую точку.

Разрабатываются тахеометры, снабженные визуальными дальномерами, проекционно-визуальными дальномерами при использовании излучения обычной лампочки или лазера и проекционно-визуальными дальномерами с использованием лазерного излучения.

Исследования возможности применения лазерного излучения в приборах для съемки подземных пустот были впервые проведены в ВИОГЕМе. По результатам исследований были созданы макетные образцы лазерных тахеометров с техническими характеристиками, удовлетворяющими требованиям производства.

§ 15. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ, ОСНОВАННАЯ НА СПОСОБЕ УГЛОВЫХ ЗАСЕЧЕК

Из-за отсутствия серийно выпускаемых специальных приборов для съемки очистных камер маркшейдерам предприятий часто приходится изыскивать упрощенные методы для съемки камер. Однако в распоряжении маркшейдеров до настоящего времени имеются, как правило, лишь приборы для угломерной и вертикальной съемки. Это обстоятельство и явилось причиной применения способов съемки очистных камер с помощью угловых засечек с использованием теодолитов и угломеров.

Съемка очистных камер угломерами. Для определения объема и точного изображения контуров камеры может быть применен метод прямой засечки двумя угломерами с двух точек, координаты которых известны.

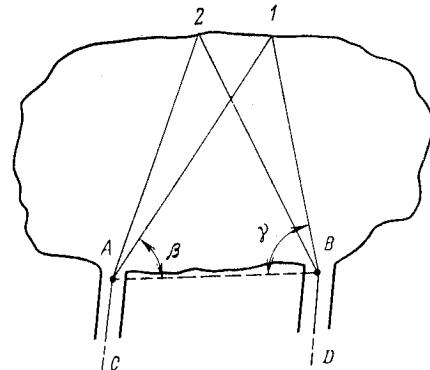


Рис. 17. Схема определения расстояния угломерами

[33]. Угломеры устанавливаются в точках A и B (рис. 17). С одной из точек при помощи прожектора или фонаря с отражателем направляется световое пятно (зайчик) на характерные места камеры. Это пятно засекается обоими угломерами путем измерения горизон-

тильных и вертикальных углов, значения которых записываются в журнал.

Камеральная обработка материалов съемки в данном случае будет состоять в следующем.

1. Если не измерено в натуре, то определяется косинус расстояния между двумя точками A и B по их координатам.

2. По дирекционным углам исходных сторон AC и BD и измеренным примычным углам определяют дирекционные углы направлений на пикеты 1 и 2.

3. Зная значения дирекционных углов направлений на пикеты 1 и 2, определяют углы β и γ .

4. По углам β и γ и ранее вычисленному расстоянию между точками A и B определяют горизонтальные расстояния до точек 1 и 2.

Обработав, таким образом, наблюдения на все точки, получим данные для определения координат снимаемых точек и, следовательно, для составления графической документации.

Приведенный способ съемки пустот несложен, но малопроизводителен, трудоемок в камеральной обработке и требует участия нескольких квалифицированных

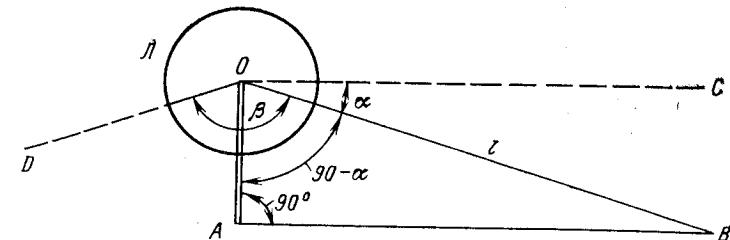


Рис. 18. Схема определения положения точки B световыми засечками:

L — лимб теодолита с центром O ; OA — базис-консоль; OB — луч визирования на точку B ; AB — световой луч, идущий с конца базиса под углом 90°

съемщиков. Однако при отсутствии на шахте более совершенных инструментов он является возможным.

Съемка очистных камер способом световых засечек (рис. 18). Съемка световыми засечками была применена В. М. Зубовым при съемке очистных выработок на рудниках Никитовского ртутного месторождения [33]. При

этом были разработаны следующие приспособления к теодолиту.

К нижней плоскости лимба теодолита прикреплялась консоль, на конце которой подвижно укреплялся рефлектор с вырезанным отверстием в виде креста. Лучи, идущие от источника света, отражались рефлектором в виде параллельного пучка и, проходя через отверстие, давали изображение креста. Над зрительной трубой теодолита устанавливался и закреплялся второй рефлектор, имеющий устройство, аналогичное первому. Луч света от рефлектора должен быть параллелен визирной оси трубы. Расстояние между осями камер рефлекторов составляло 259 мм.

Для определения положения точки B в пространстве необходимо определить расстояние l , угол β между жестким направлением на точку B и на точку D и превышение точки B над точкой стояния.

Как видно из рис. 18, все эти величины можно определить. Угол на определяемую точку получается как разность их значений горизонтальных углов при предварительной установке и при наведении рефлектора на точку B . Из прямоугольного треугольника OAB горизонтальное положение OB можно вычислить по формуле

$$OB = \frac{AO}{\sin \alpha}. \quad (6)$$

Наклонная длина вычисляется по измеренному вертикальному углу. Для обработки измерений использовались специальные таблицы.

Дальнейшее совершенствование способа световых засечек В. М. Зубовым привело к разработке приборов «Тахимарк-1», смонтированного из теодолита и двух проекторов, и «Тахимарк-2», где осуществлен принцип съемки световыми засечками [34].

Угол между пересекающимися лучами можно определять по теодолиту как разность отсчетов при параллельном расположении пучков лучей и в момент их пересечения в снимаемой точке, т. е. по принципу дальномера с постоянным базисом (Тахимарк-1), или угол этот заранее строится между лучом и базисом как дополнение к углу 90° , исходя из коэффициента дальномера.

Расчетная точность результатов определения расстояний по прибору «Тахимарк-1» составляет 1 : 100 для расстояния 20—30 м. В приборе «Тахимарк-2» точность определения расстояний предполагалась 1 : 150 для расстояний до 100 м. Подтвердить расчетную точность прибора «Тахимарк-2» не удалось [34].

Съемка очистных камер двумя теодолитами, снабженными световыми насадками. Съемка очистных камер способом световых засечек двумя теодолитами применена на шахте им. Губкина в 1960 г. [4]. Этот способ оказался более приемлемым при внедрении на шахте телеметра ГТР-1 и проекционного тахеометра ТПК. Этому способствовали следующие благоприятные горнотехнические условия:

соотношение параметров камеры позволяло свести «мертвые зоны» к минимуму;

наличие двух, а иногда трех и четырех подходов дают возможность выбрать оптимальную схему съемки (с точки зрения производительности и удобства съемочных работ).

Однако этот способ имеет следующие недостатки:

1) невысокую производительность полевых и камеральных работ;

2) большой объем полевых работ, так как получение достоверного контура камеры связано с набором значительного количества пикетов;

3) необходимость длительного пребывания под землей съемщиков;

4) неизбежность появления «мертвых зон» и невозможность съемки стенок камер, примыкающих к точкам стояния теодолитов;

5) на дальность действия и точность результатов оказывает большое влияние запыленность;

6) производство работ небезопасно для съемщиков.

Съемка производится двумя теодолитами ТТ-50, снабженными специальными световыми насадками. В качестве источника света использовалась лампочка напряжением 2,5 В, питаемая от шахтного аккумулятора. Съемка недоступных стенок камер основана на принципе прямой засечки.

Для сокращения времени на съемку и обработку ее результатов, а также для большей полноты съемки была разработана программа наблюдений. На план ка-

меры наносили профили съемки через 5—6 м. Транспортиром с точностью до 1° измерялись углы β_1 и β_2 и задавался интервал на высоте. На месте съемки, после ориентирования инструментов, на лимбе теодолита №

отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам β_1 и δ .

Далее, не изменяя горизонтальный угол на теодолите № 1, световую марку его перемещали на следующую по высоте точку данного профиля. Теодолитом № 2 засекали положение этой второй точки профиля. Таким же образом определяли положение всех намеченных точек заданного профиля, находящихся в поле зрения обоих теодолитов.

Съемка точек по остальным профильным линиям производилась аналогично. К достоинствам этого метода съемки камер следует отнести простоту и сравнительно небольшую трудоемкость работ, не требующих специальной квалификации исполнителей.

Построение планов, вертикальных и горизонтальных разрезов сводится к нанесению горизонтальных проложений по измеренным горизонтальным углам с помощью кругового транспортира. Отметки пикетов вычисляются по измеренным вертикальным углам и горизонтальным проложениям.

Опыт работ показал, что метод обеспечивает при измерении расстояния до 50 м точность 1/200.

Способ съемки целиков и кровли очистных камер. На шахте Джезказганского комбината с целью наблюдения за поведением пород кровли и контроля за состоянием целиков большой высоты разработан метод, который заключается в следующем: теодолит устанавливается с таким расчетом, чтобы были видны боковые образующие поверхности целика по всей его высоте. Визируя на нижнее основание целика, берут исходный отсчет по горизонтальному и вертикальному кругам и измеряется расстояние от теодолита до точки. Затем последовательно визируют на каждую характерную точку целика и берут отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам. Аналогично выполняются съемки других сечений [35].

Камеральная обработка заключается в графическом оформлении результатов съемки с помощью линейки и транспортира.

На шахтах Джезказгана для съемки кровли камер применяется специальная оптическая нивелирная рейка НР-0, позволяющая определять положение кровли камер высотой 20—25 м. Она представляет собой обычную

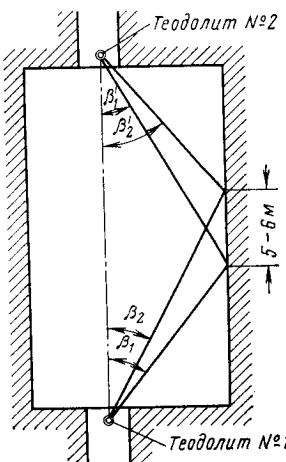


Рис. 19. Съемка очистных камер двумя теодолитами ТТ-50, спаренными световыми насадками

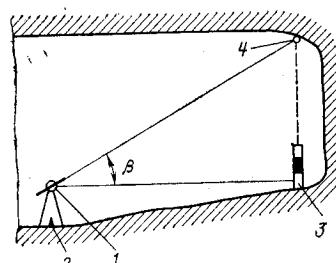


Рис. 20. Схема съемки кровли камеры при помощи специальной нивелирной рейки

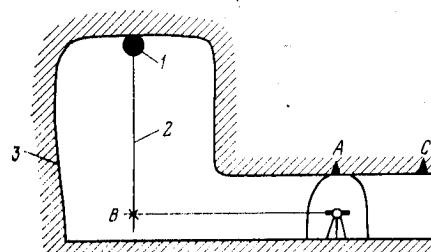


Рис. 21. Схема съемки кровли камеры с помощью водородных баллонов

откладывали угол β_1 и, таким образом, световую марку проецировали на стенку выработки на предусмотренной программой высоте (рис. 19).

Световую марку теодолита № 2 совмещали на стенке камеры со световой маркой теодолита № 1 и брали

шахтную рейку и проецирующее устройство, состоящее из трубы от нивелира НП и электрической лампочки питаемой от шахтных аккумуляторов [36].

На рис. 20 показан способ съемки камер с помощью такой рейки. Угломерный прибор 1 устанавливается над маркшейдерской точкой 2 и ориентируется относительно существующих маркшейдерских точек. В точке 2 устанавливается нивелирная рейка. При включении оптического фонаря световой поток, идущий от электрической лампочки, через трубу в виде световой марки 4 попадает на потолочину камеры. Рейка устанавливается вертикально по круглому уровню. Таким образом, отсчитав расстояние от рейки (по нитяному дальномеру) и измерив горизонтальный и вертикальный углы на световую марку, получим высоту камеры по формуле

$$H = d \operatorname{tg} \beta + i - h, \quad (7)$$

где d — расстояние до рейки, м; β — вертикальный угол, градус; i — высота инструмента, м; h — превышение точки стояния рейки над точкой стояния инструмента, м.

Относительная ошибка измерения высоты камеры (высота порядка 10 м) составляет 1/150.

На руднике Сулиган Канадского объединения рудоплавильной компании для съемки кровли камеры применяются водородные баллоны [37]. Баллон 1 (рис. 21) привязывается к легкой нити, которая разделена на отрезки, отмеченные бирками через каждый метр. Нить наматывается на катушку. На станции А исходной стороны AC устанавливается угломер.

В камере 3 на выбранных точках спускают нить с катушкой до тех пор, пока баллон не коснется кровли выработки.

Съемщик, находясь у нити, прикрепляет к нити зажим B , служащий для наведения визирного луча теодолита. Производят отсчет по нити, соответствующей вертикальному расстоянию от баллона до зажима, замеряют отрезок от зажима до почвы выработки, измеряют горизонтальный и вертикальный углы, визируя на зажим.

По измеренным данным и по известным координатам точки стояния определяют координаты наблюдаемых точек кровли.

§ 16. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ОЧИСТНЫХ КАМЕР ПРИБОРАМИ С ВИЗУАЛЬНЫМИ ДАЛЬНОМЕРАМИ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В основе определения полярных координат недоступных обнажений оптическими дальномерами двойного изображения лежит решение параллактического прямоугольника, который образуется путем разделения изображения в поле зрения зрительной трубы специальными оптическими деталями и системами.

Маркшейдерские угломеры «Телемарк» и «Телеметр». В 1940 г. по инициативе проф. И. М. Бахурина в ЦНИИМБ был сконструирован прибор «Телемарк» для съемки очистных выработок [33], представляющий собой угломерный инструмент с дальномером двойного изображения с переменной базой при инструменте и постоянным параллактическим углом. Он состоит из двух базисных пентапризм 2 и 3 (рис. 22), укрепленных на

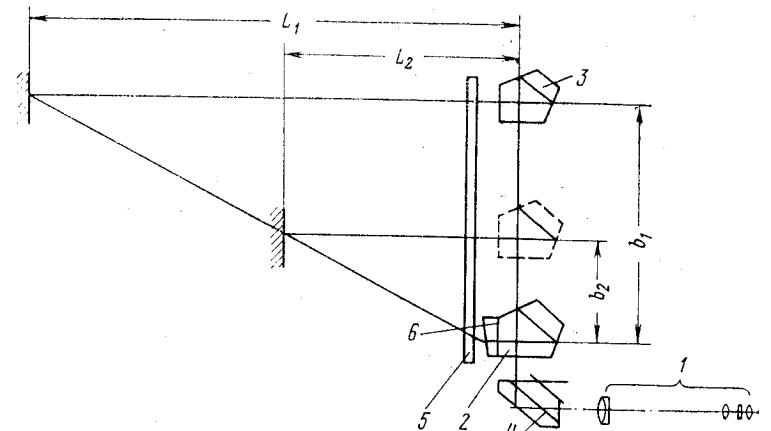


Рис. 22. Оптическая схема «Телемарка»

кронштейнах. Кронштейн неподвижной пентапризмы установлен на винте и может перемещаться по базе. К передней грани неподвижной пентапризмы приклеен клин 6. Перед пентапризмами помещено стекло 5, на внутренней поверхности которого нанесена дальномерная

шкала, проецируемая при включении отсчетной линзы в окуляр зрительной трубы. Максимальная длина базы са 75 мм, цена большого деления 1 м, цена малого деления 0,2 м. Внизу корпуса установлена дахпризма переворачивающая изображение (для получения нормального изображения) и направляющая лучи в зрительную трубу 1. В фокальной плоскости зрительной трубы помещена бипризма, служащая для разграничения пучков лучей, образующих половинки разрезанного изображения.

При измерении расстояний зрительную трубу прибора наводят на сигнал. В поле зрения прибора получается двойное изображение сигнала. Вращением барабана микрометра совмещают две половинки изображения сигнала и включают отсчетную линзу. В поле зрения вместо одного полуизображения появится шкала и горизонтальный штрих сетки нитей, относительно которого по шкале производят отсчеты. Пределы измерения расстояний «Телемарком» 3—50 м.

При совмещении двух половинок изображения одну образуется прямоугольный измерительный треугольник с постоянным параллактическим углом γ и измеренной базой b , из которого определяется длина наклонного расстояния по формуле

$$S = b \operatorname{ctg} \gamma, \quad (8)$$

где b — переменная база; γ — параллактический угол.

В связи с началом Великой Отечественной войны конструирование «Телемарка» не было закончено. В 1945 г. во ВНИМИ были возобновлены работы по созданию прибора, который и был изготовлен в 1947 г. под названием «Телеметр» [38].

Горный тахеометр «Телеметр» представляет собой угломер повторительного типа с дальномером двойного изображения с постоянным углом и переменным вертикальным базисом при инструменте. «Телеметр» отличается от «Телемарка» лишь некоторыми параметрами и деталями. Принципиальная схема дальномера в этих приборах в основном одна и та же. Дальномерное устройство заключено в корпус, с которым нагло соединена зрительная труба. Перед объективом трубы находится прямоугольная дахпризма, изменяющая ход лучей на угол 90° . Световое отверстие объектива, так же

как и в «Тахимарке», перекрыто двумя пентапризмами (неподвижной и подвижной). К оправе пентапризмы прикреплен оптический клин, создающий параллактический угол, равный $5'10''$. Шкала нанесена также на стеклянной пластине, изображение которой дает объектив, включаемый при взятии отсчета по шкале. Перемещение подвижной пентапризмы по двум направляющим производится с помощью подающего механизма, который состоит из бесконечного винта с гайкой и барабаном.

Дальномером можно измерять расстояния от 2 до 80 м с относительной ошибкой 1 : 150, 1 : 200. Для измерения расстояний более 50 м он снабжен дополнительным клином, закрепленным на корпусе дальномера против неподвижной пентапризмы.

Для измерения расстояний до недоступных мест в подземных выработках тахеометр снабжен прожектором, с помощью которого на забой проецируется нить электрической лампочки. Световой «зайчик» служит сигналом в точке визирования.

Для тахеометрических съемок на поверхности в комплекте прибора имеются две сигнальные вышки с винтовыми марками, снабженные установочными круглыми уровнями. Для съемки провалов горного массива «Телеметр» снабжен сигнальным шаром, опускаемым при помощи шнура на характерные места провала.

«Телеметр» приспособлен для работы на консоли и на штативе. Прибор испытывался в производственной обстановке в Кузбассе, в Криворожском железнорудном бассейне, в Челябинском угольном бассейне, на Коркинских карьерах.

С 1957 по 1960 г. «Телеметром» производили съемку очистных камер на шахте им. Губкина. Объект съемки освещался прожектором с проекционной лампой ПЖК-20 мощностью 0,5 кВт и напряжением 220 В. В качестве точек, до которых определялось расстояние, принимались отчетливо видимые трещины, уступы, прослойки пород. Процесс съемки был трудоемким и малопродуктивным. Точность определения расстояний 40—50 м не превышала 1/100. В связи с этим результаты съемки не всегда были пригодны для решения разнообразных горнотехнических задач.

**Техническая характеристика
прибора «Телеметр» [38]**

Увеличение трубы	12×
Диаметр объектива, мм	20
Поле зрения	4°20'
Длина трубы, мм	95
Максимальная длина базиса дальномера, мм	75
Параллактический угол	5'10"
Пределы измерения дистанции дальномером, м	3—100
Увеличение микроскопа дальномерной шкалы при отсчетывании	45×
Цена деления дальномерной шкалы, м	0,1
Диаметр горизонтального и вертикального кругов, мм	90
Цена деления кругов, градус	1'
Точность отсчета	1"
Размер, мм	130×160×225
Масса без консоли, кг	3,3
Масса с консолью, кг	4,2

Топографические дальномеры «Телетоп» и BRT-006.
Дальнейшее совершенствование тахеометров, снабженных дальномерами двойного изображения, получено в разработках Народного предприятия «Karl Zeiss Iena» (ГДР), где были изготовлены топографические дальномеры «Телетоп» и усовершенствованная конструкция «Телетоп»—BRT-006.

Оптическая схема «Телетоп» отличается от «Телеметра» лишь конструктивными изменениями, к которым относятся открытое выполнение, увеличенные размеры [39].

«Телетоп» состоит из следующих основных узлов: буссоли с откидным зеркалом; вертикального круга с индексом для отсчета; съемной оптической трубы; базисной линейки со шкалой длиной 25,4 см; подвижной пентапризмы с индексом на оправе, служащим для отсчета расстояний; неподвижной пентапризмы с оптическим клином; закрепительного винта для укрепления прибора и подставки с подъемными винтами и круглым уровнем.

При работе дальномер устанавливается на штативе. С помощью «Телетопа» можно измерять расстояния, вертикальные углы и магнитные азимуты.

Деления на линейке дальномера нанесены через 1 мм, что при оптическом клине 1:1000 соответствует 1 м.

Луч визирования, проходя через трубу 1 (рис. 23), преломляется прямоугольной призмой 2 и направляется в неподвижную 3 и подвижную 4 пентапризмы. В пентапризмах раздвоенный луч преломляется под прямым углом и уходит в пространство, а из неподвижной попадает в оптический клин, преломляется под параллаксом

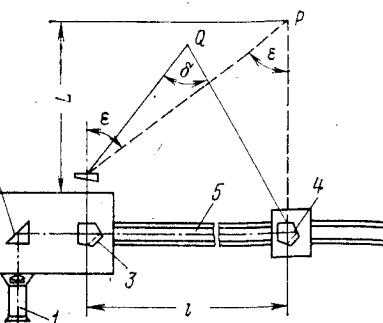


Рис. 23. Геометрическая схема измерения прибором «Телетоп»

ческим углом ϵ и также уходит в пространство. Из рис. 23 видно, что определение расстояний сводится к решению параллактического треугольника. Так как точка Q видна под углом δ , не равном углу ϵ , то в поле зрения трубы мы будем видеть два ее изображения. Чтобы получить одно изображение точки Q , необходимо подвижную пентапризму поместить так, чтобы луч, проходящий через нее, пересекся с лучом неподвижной призмы в точке Q . В этом случае расстояние до точки P выразится формулой

$$L = l \operatorname{tg} \epsilon.$$

или

$$L = kl, \quad (9)$$

где L — искомое расстояние; l — расстояние между основаниями лучей, отраженных подвижной и неподвижной призмами, соответствующее отсчету по шкале базиса; k — коэффициент дальномера.

В зависимости от требуемой точности и измеряемого расстояния в инструменте устанавливаются сменные оптические клинья, имеющие различные углы отклонения лучей.

Техническая характеристика
прибора «Телеметр» [38]

Увеличение трубы	12×
Диаметр объектива, мм	20
Поле зрения	4°20'
Длина трубы, мм	95
Максимальная длина базиса дальномера, мм	75
Параллактический угол	5' 10"
Пределы измерения дистанции дальномером, м	3—100
Увеличение микроскопа дальномерной шкалы при отсчитывании	45×
Цена деления дальномерной шкалы, м	0,1
Диаметр горизонтального и вертикального кругов, мм	90
Цена деления кругов, градус	1'
Точность отсчета	130×160×225
Размер, мм	3,3
Масса без консоли, кг	4,2
Масса с консолью, кг	

Топографические дальномеры «Телетоп» и BRT-006.
Дальнейшее совершенствование тахеометров, снабженных дальномерами двойного изображения, получено в разработках Народного предприятия «Karl Zeiss Jena» (ГДР), где были изготовлены топографические дальномеры «Телетоп» и усовершенствованная конструкция «Телетоп»—BRT-006.

Оптическая схема «Телетоп» отличается от «Телеметра» лишь конструктивными изменениями, к которым относятся открытое выполнение, увеличенные размеры [39].

«Телетоп» состоит из следующих основных узлов: буссоли с откидным зеркалом; вертикального круга с индексом для отсчета; съемной оптической трубы; базисной линейки со шкалой длиной 25,4 см; подвижной пентапризмы с индексом на оправе, служащим для отсчета расстояний; неподвижной пентапризмы с оптическим клином; закрепительного винта для укрепления прибора и подставки с подъемными винтами и круглым уровнем.

При работе дальномер устанавливается на штативе. С помощью «Телетопа» можно измерять расстояния, вертикальные углы и магнитные азимуты.

Деления на линейке дальномера нанесены через 1 мм, что при оптическом клине 1:1000 соответствует 1 м.

Луч визирования, проходя через трубу 1 (рис. 23), преломляется прямоугольной призмой 2 и направляется в неподвижную 3 и подвижную 4 пентапризмы. В пентапризмах раздвоенный луч преломляется под прямым углом и уходит в пространство, а из неподвижной попадает в оптический клин, преломляется под параллакти-

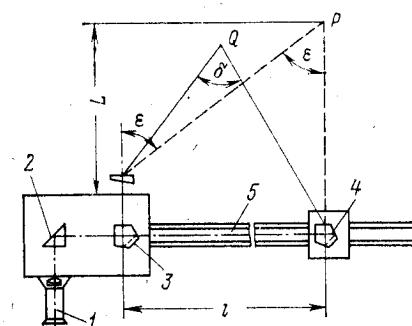


Рис. 23. Геометрическая схема измерения прибором «Телетоп»

ческим углом ε и также уходит в пространство. Из рис. 23 видно, что определение расстояний сводится к решению параллактического треугольника. Так как точка Q видна под углом δ , не равном углу ε , то в поле зрения трубы мы будем видеть два ее изображения. Чтобы получить одно изображение точки Q , необходимо подвижную пентапризму поместить так, чтобы луч, проходящий через нее, пересекся с лучом неподвижной призмы в точке Q . В этом случае расстояние до точки P выразится формулой

$$L = l \operatorname{tg} \varepsilon. \quad (9)$$

Или

$$L = kl,$$

где L — искомое расстояние; l — расстояние между основаниями лучей, отраженных подвижной и неподвижной призмами, соответствующее отсчету по шкале базиса; k — коэффициент дальномера.

В зависимости от требуемой точности и измеряемого расстояния в инструменте устанавливаются сменные оптические клинья, имеющие различные углы отклонения лучей.

Дальномер предназначен для измерений пониженной точности и приспособлен к угломерному прибору упрощенной конструкции с буссолью и вертикальным кругом. Труба имеет увеличение 6*, угол поля зрения $7^{\circ}20'$ [39].

Съемка очистных камер этим тахеометром производится путем определения полярных координат до марок, проецируемых на поверхность недоступного объекта специальным проектором.

Исследования по применению «Телетопа» для съемки пустот были проведены в ГДР; они позволили установить, что можно значительно увеличить точность дальномера, если его переконструировать так, чтобы совмещались не две половинки изображения марки, а изображения прямое и обратное.

В ЧССР проведена работа по выбору светопроекционных систем, используемых совместно с дальномерами при съемке подземных камер. Исследована зависимость точности определения расстояний дальномером типа «Телетоп» в подземных выработках от яркости световой марки. Исследования показывают, что рекомендуемые проектиры представляют довольно громоздкие устройства, потребляющие большое количество электроэнергии.

В СССР прибор «Телетоп» использовался для съемки очистных камер рудника им. Матросова объединения Северовостокзолото [6]. Чтобы иметь возможность измерять расстояния до недоступных объектов, прибор снабжался устройством, позволяющим проецировать достаточно яркую с резко очерченными контурами световую марку. Для этого в качестве проектора использовалась зрительная труба нивелира НГ, в которую вместо окуляра вмонтирована лампочка напряжением 6 В. Источник питания — два последовательно соединенных аккумулятора (ШКН-10). На стенку камеры проецировалась нить накаливания лампочки. Проекционная труба прикреплялась к корпусу «Телеметра» посредством шарнира рядом со зрительной трубой на площадке над неподвижной пентапризмой. Чтобы проекция нити накаливания находилась в поле зрения визирной системы «Телетопа», предусмотрен специальный элевационный винт. Оборудованный такой проекционной системой «Телетоп» позволял снимать точки, удаленные от прибора на расстояние до 30 м.

Оптическая схема ВРТ-006 отличается от «Телетопа» тем, что параллактический треугольник получается отклонением неподвижной пентапризмой визирного луча на параллактический угол, равный коэффициенту дальномера, а также введением в оптическую систему редуцирующего устройства [40].

При угловых измерениях неподвижную пентапризму вдвигают в центральное положение до упора о кожух объектива.

Поправка за приведение длины линии к горизонту определяется по известной из курса геодезии формуле

$$\Delta D = D(1 - \cos \delta), \quad (10)$$

где D — измеренное наклонное расстояние.

В тахеометре ВРТ-006 она вводится автоматически при помощи подвижной полулинзы компенсатора, которая при вращении трубы вокруг своей оси смещается на величину Δ , подчиненную условию

$$\frac{\Delta}{f} = \frac{\epsilon_0}{\rho} (1 - \cos \delta), \quad (11)$$

где f — фокусное расстояние полулинзы; δ — угол наклона визирной оси.

Смещение полулинзы на величину Δ производится автоматически при помощи кулачкового механизма, профиль которого соответствует уравнению (11). При вращении трубы скользящий по профилю кулачкового механизма контакт смещает полулинзу компенсатора на величину Δ , соответствующую углу δ . Соответственно изменяется направление визирной линии на угол $\Delta\gamma$ и при измерении расстояния в отсчет по шкале линейки автоматически вводится поправка Δn . Отсчет $n' = n - \Delta n$ получается редуцированным, соответствующим горизонтальной проекции измеренной линии.

Техническая характеристика тахеометра ВРТ-006 [40]

Увеличение зрительной трубы	15×
Наименьшее расстояние визирования, м	1,8
Коэффициент дальномера	200
Постоянное слагаемое дальномера	0
Диапазон измерения зенитного угла (градус) при круге:	0—137
лево	222—360
право	

Диапазон действия редукционной системы (только при круге лево) для зенитного угла, градус	45—135
Цена деления цилиндрического уровня	1'
Цена деления сферического уровня	8'
Цена деления шкалового микроскопа горизонтального и вертикального кругов	5'
Оценка отсчета на глаз	0,5
Цена шкалы базиса, м	0,1
Оценка отсчета расстояния на глаз, м	0,01
Диапазон измерения расстояний, м	2—60
Масса тахеометра с ящиком, кг	12,5
Масса штатива, кг	6,4

Практика показала, что приборы «Телетоп» и ВРТ-006 имеют малый диапазон измеряемых расстояний. С точностью около 1/100 ими можно измерять расстояния до 40 м. Точность измерения расстояний свыше 40 м значительно понижается вследствие невозможности точного совмещения двойных изображений марки [10].

Тахеометры, снабженные визуальными дальномерами и проекторами световой марки. У визуальных дальномеров измеряемый параллактический угол заключен между визирными лучами. Проекционная система устанавливается независимо от визуальной и предназначена лишь для проецирования на стенку камеры достаточно яркой марки с четкими краями. Из дальномеров этого типа нашли некоторое применение в практике приборы Д-1м, МИД-1, ТПБ и др.

Дальномер Д-1м предназначен для съемки подземных камер при расстояниях от 2 до 60 м. Он снабжен сменными оптическими клиньями, что при базисе 300 мм позволяет измерять расстояния до 300 м [40]. Оптическая система прибора Д-1м подобна системам приборов «Телемарк», «Телетоп».

Для съемки подземных камер дальномер снабжен специальной системой, проецирующей светящуюся точку на поверхность выработки. Эта система состоит из перемещающегося объектива и лампочки накаливания. Лучи, идущие от светящейся марки, попадают в верхнюю половину объектива через неподвижную призму. Совмещение двух половинок изображения марки в одну посредством подвижной пентапризмы приводит к образованию параллактического треугольника с постоянным параллактическим углом β и переменным базисом b .

76

Расстояние определяется по формуле

$$S = b \operatorname{ctg} \beta. \quad (12)$$

Относительная ошибка измерения расстояний от 2 до 50 м составляет 1 : 200—1 : 100. Производственные испытания прибора показали, что диапазон измеряемых расстояний и точность прибора в шахтной атмосфере заметно снижаются.

Дальномер Д-1м был выпущен небольшой партией ХЗМИ и нашел некоторое применение на рудниках страны.

Техническая характеристика дальномера Д-1м

Величина горизонтального базиса, мм	300
Дальность действия, м	2—60
Диапазон измерения вертикальных углов, градус	± 70
Коэффициент дальномера	50, 100, 200, 500
Масса прибора, кг	8
Относительная ошибка измерения расстояний	1 : 200—1 : 100
Цена деления лимба горизонтального и вертикального кругов, градус	
Цена деления шкалы базисной линейки, мм	1

Институтом УНИПРОМ предложен метод съемки камер, основанный на применении разработанного маркшейдерского инструмента с дальномером (МИД-1). Принцип действия дальномера заключается в оптическом проецировании на стенку выработки световой марки и определении ее ширины. Ширина марки увеличивается с расстоянием: зная ее ширину можно определить искомое расстояние.

Для определения ширины марки инструмент МИД-1 имеет специальное устройство, состоящее

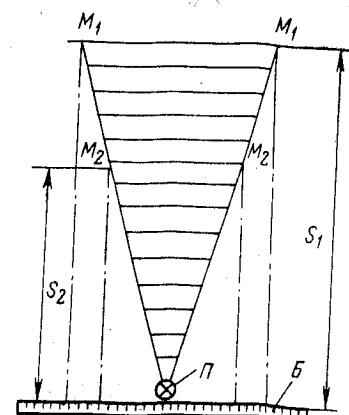


Рис. 24. Геометрическая схема измерения расстояний ТПЕ:

B — базис прибора; P — проектор световой марки; S_1 , S_2 — расстояния, соответствующие ширине световой марки M_1 , M_2 и M_2 , M_1 .

из визирной трубы, базисной линейки и пентапризмы (рис. 24). Перемещая пентапризму по линейке, последовательно совмещают вертикальную нить трубы с вертикальными краями марки и берут соответствующие этим совмещениям отсчеты. Разность этих отсчетов равна ширине марки, а расстояние S определяется по формуле

$$S = KL + c, \quad (13)$$

где K — постоянная дальномера ($K = f/p$); f — фокусное расстояние объектива проекционной трубы; p — ширина полоски наклеенной на стеклянную пластинку сетки нитей; c — постоянная инструмента ($c = f + \delta$); δ — расстояние от объектива проецирующей трубы до оси ее вращения.

Дальномер МИД-1 позднее был переконструирован в прибор ТПБ, который имеет мощную проекционную систему. В качестве осветителя применяется проекционная лампа мощностью 80 Вт. При достаточном навыке с помощью ТПБ в условиях шахтной атмосферы можно измерять расстояния от 4 до 60 м с точностью 1 : 150, а в некоторых случаях до 100 м с относительной ошибкой 1 : 100 [41]. К существенным недостаткам прибора ТПБ относятся его громоздкость, раздельная фокусировка проектора и трубы и неудобство взятия отсчетов по базисной линейке.

Техническая характеристика прибора ТПБ [41]

Увеличение объектива проектора	9×
Увеличение зрительной трубы	8×
Поле зрения зрительной трубы, градус	5
Рабочая длина базисной линейки, мм	400
Цена деления базисной линейки, мм	1
Цена деления горизонтального (вертикального) круга, градус	5'
Цена деления горизонтального (вертикального) круга, градус	250
Точность сферического уровня	1
Коэффициент дальномера	115
Величина эксцентриситета коленчатой части трубы проектора, мм	115

В настоящее время ТПБ усовершенствован ВНИМИ и выпускается под названием ТТ-4 (рис. 25). Дальномер ТТ-4 включает проектор, посредством которого световая марка проецируется на стенку выработки,

измерительное устройство, позволяющее определять ширину марки. Синхронная фокусировка визирной трубы и проектора упрощает выполнение измерительных операций и повышает производительность измерений.

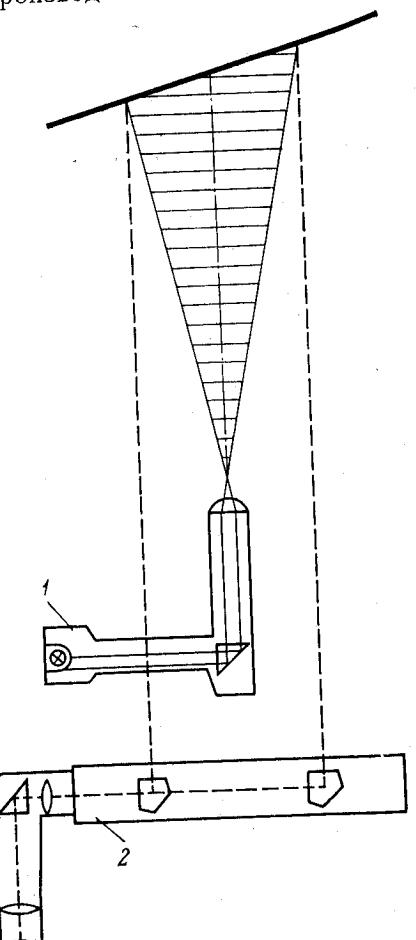


Рис. 25. Схема проекционной 1 и измерительной 2 систем ТТ-4

Техническая характеристика дальномера ТТ-4

Увеличение зрительной трубы	8×
Поле зрения зрительной трубы, градус	5
Диаметр зрачка выхода, мм	5

Рабочая длина базисной линейки, мм	300
Цена деления базисной линейки, мм	1
Пределы измерения расстояний, м	4—100
Относительная ошибка измерения расстояний	1:100—1:200
Пределы измерения горизонтальных углов, градус	0—360
Пределы измерения вертикальных углов, градус	(—50)—(+50)
Цена деления лимба горизонтального и верти-	
кального кругов, градус	1
Точность отсчета по кругам, градус	0,1
Точность сферического уровня	10
Масса прибора, кг	10,5
Размер прибора, мм	600×315×210

§ 17. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИОННО-ВИЗУАЛЬНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ В ТАХЕОМЕТРАХ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

В тахеометрах, предназначенных для съемки очистных камер, наиболее приемлемым является применение проекционно-визуального дальномера, в котором проецирование и визуальное наблюдение световой марки осуществляется с помощью одной визуальной системы. Применение такого дальномера значительно снижает трудоемкость съемочных работ.

Попытки создания тахеометра с применением проекционно-визуального дальномера привели к разработке во ВНИМИ приборов ТПК и УДС, а в СЗПИ — ТТМ.

Проекционный камерный тахеометр ТПК предназначен для съемки камер и других подземных выработок. В 1960 г. Харьковским заводом маркшейдерских инструментов выпущена опытная партия их. Прибор большого распространения не получил из-за значительного снижения дальности действия в шахтной атмосфере и большой массы комплекта.

Принципиальная схема дальномера ТПК заключается в следующем (рис. 26). Проекционный луч от кинолампы 1 проходя через конденсор 2, призму тройного отражения 3, дахпризму 10 и объектив 4 проецируется на стенку выработки. Визирный луч проходит через башмачную призму 6, плоскопараллельную пластину компенсатора 8 и пластину со шкалой расстояний 9. Расстояние (в приборе) между проекционным и визирным лучом составляет базу дальномера.

Принцип действия дальномера основан на различном отклонении визирного луча пластиной компенсатора 8 в зависимости от угла ее наклона к главному лучу светового пучка, образующего изображение светящейся марки. Величина параллактического угла колеблется в пределах $\pm 38'$.

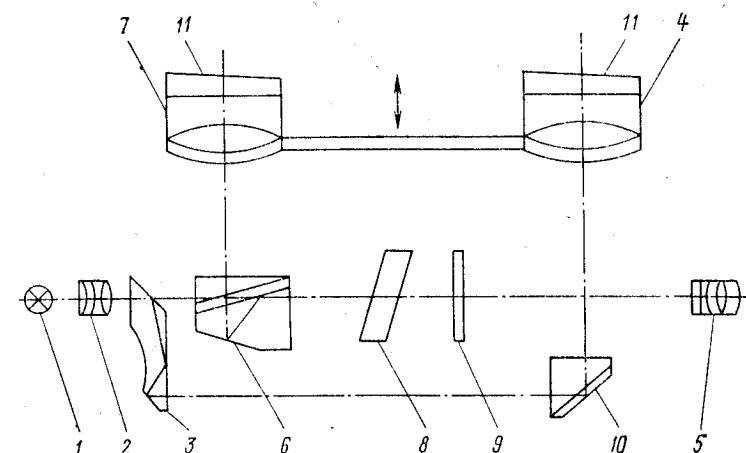


Рис. 26. Принципиальная схема ТПК

Исходя из функциональной зависимости между углом поворота пластины компенсатора и параллактическим углом, рассчитана неравномерная шкала дальностей, которая нанесена на пластинке 9 жестко связанной с пластиной компенсатора. Поэтому имеется возможность по величине угла поворота пластины компенсатора, читая отсчет по шкале дальностей, определять расстояния.

Фокусирование проекционного и визирного лучей осуществляется одновременно. Перед объективами в оправах установлены клинья 11, с помощью которых производится юстировка дальномера.

Техническая характеристика дальномера ТПК [45]

Увеличение зрительной трубы	8,5x
Поле зрения трубы	4°50'
Фокусное расстояние объективов, мм	230
Цена деления горизонтального (вертикального) круга, градус	1

Точность отсчитывания по кругам	0°, 1
Базис дальномера, мм	150
Пределы измерения расстояний, м:	
без базисной насадки	7—100
с базисной насадкой	14—200
Цена деления шкалы расстояний (м) для расстояний, м:	
от 7 до 15	0,1
» 15 » 20	0,2
» 20 » 30	0,5
» 30 » 50	2
» 50 » 70	5
» 70 » 100	83
Общая масса комплекта прибора, кг	

Угломер-тахеометр УДС, разработанный во ВНИМИ, представляет собой оптико-механический угломер-такхеометр с проекционно-визуальным дальномером, имеющим постоянную базу при инструменте и измерительно-отсчетное устройство в виде сетки со шкалой [25, 46, 61].

Прибор УДС относится к типу дальномеров с постоянной базой и переменным параллактическим углом. Расстояния до стенок камеры определяются по величине параллактического угла между визирной осью трубы и направлением на световую марку. Роль измерительного и отсчетного устройства играет плоскопараллельная пластина со спиральной сеткой, установленной в фокальной плоскости объектива визуальной системы.

Процесс измерения расстояний заключается в повороте пластины до тех пор, пока на спирали не будет найдена точка, описывающая окружность, касательную к изображению световой марки. Светящаяся шкала спиральной формы в поле зрения трубы позволяет непосредственно определять расстояния до световой марки. Прибор изготовлен во взрывобезопасном исполнении, имеет автономное электрическое питание, небольшую массу, прост в эксплуатации.

Прибор (рис. 27) состоит из угломерной части дальномерного устройства и электрооборудования. Он устанавливается на штативе и закрепляется с помощью шарнира 6 с опорной пластиной 7, становового 8 и зажимного 9 винтов. Вертикальность положения прибора контролируется круглым уровнем 5.

Угломерная часть включает вертикальную ось прибора, горизонтальный 3 и вертикальный 4 круги, которые представляют собой открытые металлические дис-

ки с делением 1°; доли деления определяются на глаз. Горизонтальный круг имеет повторительное устройство. Повороты лимбов горизонтального и вертикального кругов осуществляются от руки, точная наводка — с по-

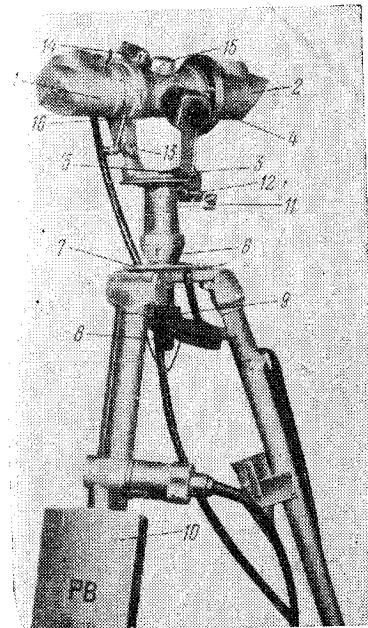


Рис. 27. Общий вид прибора УДС:

1 — проецирующая часть; 2 — визуальная часть; 3 — горизонтальный круг; 4 — вертикальный круг; 5 — круглый уровень; 6 — шарнир; 7 — опорная пластина; 8 — станововой винт; 9 — закрепительный винт; 10 — блок электропитания; 11—14 — микрометренно-зажимные винты горизонтального и вертикального кругов; 15 — фокусировочный барабан; 16 — окулярная коробка

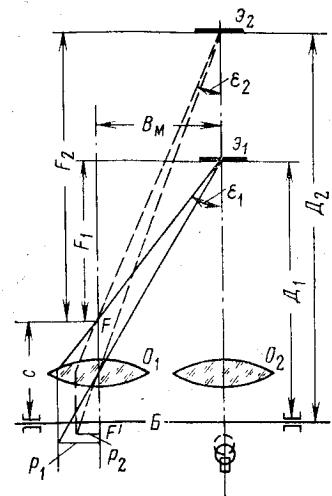


Рис. 28. Принципиальная схема дальномера УДС

мощью микрометренно-зажимных устройств 11 и 14.

На концах горизонтально расположенного базиса, перпендикулярно ему и параллельно друг другу, установлены проекционная 1 и визуальная 2 части прибора. Принципиальная схема дальномера показана на рис. 28. Базис дальномера, равный 200 мм, образуется между выходящими из прибора оптическими осями проекционной и визуальной систем. Проектирующая система проецирует на стенку выработки светящуюся марку, которая рассматривается в визуальную систему. Изображение

засветки, равной 200 мм, образуется между оптическими осями проекционной и визуальной систем. Проектирующая система проецирует на стенку выработки светящуюся марку, которая рассматривается в визуальную систему. Изображение

лов, камер, цеховых зданий, депо, мостов и т. д.). Он состоит из проекционно-визуального дальномера с базисом при инструменте, горизонтального лимба с оптическим устройством, штатива и ручного переносного аккумулятора [45].

Прибор ТТМ относится к типу дальномеров с постоянным базисом и переменным параллактическим углом. Принципиальная схема дальномера приведена на рис. 30. Изображение нити лампочки 1 через систему

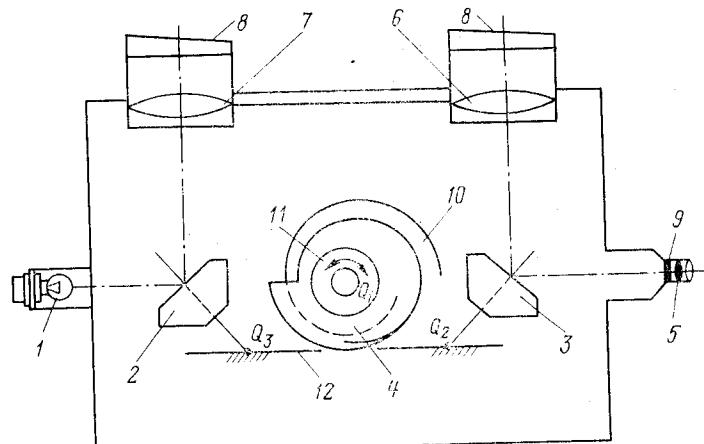


Рис. 30. Принципиальная схема дальномера ТТМ

зеркал 2, объективов 7 и компенсационный клин 8 проецируется на участок поверхности, до которой измеряется расстояние. Наблюдение светового пятна осуществляется через объектив 6, систему зеркал 3, окуляр 5. В фокальной плоскости объектива находится сетка 9 с нанесенным на ней биссектором.

Кинематическая схема дальномера представляет собой центральную ось O_1 , на которой жестко закреплены кулачки 4 и 10 и барабан с дистанционной шкалой 11. Двойные зеркала 2 и 3 жестко скреплены с рычагом 12 и могут вращаться на осях O_2 и O_3 .

При вращении центральной оси поворачиваются зеркала 2 и 3 и тем самым изменяется параллактический угол. Одновременно смещаются объективы 7 и 6, что обеспечивает автоматическую фокусировку.

Техническая характеристика таксеометра ТТМ [45]

Увеличение зрительной трубы	20×
Число измерения горизонтальных и вертикальных углов	6'
Пределный угол поворота дальномера в вертикальной плоскости, градус	290
Проекционная лампа СЦ-118 с прямолинейной линией накала	2,4 В, 1,2 А
Аккумулятор	ФКН-8
Основные размеры тахеометра, мм	390×250×150
Масса тахеометра без штатива, кг	8
Высота дальномера, мм	200

Дальность действия и точность измерения расстояний характеризуются данными табл. 4.

Таблица 4

Измеряемое расстояние, м	Точность измерения при двух отсчетах, см	Параллактический угол, градус	Точность отсчетов по дистанционно шкале, см
2	±0,3	6	0,2
5	±0,5	2,4	0,5
10	±1	1,2	1
15	±2	0,8	2

§ 18. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТАХЕОМЕТРАХ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Монохроматичность, малая расходимость, большая спектральная плотность излучения ОКГ позволяет применять их для измерения расстояний с большой точностью. В этой области перспективны следующие направления:

- а) измерение с высокой точностью больших расстояний (до 100 км и более) импульсными методами (например, для работ, связанных с исследованием космического пространства);
- б) измерение с высокой точностью средних расстояний (до нескольких километров) фазовыми методами;
- в) прецезионное измерение малых расстояний (до

светящейся марки располагается в плоскости изображений визуальной системы на некотором расстоянии P от ее оптической оси: величина P зависит от расстояния D между прибором и светящейся проекцией марки на отражающей поверхности — чем больше измеряемое расстояние D между прибором и проекцией марки, тем меньше P . На этом основана сетка дальномера: если светящуюся точку с равномерной скоростью удалять от прибора, то изображение ее оставит на вращающейся плоскости изображений визуальной системы непрерывный след в виде спиральной кривой; кривая проградуирована через определенные интервалы расстояний от прибора до отражающей поверхности и, таким образом, получена дальномерная спиральная сетка.

Из рис. 28 следует:

$$E_i = B \operatorname{ctg} \varepsilon_i, \quad (14)$$

$$D_i = E_i + c, \quad (15)$$

$$\operatorname{ctg} \varepsilon_i = \frac{f'}{P_i}. \quad (16)$$

Радиусы-векторы P , необходимые для построения спиральной кривой, вычисляются по формуле

$$P_i = \frac{B f'}{D_i - c}, \text{ м.} \quad (17)$$

Отсюда

$$D_i = \frac{B f'}{P_i} + c, \text{ м.} \quad (18)$$

где B — базис дальномера; f' — фокусное расстояние визуальной системы; D_i — расстояние от прибора до отражающей поверхности.

Дальномерная шкала нанесена на внутренней стороне спирали. Первый виток спирали (рис. 29) предназначен для измерения расстояний от 3 до 10 м, второй — от 10 до 20 м, третий — от 20 до 30 м и т. д.

Техническая характеристика прибора УДС

Угломерная часть

Диаметр горизонтального лимба, мм	85
Цена деления горизонтального лимба, градус	1
Увеличение отсчетных луп	2×
Точность отсчета по индексу (с оценкой на глаз)	1'

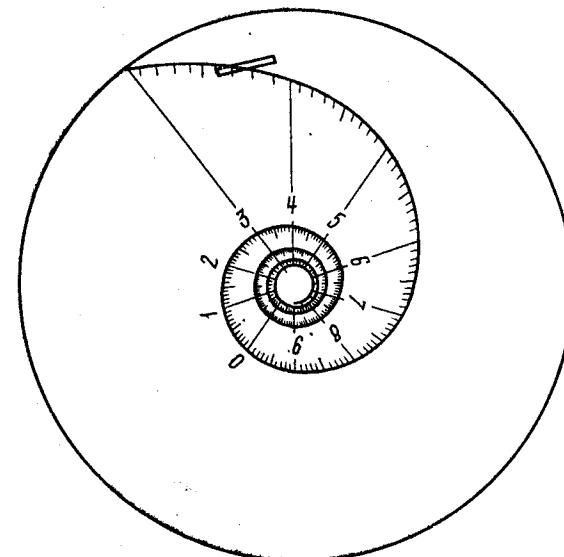


Рис. 29. Поле зрения зорительной трубы УДС в момент взятия отсчета

Диаметр вертикального лимба, мм	90
Цена деления вертикального лимба, градус	1
Точность отсчета по индексу (с оценкой на глаз)	2'
Пределы измерения вертикальных углов, градус	+90 (-60)

Дальномер	
База дальномера, мм	200
Концевые отражатели	Зеркала
Фокусное расстояние объективов, мм	100
Наименьшее расстояние визирования, м	3
Увеличение визуальной системы	10×
Поле зрения визуальной системы, градус	4
Разрешающая сила в центре поля зрения	4"
Цена деления шкалы спиральной сетки (м) в интервале, м:	
от 3 до 30	0,1
» 30 » 50	0,5
Точность отсчета	0,1 деления
Общая масса комплекта, кг	12,5

Тахеометр ТТМ предназначен для съемок полярным способом различных подземных и наземных сооружений (тоннелей, рудничных дворов, шахт, шахтных стволов).

лов, камер, цеховых зданий, депо, мостов и т. д.). Он состоит из проекционно-визуального дальномера с базисом при инструменте, горизонтального лимба с отсчетным устройством, штатива и ручного переносного аккумулятора [45].

Прибор ТТМ относится к типу дальномеров с постоянным базисом и переменным параллактическим углом. Принципиальная схема дальномера приведена на рис. 30. Изображение нити лампочки 1 через систему

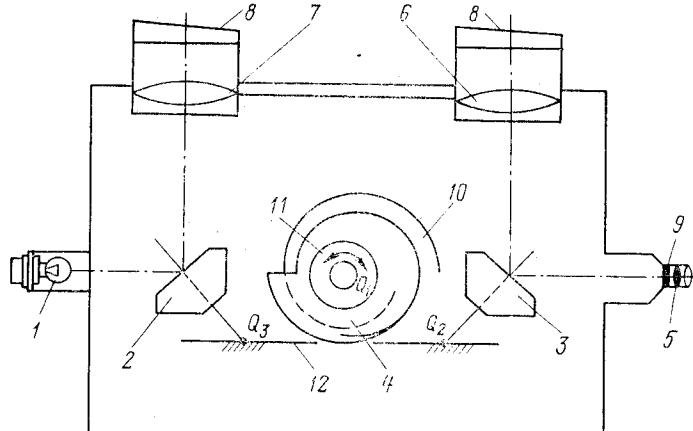


Рис. 30. Принципиальная схема дальномера ТТМ

зеркал 2, объективов 7 и компенсационный клин 8 проецируется на участок поверхности, до которой измеряется расстояние. Наблюдение светового пятна осуществляется через объектив 6, систему зеркал 3, окуляр 5. В фокальной плоскости объектива находится сетка 9 с нанесенным на ней биссектором.

Кинематическая схема дальномера представляет собой центральную ось O_1 , на которой жестко закреплены кулачки 4 и 10 и барабан с дистанционной шкалой 11. Двойные зеркала 2 и 3 жестко скреплены с рычагом 12 и могут вращаться на осях O_2 и O_3 .

При вращении центральной оси поворачиваются зеркала 2 и 3 и тем самым изменяется параллактический угол. Одновременно смещаются объективы 7 и 6, что обеспечивает автоматическую фокусировку.

Техническая характеристика тахеометра ТТМ [45]

Увеличение зрительной трубы	20×
Точность измерения горизонтальных и вертикальных углов	6'
Пределный угол поворота дальномера в вертикальной плоскости, градус	290
Проекционная лампа СЦ-118 с прямолинейной шириною накала	2,4 В, 1,2 А
Аккумулятор	ФКН-8
Основные размеры тахеометра, мм	390×250×150
Масса тахеометра без штатива, кг	8
База дальномера, мм	200

Дальность действия и точность измерения расстояний характеризуются данными табл. 4.

Таблица 4

Измеряемое расстояние, м	Точность измерения при двух отсчетах, см	Параллактический угол, градус	Точность отсчетов по дистанционно шкале, см
2	±0,3	6	0,2
5	±0,5	2,4	0,5
10	±1	1,2	1
15	±2	0,8	2

§ 18. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТАХЕОМЕТРАХ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Монохроматичность, малая расходимость, большая спектральная плотность излучения ОКГ позволяет применять их для измерения расстояний с большой точностью. В этой области перспективны следующие направления:

- а) измерение с высокой точностью больших расстояний (до 100 км и более) импульсными методами (например, для работ, связанных с исследованием космического пространства);
- б) измерение с высокой точностью средних расстояний (до нескольких километров) фазовыми методами;
- в) прецизионное измерение малых расстояний (до

нескольких сот метров), интерферометрическими методами;

г) измерение малых расстояний (до 200 м) дальномерами, основанными на принципах геометрической оптики.

ВИОГЕМом были проведены исследования возможностей съемки очистных камер дальномерами геометрического типа в комплексе с оптическими квантовыми генераторами. По сообщениям печати подобные работы проводились и в ЧССР, где это направление получило название лазерной телеметрии.

Сущность этого метода сводится к следующему (вариант ВИОГЕМ). В подходной выработке устанавливается тахеометр BRT-006, («Телетоп», «Телеметр»), рядом устанавливается лазер, с помощью которого можно проецировать лазерное пятно в любое, доступное обзору наблюдателя, место камеры. По заранее намеченной программе лазерные марки проецируются на стенки камеры. Горизонтальная нить зрительной трубы тахеометра наводится на середину лазерной марки. При произвольном положении передвижной пентапризмы в поле зрения зрительной трубы видны два изображения марки. Совместив два изображения лазерной марки в одно, берут отсчет по шкале базисной линейки. Затем производят отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам и, таким образом, определяют полярные координаты точек камеры, обозначаемых лазерными марками. Съемка производится тремя исполнителями: маркшейдером и двумя рабочими. Съемка очень трудоемкая и мало-производительная.

Оценка точности измерения расстояний таким способом производилась на специальном базисе. Расстояния (предварительно измеренные рулеткой) до объектов, находящихся на различном расстоянии от тахеометра, измерялись дальномером. Было установлено, что точность измерения расстояний таким способом зависит от точности наведения горизонтальной нити зрительной трубы на середину лазерной марки. Поскольку точность совмещения половинок лазерной марки в этом случае повышается, следовательно, повышается и точность измерения расстояний.

Оказалось, что таким образом можно измерять расстояния до 100 м «Телетопом» с относительной ошибкой

измерения 1/300, расстояния до 50 м «Телеметром» с той же точностью, расстояния до 60 м прибором BRT-006 с относительной ошибкой 1/400.

ТБЛ — тахеометр базисный лазерный. Проведенные исследования ОКГ для съемки пустот в комплексе с тахеометрами, снаженными дальномерами двойного изображения, привели к разработке макетного образца, в котором соединены в один прибор лазер, дальномерная и угломерная части. Такой прибор позволяет определять полярные координаты недоступных обнажений горных пород в подземных условиях. Съемку можно производить в условиях, позволяющих размещение прибора и наблюдателя в подходных выработках горизонта верхней или нижней подсечки камеры [18—20].

Тахеометр ТБЛ для измерения расстояний до недоступных точек очистного пространства снажен дальномером геометрического типа, оптическая схема которого относится к типу дальномеров с постоянным параллактическим углом и базисом при инструменте.

Макетный образец прибора (рис. 31), изготовленный ВИОГЕМом, состоит из трех основных частей: угломерной, дальномерной и проецирующей. В проецирующей части в качестве источника излучения используется ОКГ типа ЛГ-56; в качестве угломерной и дальномерной — BRT-006.

Угломерная часть включает горизонтальный 1 и вертикальный 2 круги; отсчетное приспособление горизонтального и вертикального лимбов 3; зажимные винты

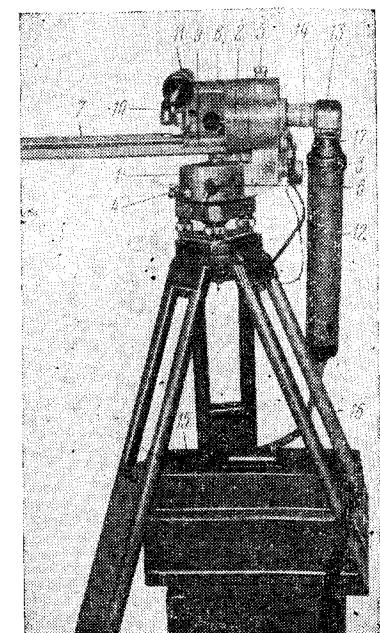


Рис. 31. Общий вид прибора ТБЛ-2

горизонтального и вертикального кругов 4 и 5; приспособление для регулирования горизонтального круга 6.

В дальномерную часть входит базисный рельс со шкалой 7; неподвижная пентапризма 8; подвижная пентапризма 9; отсчетный микроскоп 10; зрительная труба 11. Проецирующая часть включает лазер типа ЛГ-56 12; коллиматор проектора 13 и фокусирующее устройство 14.

На рисунке показан также блок питания 15 и штатив 16.

Конструкция соединения лазера с коллимационной частью тахеометра обеспечивает простоту и удобство работы с прибором. Это достигается посредством подвижного резьбового соединения. Одновременно коллиматор является горизонтальной осью проектора 17.

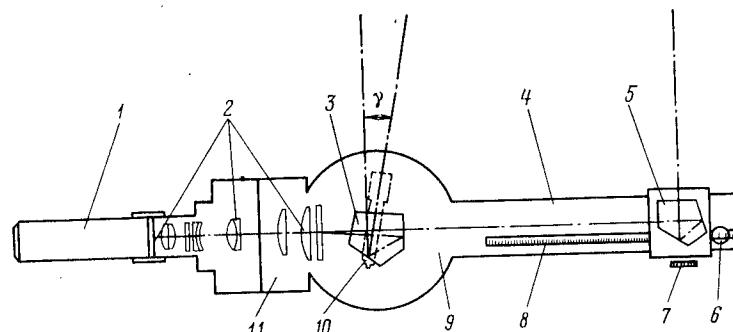


Рис. 32. Оптическая схема прибора ТБЛ-2

Принцип действия прибора показан на рис. 32. Луч лазера 1 пропускается через коллимационную часть прибора 2; встречая неподвижную пентапризму 3, которая перекрывает верхнюю половину объектива, луч лазера под параллактическим углом проецируется на стенку камеры. Из нижней половины объектива коллиматора луч лазера попадает на подвижную пентапризму 5 и также проецируется на стенки камеры. Зрительная труба 10 установлена таким образом, что лазерные марки при измерении любого расстояния всегда находятся в поле зрения.

При совмещении двух световых марок в одну (рис. 33) возникает измерительный прямоугольный треугольник с постоянным параллактическим углом и переменной базой, из которого определяется длина наклонного расстояния по формуле (рис. 34)

$$S = b \operatorname{ctg} \gamma, \text{ м}, \quad (19)$$

где b — переменный базис, образующийся между оптическими осями подвижной и неподвижной пентапризм; γ — параллактический угол.

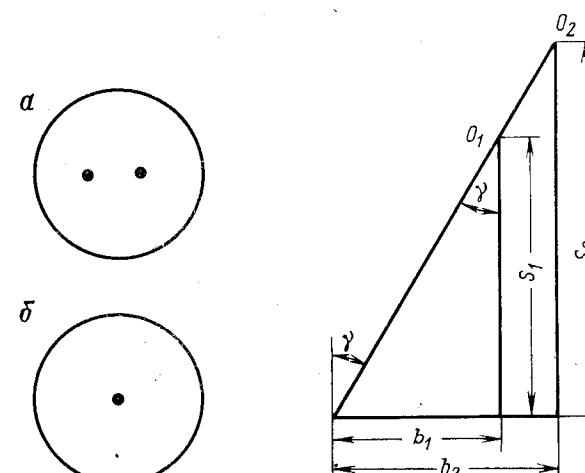


Рис. 33. Поле зрения зрительной трубы прибора при определении расстояний:
а — исходное положение;
б — в момент взятия отсчета

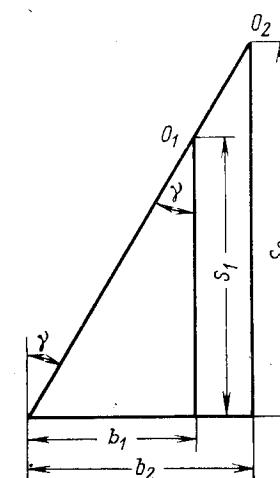


Рис. 34. Геометрическая схема определения расстояний прибором ТБЛ-2

Совмещение двух марок осуществляется перемещением подвижной пентапризмы, после чего по шкале базисной линейки 8 производится отсчет, который пропорционален измеряемому расстоянию. При длине базисной линейки 300 мм и величине параллактического угла, при которой $b = 1:200$ расстояния ($\operatorname{ctg} \gamma = K = 200$), прибором можно измерять расстояния до 60 м. Если в качестве тахеометрической части используется инструмент редукционного типа ВРТ-006, то измеряемое расстояние увеличивается до 75 м.

**Техническая характеристика
прибора ТБЛ**

Горизонтальный и вертикальный круги:	
диаметр, мм	90
цена деления, мин	5
Пределы измерений зенитного угла, градус	50—140
Пределы действия редукционного устройства, градус	45—135
Увеличение зрительной трубы	29 ×
Поле зрения зрительной трубы	1°10'
Проектор световой марки	ОКГ типа ЛГ-56
Коллиматор проектора:	
увеличение	15×
фокусное расстояние, мм	135
свободный диаметр объектива, мм	25
База дальномера, мм	305
Цена деления базисной шкалы, мм	0,5
Пределы измерения расстояний, м	2—60
Относительная ошибка измерения расстояний	1:600—1:500
Масса, кг:	
прибора ВРТ-006	7
футляра	5,8
штатива	5
ЛГ-56	2
Масса электронного блока питания, кг	10
Общая масса комплекса, кг	29,8

Как уже отмечалось, при наблюдении лазерной марки в зрительную трубу, в глаз наблюдателя попадает та часть световой марки, которая имеет максимальную освещенность, т. е. кружок Эри, радиус r которого на расстоянии S можно определить по формуле

$$r = \frac{1,22}{D} S, \quad (20)$$

где D — диаметр объектива коллиматора, м.

При определении расстояний необходимо точно совместить световые марки в поле зрения зрительной трубы. Поэтому точность измерения расстояний будет зависеть от того, насколько точно можно совместить световые марки.

Поскольку в зрительную трубу мы наблюдаем две световые марки, имеющие сравнительно небольшие размеры, расчет точности совмещения их можно производить аналогично расчету возможности раздельного наблюдения двух очень близких звезд в телескоп. При наблюдении световых марок в зрительную трубу в зрачок глаза попадает весь световой поток и видимая яркость

изображения будет ему пропорциональна, так как весь световой поток сосредотачивается на малом участке глаза. Применение зрительной трубы выгодно еще и потому, что пространство, наблюданное в зрительную трубу, будучи неосвещенным, не имеет видимой яркости, в то время, как видимая яркость трубы повышается [23].

Рассмотрим, в каком случае совмещенные марки могут восприниматься как изображение двух марок и в каком они уже воспринимаются как одно пятно.

Поскольку в зрительную трубу мы наблюдаем лазерные марки небольших размеров, можно принять, что точность совмещения двух марок будет соответствовать критерию Релея, а именно: дифракционные картины будут разрешены, если на кривой интенсивности провал в минимуме достигает 20%, что воспринимается глазом по контрасту, как наличие темного промежутка между двумя максимумами [57, 56].

Угловое разрешение двух марок возможно, если расстояние между центрами марок

$$\alpha'' = 1,22 \frac{\lambda}{D}, \quad (21)$$

где λ — длина волны измерения; D — диаметр объектива коллиматора.

Однако это условие не вполне верно, так как глаз различает изображение, когда указанная разность освещенностей составляет 3—5% и в этом случае расстояние между двумя светящимися марками равно 0,84—0,86 величины первого дифракционного кружка [58].

Исходя из этого, угловой предел разрешения, справедливый для двух светящихся марок

$$\alpha'' = \frac{1,22}{D} \rho'' 0,85 \lambda. \quad (22)$$

Согласно этой формуле линейный предел разрешения будет равен радиусу кружка Эри.

Известно, что величина кружка Эри возрастает пропорционально расстоянию, а линейный предел разрешения, или ошибка несовмещения двух марок на объекте, будет соответствовать несовмещению на дальномерной шкале. С учетом этих особенностей относительная ошибка измерения расстояния дальномером может быть вычислена по формуле

$$\frac{\alpha_{\text{л}}}{S} = \frac{1,22}{D} 0,85 K, \quad (23)$$

где K — коэффициент дальномера ($K=200$); S — измеряемое расстояние, м.

Рассчитаем относительную ошибку измерения расстояний для следующих условий: длина волны излучения $63 \cdot 10^{-8}$ м, диаметр объектива зрительной трубы 0,035 м, коэффициент дальномера 200.

$$\frac{\alpha_{\text{л}}}{S} = \frac{1,22 \cdot 63 \cdot 10^{-8} \cdot 0,85 \cdot 200}{0,035} = \frac{1}{250}.$$

Это будет максимальная относительная ошибка измерения расстояний.

Практика съемочных работ показывает, что точность совмещения световых марок, а следовательно, и точность измерения расстояний зависит от яркости световых марок. Факторами, влияющими на яркость марок, являются влажность, загазованность, запыленность, наличие в недоступных пространствах тумана. При сильном ослаблении яркости лазерных марок точность их совмещения резко уменьшается. Однако относительная ошибка измерения расстояний не превзойдет величины 1/250.

При благоприятных условиях (прозрачная атмосфера, количество пыли соответствует санитарной норме) точность совмещения увеличивается.

Согласно теории ошибок измерений можно принять, что предельная ошибка измерений превосходит среднюю квадратическую ошибку измерений в 3 раза. В этом случае для прибора ТБЛ-1 справедливо равенство

$$\frac{3m_s}{S} = \frac{1}{250}, \quad (24)$$

где m_s — средняя квадратическая ошибка измерений.

Тогда наиболее вероятная средняя квадратическая относительная ошибка измерения

$$\frac{m_s}{3} = \frac{1}{750}. \quad (25)$$

Следовательно, согласно теоретическим исследованиям средняя квадратическая относительная ошибка измерений расстояний от 2 до 60 м колеблется в пределах 1/750 — 1/250.

Промышленные испытания прибора показали, что в нормальных шахтных условиях средняя квадратическая относительная ошибка измерения расстояния прибором ТБЛ-2 не более 1/500.

В связи с тем, что дальномерная часть прибора ТБЛ-2 представлена прибором ВРТ-006, который имеет редуцирующее устройство, представляется возможность управлять проекционным лучом и, таким образом, при съемке камер измерять горизонтальные положения.

При описании прибора ВРТ-006 был кратко рассмотрен принцип действия редуцирующего устройства. Рассмотрим подробнее принцип редуцирования расстояний, и на этой основе определим точность измерения редуцируемых расстояний.

Поправка за приведение длины линии к горизонту определяется по формуле

$$\Delta S = S(1 - \cos \delta), \quad (26)$$

где S — измеренное наклонное расстояние, м; δ — измеренный вертикальный угол.

Наклонная длина линии, измеренная прибором ТБЛ-2, определяется по формуле

$$S = Kb, \quad (27)$$

а горизонтальная проекция ее, измеренная при включении редукционного устройства

$$S = Kb', \quad (28)$$

где K — коэффициент дальномера, одинаковый для обоих случаев; b и b' — отрезок на шкале базисной линейки, соответствующий нередуцированному измеряемому расстоянию, м.

Вычитая из уравнения (27) уравнение (28), имеем

$$K(b - b') = K\Delta b. \quad (29)$$

Приравняв правые части уравнений (26) и (29), получим

$$\Delta b = \frac{S}{K} (1 - \cos \delta). \quad (30)$$

Заменив значения коэффициента K , равные $\operatorname{ctg} \gamma = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}$ на $\frac{\rho}{\gamma}$ будем иметь

$$\Delta b = S \frac{\gamma}{\rho} (1 - \cos \delta). \quad (31)$$

Произведение $\frac{\lambda}{\rho} (1 - \cos \delta)$ — поправка за приведение параллактического угла γ к горизонту. В тахеометре ТБЛ-2 она вводится автоматически с помощью подвижной полулинзы компенсатора, которая при вращении трубы вокруг своей оси смещается на величину Δ , подчиненную условию

$$\frac{\Delta}{f} = \frac{\gamma}{\rho} (1 - \cos \delta). \quad (32)$$

Преобразовав эту формулу, получим

$$\frac{\Delta\rho}{f} = \gamma (1 - \cos \delta). \quad (33)$$

Тогда величина угловой поправки за редуктирование определяется из выражения

$$\Delta\gamma = \gamma (1 - \cos \delta). \quad (34)$$

Согласно теории ошибок средняя квадратическая ошибка измерения расстояний

$$m_s = K m_b = \alpha_{\lambda}, \quad (35)$$

где m_b — средняя квадратическая ошибка измерения отрезка на базисной линейке.

Как и в случае измерения нередуктированных расстояний, величина m_s соответствует несмещению двух лазерных марок на объекте и определяется из выражения (23). Учитывая уравнение (24), имеем

$$m_b = \frac{1,22}{3D} 0,85 \lambda S. \quad (36)$$

Анализ формулы (30) показывает, что с увеличением угла наклона увеличивается поправка к постоянному параллактическому углу. Следовательно, при различных углах наклона будет изменяться коэффициент дальномера.

Чтобы проследить, как меняется точность измерения редуктированных расстояний в зависимости от угла наклона визирной оси, представим формулу (35) в следующем виде:

$$m_s = \frac{1,22}{3D} 0,85 \lambda S \operatorname{ctg} [\gamma - \gamma (1 - \cos \delta)]. \quad (37)$$

или

$$m_s = \frac{1,22}{3D} 0,85 \lambda S \operatorname{ctg} \gamma \cos \delta. \quad (38)$$

В формуле (37) выражение в квадратных скобках является коэффициентом дальномера, соответствующим углу наклона измеряемой линии.

Чтобы установить характер изменения m_s в зависимости от угла наклона измеряемой линии, было проведено аналитическое исследование точности измерения редуктированных расстояний для условий: измеряемое расстояние — 10–60 м, изменение угла наклона измеряемой линии от 0 до 90°; $\gamma = 17$. На основе проведенных расчетов построены зависимости погрешности измерения редуктированных расстояний от угла наклона измеряемой линии. На рис. 35 показаны эти зависимости

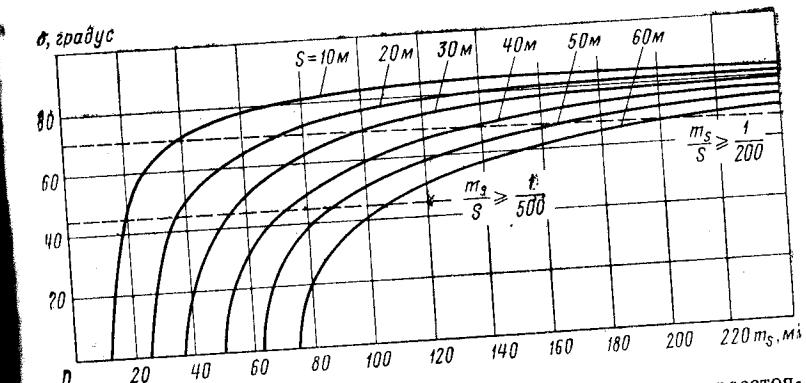


Рис. 35. Зависимость точности измерения редуктированных расстояний от угла наклона измеряемой линии

стии для расстояний 10, 20, 30, 40, 50 и 60 м. Штриховкой для горизонтальной линии показана граница, при которой действие редуктированного устройства может обеспечить относительную ошибку измерения, не превышающую 1/500. Эта граница соответствует углу наклона $\delta = 45^\circ$. При больших углах наклона погрешность измерения резко возрастает и при угле 70° достигает 1/200.

Характер кривых показывает, что при больших углах наклона использование редукционного устройства нецелесообразно.

Для проверки теоретических положений были проведены натурные исследования в шахтных условиях при измерении расстояний до стенок камер. В связи с тем что непосредственного измерения до недоступных точек камеры произвести невозможно, оценка точности редуцированных расстояний производилась сравнением результатов измерения тех же расстояний с выключенной редуцирующей системой, т. е. сравнивались результаты двух равноточных измерений. Исследования велись по следующей методике; в подводной выработке устанавливался ТБЛ-2; при определенном угле наклона производилось десять дальномерных измерений с выключенной редуцирующей системой, а затем редуцирующая система включалась и также производились десять дальномерных измерений.

Для исключения ошибок, возникающих за счет измерения параллактического угла (при включении редуцирующей системы), дальномерные измерения производились до стенок камер, расположенных под углом около 90° к горизонтальному проложению измеренной линии.

Таблица 5

Параметры	Угол наклона, градус							
	+10	+20	+35	-10	-20	-30	-40	-50
Измеренные наклонные расстояния, м	31,71	22,05	15,40	24,57	38,77	41,75	47,43	24,57
Горизонтальные проекции, м	31,20	20,72	12,61	24,20	36,28	36,15	36,33	24,20
Измеренные редуцированные расстояния, м	31,23	20,69	12,59	24,28	36,25	36,14	36,37	24,28

В табл. 5 приведены некоторые результаты натурного эксперимента. Из сравнения результатов видно, что погрешность измерения расстояний с включенной редуцирующей системой по сравнению с приведенными к горизонту измеренных наклонных расстояний увеличивается незначительно.

Проведенные теоретические и натурные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Средняя квадратическая ошибка измерения редуцированных расстояний зависит от величины параллактического угла, который увеличивается с увеличением угла наклона визирной линии.

2. Коэффициент дальномера ТБЛ-2 можно увеличить в 2 или 3 раза, тем самым увеличив во столько же раз предел измерения. При этом относительная ошибка измерения расстояний не превысит 1/200.

3. При измерении расстояний прибором ТБЛ-2 с включенной редуцирующей системой пределы измерения прибора увеличиваются, что значительно повышает его эксплуатационные качества.

§ 19. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОКГ В ДАЛЬНОМЕРАХ С ПЕРЕМЕННЫМ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ УГЛОМ

Опыт работы с приборами ТБЛ-1 и ТБЛ-2 показал, что диапазон измеряемых расстояний в 60 м является не всегда достаточным для съемки очистных камер. Кроме того, сравнительно большая масса (общая масса комплекта составляет 29,8 кг) и размеры прибора ограничивают его применение.

Увеличить дальность действия приборов типа ТБЛ можно двумя способами: увеличением базисной рейки или уменьшением параллактического угла. Большим препятствием в увеличении дальности действия прибора является значительное ослабление интенсивности излучения при больших расстояниях. Кроме этого, большое количество световой энергии теряется в оптической системе прибора (интенсивность излучения на выходе из призм более чем в 3 раза меньше, чем непосредственно из резонатора ОКГ) [19].

ВИОГЕМом разработан макетный образец нового тахеометра для съемки очистных камер ТЛ-1 — дальномер — тахеометра проекционно визуального типа с постоянной базой при инструменте и переменным параллактическим углом. Прибор ТЛ-1 состоит из трех основных частей: проецирующей, дальномерной и угломерной. В

качестве проецирующей части используется ОКГ тип ЛГ-56, в качестве дальномерной — дальномерная насадка ДНТ, в качестве угломерной — теодолит ТТ-5 [13, 55]. Принцип действия прибора показан на рис. 36 [13, 55]. Как видно из рисунка, луч лазера и визирная ось зрительной трубы параллельны и расположены на расстоянии, равном базе прибора b . Определение расстояний сводится к измерению с помощью дальномерной насадки параллактического угла β .

Расстояние до точки I'

$$S = S' + c. \quad (39)$$

Из треугольника $I'O_1$ находим

$$S' = b \operatorname{ctg} \beta; \quad (40)$$

тогда

$$S = b \operatorname{ctg} \beta + c, \quad (41)$$

где S — определяемое расстояние; b — база дальномера; β — измеренный параллактический угол; c — постоянная прибора.

Учитывая малые значения угла β , с достаточной точностью можно считать, что

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{1}{\frac{\rho''}{90'}} = \frac{\rho''}{\beta}, \quad (42)$$

таким образом

тогда

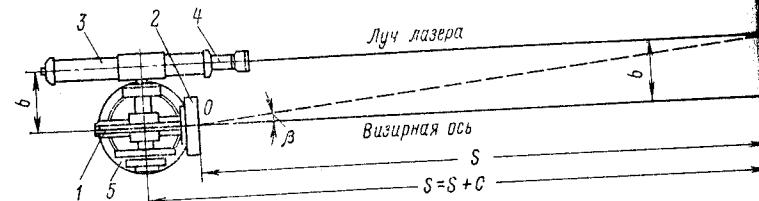


Рис. 36. Принципиальная схема измерения расстояний прибором ТЛ-1:
1 — зрительная труба; 2 — дальномерная насадка; 3 — лазер; 4 — коллиматор;
5 — теодолит

Тогда выражение (40) примет вид

$$S' = \frac{b\rho''}{\beta}. \quad (43)$$

Формула справедлива при условии, что угол β выражен в секундах. Практически параллактический угол β , измеренный с помощью дальномерной насадки, выражен в секундах, а в делениях дальномерной шкалы. Чтобы выразить угол в секундах, следует умножить его величину, выраженную в делениях шкалы, на некоторый постоянный коэффициент K_1 — цену деления шкалы.

Тогда формула примет вид

$$S' = \frac{b\rho''}{\beta K_1}. \quad (44)$$

Для данной насадки выражение $\frac{b\rho''}{K_1}$ является величиной постоянной и коэффициентом дальномера K , тогда

$$S' = \frac{K}{\beta} + c. \quad (45)$$

Коэффициент дальномера K определяется по формуле

$$K = \frac{b\rho''}{10''}, \quad (46)$$

где $10''$ — цена деления дальномерной шкалы. Вследствие того, что в приборе ТЛ-1 расстояние между оптической осью лазера и визирной осью зрительной трубы составляет 100 мм, коэффициент дальномера равен 2060.

Была проведена опытно-конструкторская разработка прибора ТЛ-1, который получил название УТДЛ-ХЛ5 (угломер-таксиметр маркшейдерский лазерный). Прибор УТДЛ состоит из двух основных блоков: наведения (БН) и питания ОКГ. На рис. 37 показан общий вид БН, корпус которого литой. Для обеспечения жесткости конструкции на днище и боковых стенках корпуса оставлены ребра жесткости. В корпусе расположены визирно-дальномерная и проекционно-коллимирующая части, а также некоторые узлы автономного блока питания ОКГ. Корпус 1 закреплен на стойках 2 и 9 и может поворачиваться в вертикальной плоскости. На правой стойке 9 расположены наводящий 8 и закрепительный 7 винты

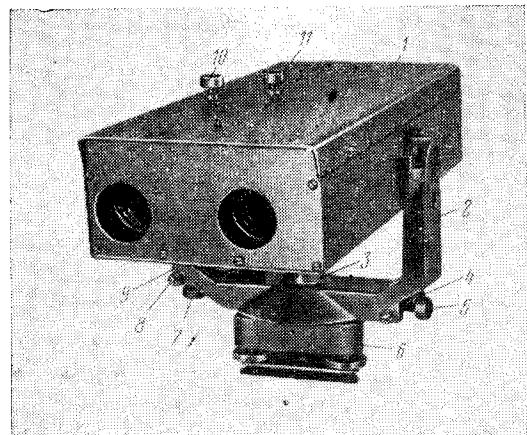


Рис. 37. Общий вид лабораторного образца УТДЛ

вертикального круга и окно для отсчитывания вертикальных углов. Наводящий 4 и закрепительный 5 винты горизонтального круга расположены на левой стойке 2 подставки.

На средней части подставки находятся круглый уро- вень 3 и окно 2 для наблюдения за показаниями гори- зонтального круга. Основание подставки посажено на вертикальную коническую ось, с которой жестко соеди- нены лимб горизонтального круга. Вертикальная ось имеет продолжение нарезки для закрепления подставки в трегере. Снизу трегера имеется крючок для подвешивания отвеса.

Ручка 10 предназначена для смещения измерительной части компенсатора, а ручка 11 — для фокусировки лазерной марки.

Кроме этого, на панелях прибора имеются кольца:

- для фокусировки изображения в поле зрения зри- тельной трубы;

- для установки отчетливой видимости сетки нитей зри- тельной трубы;

- для установки отчетливой видимости шкал от- счетного микроскопа дальномерной насадки.

В состав проекционно-коллимирующей части вход- малогабаритный гелий-неоновый ОКГ, работающий

одномодовом режиме генерации, и коллиматор, состоя- щий из входной фокусирующей линзы и склеенной лин- зы объектива, которая, в целях уменьшения потерь мощности луча ОКГ, служит выходным окном угломера- тахеометра. Фокусировка луча производится перемеще- нием входной фокусирующей линзы.

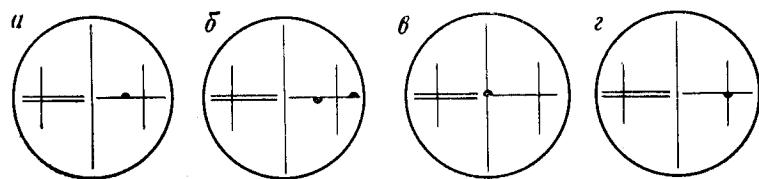


Рис. 38. Поле зрения зрительной трубы:
а — при исходном положении установочной и измерительной линз компенса- тора; б — при произвольном положении измерительной линзы; в — при взятии отсчета по шкале микроскопа; г — при взятии отсчета по шкале микроскопа (измерение расстояний около 10 м)

Сетка нитей угломера тахеометра имеет вид, пока- занный на рис. 38. Сетка нитей повернута на угол 90° . При измерении коротких расстояний параллактический угол настолько велик, что шкалы насадки не хватает для его измерения. В этом случае измеряют угол, заключенный между проекцией луча лазера и дальномерным штрихом. Тогда измеренный угол будет состоять из суммы углов: измеренного и заключенного между дальномерной нитью и центром сетки нитей. Этот угол посто- янен и составляет $17'10''$ или $1020''$.

Блок питания БН состоит из преобразователя напряжения, помещенного в корпусе БН, и аккумуляторного ящика. Преобразователь напряжения состоит из за- дающего генератора, усилителя мощности и высоко- напряженного выпрямителя, включающего рабочую часть и «поджиг» лазера.

Аккумуляторный ящик (рис. 39) содержит батарею из десяти аккумуляторов КНГК-11Д и схему сигнализации. При разрядке аккумуляторов до 10 В срабатывает реле и подключает сигнальную лампочку к аккумуляторной батарее. При съемке камер угломер-таксео- метр в подходной выработке устанавливают под или над маркшейдерской точкой, подключают кабель питания к разъему на аккумуляторном ящике и включают

блок питания. При этом на стенке выработки должна появиться световая марка.

Появляется световая марка. Лазерную марку наводят на какую-либо точку камеры. Наблюдая в зрительную трубу (при исходном положении измерительной и установочной линз компенсатора), видим одну светящуюся точку. При вращении ручки «Измер» передвигается измерительная линза ком-

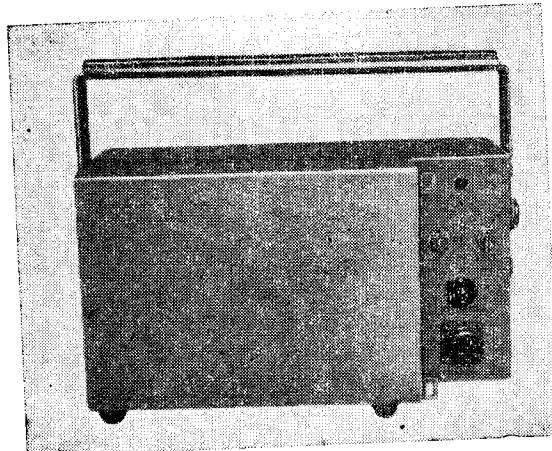


Рис. 39. Аккумуляторный ящик УТДЛ

пенсатора, которая раздваивает марку (в поле зрения зрителной трубы). В зависимости от положения линзы компенсатора эти две мнимые марки могут занимать любые положения относительно сетки нитей (рис. 38). Определенному положению светящихся марок соответствует отсчет по шкале микроскопа. Если взять отсчет по шкале микроскопа в тот момент, когда левая ма-

Техническая характеристика прибора УТДЛ

Пределы измерения вертикальных углов, градус
 Пределы измерения расстояний, м
 Ближний предел измерения расстояний при совмещении
 лазерной марки:
 с краем поля зрения зрительной трубы, м
 с дальномерной нитью сетки нитей зрительной
 трубы, м

с центральной нитью сетки нитей зрительной трубы, м	20
Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла из одного полуприема, мин	10
Погрешность отсчета по шкалам отсчетных устройств горизонтального и вертикального кругов, мин	10
Средняя квадратическая относительная ошибка одного измерения расстояния до стенки выработки	1:200
Увеличение зрительной трубы	25*
Угол поля зрения зрительной трубы, мин	90
Фокусное расстояние объектива, мм	250
Тип дальномера	ДН-08
Длина внутриинструментальной базы, мм	100
Минимальная мощность излучения ОКГ на выходе угломер-таксеометра, мВт	0,3
Потребляемый ток, А	2,5
Постоянное напряжение питания, В	12
Продолжительность непрерывной работы при полностью заряженных аккумуляторах, ч	4
Цена деления цилиндрического уровня на 2 мм, с	10
Цена деления круглого уровня на 2 мм, мин	20
Масса, кг:	
угломер-таксеометра	14,8
ящика аккумуляторного	5,1
Основные размеры, мм:	
угломер-таксеометра	280×75×260
ящика аккумуляторного	215×190×
	×125

ка коснется средней вертикальной нити сетки нитей, то отсчет будет соответствовать значению параллактического угла.

Расстояния вычисляются при камеральной обработке по формуле (45).

§ 20. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАЛЬНОМЕРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ДО НЕДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТОВ

В связи с созданием малогабаритных дальномеров появилось много разработок дальномеров с использованием лазерного излучения, однако большинство из них работают с активным или пассивным специальным отражателем. Светодальномеров, которыми можно было бы измерять расстояния без отражателя, сравнительно мало. К ним относятся разрабатываемый

в Государственном оптическом институте светодальни́мер на полупроводниковом лазере, светодальни́мер Geodolite (США) на газовом лазере и светолокатор для маркшейдерских работ (ВНИМИ) на полупроводниковом лазере [47, 48].

В Пражском институте по исследованию руд были проведены исследования возможностей получения отраженного сигнала электрооптическим дальномером AGA с лазерным геодиметром (световой источник — Не-Не — лазер мощностью 3 мВт). Этот дальномер ввиду большой мощности излучения предназначен для измерения расстояний до 60 км. Чтобы оценить достоверную точность в реальных условиях, дальномерные измерения проводились для различных пород. Эти исследования подтвердили применимость метода пассивного отражения от горных пород при измерении недоступных расстояний. Широкому внедрению лазерного геодиметра мешает его высокая стоимость.

Во ВНИМИ для таких целей были исследованы газовые и полупроводниковые лазеры. Определение дальности действия производилось при отражении от черного бархата и угля. При этом считалось, что допустимая погрешность будет достигнута при сигнале на выходе фотоприемника, превышающем уровень шумов 2 раза.

Исследования проводились следующим образом. Луч от газового лазера ЛГ-56 модулировался с частотой 600 Гц и направлялся на цель. Отраженный сигнал принимался фотоприемником (объектив диаметром 140 мм, светофильтр, диафрагма, фотоумножитель ФЭУ-51 и резонансный усилитель). На выходе фотоприемника сигнал просматривался на экране осциллографа С1-20. Полученная максимальная дальность при отражении от бархата составила 60 м, от куска угля — 80 м. На основании этого сделан вывод, что для достижения дальности порядка 100 м мощность лазера ЛГ-56 недостаточна.

В настоящее время выпускаются полупроводниковые лазеры, которые работают в импульсном режиме. Применение такого лазера дает возможность расширить диапазон измеряемых расстояний. Чтобы иметь возможность измерять расстояния с точностью 0,5 м, не-

обходимо использовать импульсно-фазовый метод измерения [49].

При исследовании эффективности применения полупроводниковых лазеров для измерения недоступных расстояний использовался полупроводниковый лазер инфракрасного излучения ЛПИ-2, а в качестве передающего объектива — типа «Гелиос-44». Приемным объективом служил телескопический объектив МТО-1000. Фотоприемник — фотоумножитель типа ДЭУ-28. Исследования показали, что при расстоянии 70 м отношение сигнал — шум составляет около 6. Это дает возможность предположить, что дальность действия такого светолокатора с использованием полупроводникового лазера будет больше, чем с применением газового лазера.

§ 21. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Как уже указывалось, фотограмметрический метод съемки основан на определении координат точек недоступного пространства посредством преобразования фотографических координат в истинные, что осуществляется обработкой фотографических снимков на специальных приборах.

Фотограмметрический метод съемки камер подразделяется на:

- фототеодолитную съемку;
- стереофотосъемку;
- короткобазисную стереофотосъемку;
- короткобазисную стереофотосъемку в комплексе с лазерами;

- фотографирование объектов фотоаппаратом с различного рода осветителями;

- фотографирование движущегося по стенкам выработки светового пятна на синхронно движущуюся в фотокамере пленку.

Применение фототеодолита и стереофотосъемки в подземных условиях затруднительно и нерационально. Рассмотрим возможные и рациональные способы использования фотограмметрии для съемки подземных пустот.

Применение короткобазисной стереофотосъемки
В 1950 г. профессор Ленинградского горного института Н. А. Гусев разработал и предложил метод короткобазисной стереофотосъемки подземных пустот [42]. Тех пор этот метод в основе своей остался неизменным. Совершенствование его идет в направлении создания новой аппаратуры и разработки новых приспособлений необходимых при производстве съемки.

Принципиальная схема стереопары для фотограмметрической съемки показана на рис. 40.

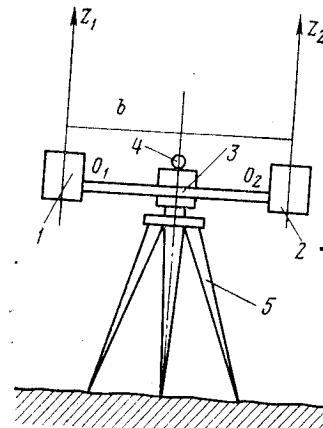


Рис. 40. Принципиальная схема стереопары для стереофотограмметрической съемки

мет различное положение на одном и другом снимках. Поэтому, рассматривая одновременно пару снимков через стереоскоп, будем наблюдать стереомодель камеры, уменьшенную против натуры в отношении b/B , где b — длина глазного базиса ($b \approx 65$ мм) и B — длина базиса фотографирования.

Этот метод короткобазисной стереофотосъемки основан на принципе прямой засечки, но различие между ними заключается в том, что при стереофотограмметрическом методе два перекрывающихся снимка составляют стереоскопическую пару. Измерения пары снимков производят совместно, пользуясь принципом стереоско-

ического зрения. Измерение сводится к определению координат X_1, X_2 и ординат Z_1, Z_2 точек на паре снимков, а также к определению продольных и поперечных параллаксов. Вычисление координат X, Y, Z отдельных точек производится по формулам математической зависимости между координатами соответствующих точек, полученных на паре снимков при измерении их на стереокомпарателе.

При составлении плана по данным стереофотосъемки должны быть известны следующие элементы внутреннего и внешнего ориентирования:

- фокусное расстояние f_k фотографических камер;
- положение главных точек O_1 и O_2 снимков;
- координаты X, Y, Z передних узловых точек объективов;
- величина базы прибора и дирекционный угол ее направления;

положение оптических осей в пространстве, определяемыми углами δ отклонения осей от перпендикулярного положения к базе и углом наклона оптических осей к горизонту и углами крена пластинок относительно главной точки O снимков.

При производстве короткобазисной стереофотосъемки используется нормальный случай, т. е. оси фотокамер и направление оси Y параллельны. В этом случае координаты точки $M(X, Y, Z)$ на местности определяются фотокоординатами X_1, X_2 и Z_1, Z_2 снимков.

Проведя направление S_1M_1 параллельно S_2M (рис. 41), получим, что отрезок M_1M будет равен B , а алгебраическая разность фотокоординат $X_1 - X_2 = p$ будет продольным параллаксом. Из подобия треугольников будем иметь

$$\frac{f_k}{Y} = \frac{p}{B}, \quad (47)$$

или

$$\frac{X_1}{X} = \frac{f_k}{Y} = \frac{p}{B}. \quad (48)$$

Для определения координаты Z также имеем

$$\frac{Z_1}{Z} = \frac{f_k}{Y} = \frac{p}{B}. \quad (49)$$

Из приведенных уравнений можно получить значения всех трех координат точки M , а именно:

$$Y = \frac{B}{p} f_k; \quad (50)$$

$$X = \frac{YX_1}{f_k} = \frac{BX_1}{p}; \quad (51)$$

$$Z = \frac{YZ_1}{f_k} = \frac{BZ_1}{p}. \quad (52)$$

Величина Y для любых точек, расположенных на линии, остается постоянной, т. е. одинаковые по величине

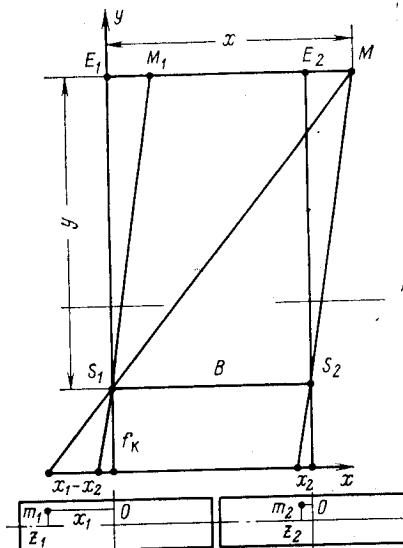


Рис. 41. Воспроизведение точек объекта при короткобазисной стереофотосъемке

продольные параллаксы определяют положение плоскости, параллельной базису фотографирования.

По формулам (50) — (52) можно определить пространственные координаты любой точки P , сфотографированной на снимках, если измерить на снимках ее фотокоординаты X_1 , Y_1 и линейный параллакс p . Обработка фотографической пары производится в лабора-

торных условиях. Камеральную обработку можно подразделять на аналитическую и оптическую.

Для аналитического способа обработки, более точного, чем другие, нужна специальная камеральная аппаратура, на которой измеряют фотокоординаты и линейный параллакс. В наземной фотограмметрии для

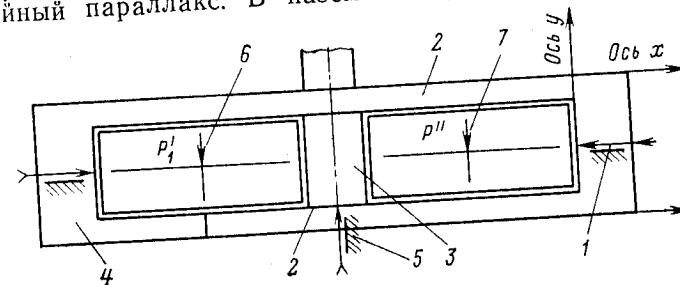


Рис. 42. Стереоскоп с микрометрами:
1 — стереомикрометр; 2 и 3 — салазки; 4 и 5 — микрометрические винты;
6 и 7 — визирные знаки стереоскопического совмещения

этой цели пользуются стереокомпаратором, представляющим сочетание стереоскопа с микрометрами. Такой стереокомпаратор оправдывает себя только при большом объеме работ, так как дорог. Для рудничных условий рекомендуется простой прибор — стереоскоп со стереомикрометром (рис. 42) для измерения параллакса и приспособленными к нему двумя салазками с микрометрическими винтами для измерения координат X_1 и Y_1 . На таком простом приборе можно измерить параллакс с точностью до 0,02 мм, а фотокоординаты — до 0,04 мм, надо лишь визирные знаки стереоскопического совмещения с идентичными точками сделать на неподвижных стеклянных пластинах, почти соприкасающихся с эмульсионной стороной обрабатываемых фотонегативов. Высокая точность измерения параллакса и фотокоординат на стереоскопе с микрометром достигается благодаря стереоскопическому эффекту, получаемому при рассматривании стереопары через стереоскоп.

План очистной камеры строят по координатам характерных точек X и Y , вычисленным по формулам (50) — (52). Для этого наносят на план точки N и M (рис. 43) по их координатам, которые получают обычным способом, затем через точку стояния штатива M

проводят прямую линию O_1X , перпендикулярную стороне NM , откладывают от M влево половину базиса масштабе плана и через точку O_1 проводят прямую линию O_1Y_1 перпендикулярную к O_1X . В результате на плане получают ориентированную и центрированную прямоугольную систему координат с началом в точке O_1 .

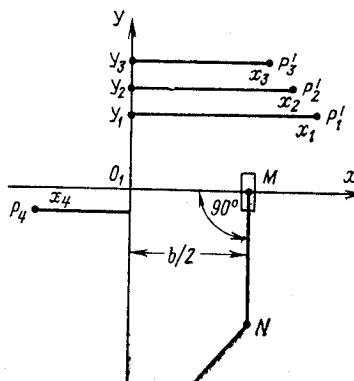


Рис. 43. Построение плана подземной выработки по аналитически вычисленным координатам

Известно, что коллимационная плоскость диоптра (4) перпендикулярна к базису (рис. 40), поэтому при наведении диоптра на точку N рудничного полигона ось O_1X (рис. 43) становится перпендикулярной к стороне MN .

В масштабе плана по оси O_1Y откладывают координаты $Y_1, Y_2 \dots$ и т. д., а на нормалах к ней соответствующие координаты $X_1, X_2 \dots$ и т. д. Получают на плане точки $P'_1, P'_2 \dots$ и т. д., высоты которых вычисляют по формуле

$$H_P = H_{01} + Z_P, \quad (53)$$

где H_{01} — высота объектива левой фотокамеры, получаемая обычным способом.

Так строится план выработки по аналитически вычисленным координатам характерных точек.

Другой способ обработки фотограмм — оптический, подробно описанный Н. А. Гусевым в работах [33—42],

заключается в следующем. При камеральной обработке фотокамеры располагают на расстоянии друг от друга, равном Mb , где M — принятый масштаб уменьшения и b — длина базиса. В камеры вкладывают печатные снимки и путем освещения их проецируют через красный и зеленый светофильтры изображения снятого объекта на экран. Полученное на экране изображение выработки рассматривают через очки с красным и зеленым стеклами, получая стереоскопическую модель снятой выработки.

Для получения плана выработки может быть использован и другой известный оптический способ, который состоит в том, что на экран с частотой 2—3 раза в секунду проектируются поочередно левый и правый снимки. В этом случае точки пересечения контура оптической модели с экраном, дающие контур выработки, на экране будут казаться неподвижными и четко изображенными, тогда как другие точки оптической модели будут перемещаться и изображаться нечетко.

Оптический способ имеет следующее преимущество: при обработке фотограммы с использованием тех же фотокамер уничтожаются ошибки изображения выработки, имеющие место при фотографировании методом восстановления «оптической» модели.

Для съемки стереофотограмметрическим способом нужна несложная полевая аппаратура: две одинаковые короткофокусные широкоугольные фотокамеры, состоящая из двух звеньев, штанга, трегер и штатив.

Фотокамеры должны быть с углом поля зрения около 130° и фокусным расстоянием не менее 75 мм, а размер фотопластинок 6×9 или 9×9 см. Каждая фотокамера снабжена двумя цилиндрическими или одним сферическим уровнями с ценой деления около $5'$. При помощи уровней фотокамеры устанавливают в рабочем положении так, чтобы оптические оси были вертикальны, а штанга горизонтальна.

Продифференцировав выражение (47), получим

$$\frac{dy}{y} = \frac{dB}{B} + \frac{df}{f} - \frac{dP}{P}. \quad (54)$$

Согласно теории ошибок имеем

$$\frac{m_y}{y} = \frac{m_B}{B} + \frac{m_f}{f} + \frac{m_P}{P}. \quad (55)$$

Значения относительных ошибок $\frac{m_B}{B}$ и $\frac{m_f}{f}$ малы (меньше 0,001), поэтому практически можно принимать, что

$$\frac{m_y}{y} = -\frac{m_p}{P}. \quad (56)$$

Подставив в эту формулу значение p из формулы (47) получим

$$\frac{m_y}{y} = -\frac{Y}{f_k B} m_p. \quad (57)$$

Подсчитаем по этой формуле максимальную ошибку $\frac{m_y}{Y}$ для наибольшего значения $Y=50$ м, полагая $b=1,5$ м, $f=75$ мм, $m_p=0,02$ мм; найдем, что $\frac{m_y}{Y_{50}}=0,01$.

Вопрос о точности обработки фотограмм недостаточно изучен. По некоторым данным можно полагать, что в этом случае точность ниже той, которая получается при аналитической обработке.

Большой опыт использования короткобазисной стереофотосъемки камер для маркшейдерского учета добывающих полезного ископаемого имеет Тырныаузский комбинат [46] на руднике «Молибден».

Спаренная фотокамера была изготовлена на базе теодолита ТТ-2. Базис длиной 1 м укреплен наглухо на оси вращения трубы вместе с вертикальным кругом. Полубазисы в виде двух дюралюминиевых трубок диаметром 36 мм соединены с осью трубы с помощью запрессованных переходных трубок. Фотоаппараты прикреплены к параллельным площадкам на концах базиса. Крепление фотоаппаратов и объективов подвижное, позволяющее юстировочными винтами производить необходимые перемещения при юстировках и поворотах стереокамеры.

На каждой станции фотосъемку производили маршрутами: в горизонтальном направлении с перестановкой алидады на $28-32^\circ$ и под углами наклона к горизонту $\pm 20^\circ$. При этом ширина охвата съемкой составляет $20-25$ м. Длина полосы в горизонтальном направлении лимитируется максимальным отстоянием до 25 м и выбирается заранее по маркшейдерским планам.

Станции фотосъемки привязывались к маркшейдерским точкам. Для высотной привязки используется тригонометрическое нивелирование. В двух-трех местах в зоне съемки выставлялись рейки в качестве контрольных точек, которые привязывались к опорным пунктам.

Фотоэкспонирование производилось при электрическом освещении четырьмя кинолампами К-127-500 на фотопластинки светочувствительностью 45 ед. ГОСТ. Длительность выдержки до 3 мин. Источником электропитания служила контактная электросеть, к которой подключается электрокабель ШРПС длиной 100 м. Кабель протягивался по восстающим к месту съемки.

Применение лазерной стереофотосъемки. Одним из препятствий для широкого применения фотограмметрических методов при съемке подземных пустот является микроклимат. В шахтных условиях имеется довольно высокая относительная влажность, которая делается заметной при незначительном затуманивании и пылеобразовании. В этих условиях в малых частицах воды и пыли отражаются лучи искусственного источника света, которые на фотограмметрической пластине вызывают ухудшение изображения объекта.

В Пражском институте по исследованию руд разработан способ использования стереопары в комплексе с лазерным источником света для съемки подземных пустот. Сущность способа заключается в следующем. На объект направляется сфокусированный лазерный луч и этим лучом обводится поверхность объекта для получения световых точечных следов. Эти следы проецируются на одну и ту же фотограмму. Точечные следы на фотограмме получаются периодическим открытием и закрытием затворов фотокамер, или включением и выключением лазера. При открытом затворе фотокамер движущийся источник света оставляет на фотопластине непрерывные следы. Для исследования этого метода использовался лазер ТКГ-202 со специальной призмой, которая позволяет изменять направление лазерного луча.

Для исследования возможности применения указанного метода для съемки пустот были проведены эксперименты по фотографированию точечного и линейного следа лазера на различных расстояниях. В качестве негативного материала применялась чехословацкая высокочувствительная пленка «FOMOPAN 30», которая име-

ет самую высокую чувствительность в красной спектральной области (6300 Å). В результате исследования было получено хорошее изображение точечного и линейного следа лазера на расстоянии до 40 м даже в сильно затуманенной атмосфере. Для рабочих съемок предполагается использовать спаренную измерительную камеру SMK 5,5/0808. Такой спаренной камерой получены удачные результаты измерения длины до 70 м. Продолжительность съемки точки зависит от рассеяния и климатических условий в очистных камерах и колеблется от 5 до 50 с. Обработка фотографий проводится на стереокомпьютере.

Фотограмметрический метод съемки сечений горизонтальных выработок. Фотосъемка световых сечений горизонтальных выработок с успехом применяется в ряде стран (ГДР, ЧССР, СССР). Теоретическая сущность этого метода состоит в том, что с помощью различных средств светового источника преобразуют в световую плоскость и затем фотографируют пересечение этой плоскости с измеряемым объектом.

Практически этот способ реализуется следующим образом: в штреке устанавливается на штативы фотографический аппарат, открывается его затвор и источник света освещаются постепенно внутренние контуры штреека в плоскости, перпендикулярной к оси съемки.

Были разработаны приборы, в которых световая плоскость создается различными способами, а фотографический снимок приводится в соответствующий масштаб с помощью отрезка известной длины, помещенного в плоскость профиля.

Общим недостатком является несоблюдение условия перпендикулярности оси съемки к плоскости профиля. Исследования, проведенные в Пражском институте по исследованию руд, показали, что даже при незначительном отклонении плоскости сечения от оси съемки возможны значительные ошибки. Кроме того, при использовании любительских камер возникновение отклонения неизбежно появляется из-за неперпендикулярности оси съемки к плоскости негатива. Ошибки, вызванные такими источниками, невозможно обнаружить при камеральной обработке, поэтому в дальнейшем необходимо фотографические аппараты заменять фотограмметрическими приборами.

ВНИМИ разработан и испытан действующий машипульсной фотовспышки для съемки подземных выработок большого сечения [50].

Сущность съемки заключается в одновременном фотографировании поперечного сечения выработки и масштабирующего базиса. Полученные на негативе изображения контура поперечного сечения и базиса трансформируются в заданный масштаб.

Прибор «Светопрофиль» представляет собой электрическую лампу-вспышку, которая для создания щелевого осветителя помещена между корпусом прибора и диском-экраном. Принципиально «Светопрофиль» состоит из электрооптического блока (осветителя), заключенного в корпус блока электропитания; катушки с кабелем синхронизации и четырех телескопических масштабирующих штанг. Во время съемки прибор устанавливается на легком штативе.

Для съемки целесообразно применять фотоаппарат типа «Зоркий». Съемка проводится на пленку «Фото-250» при выдержке не менее 1/30 с. Синхронность открытия затвора фотоаппарата и вспышки импульсной лампы обеспечивается кабелем синхронизации.

Техническая характеристика прибора «Светопрофиль» [50]

Энергия вспышки, Дж	108
Продолжительность импульсного света	1/400
Интервал между вспышками	30—70
Напряжение источника питания, В	6—6,4
Число вспышек без замены источника питания	55
Масса, кг:	
комплекта	7,8
основного прибора	5,9
фотоаппарата	0,9
раздвижной стойки	1,0

Процесс съемки состоит в основном из трех этапов: вынос и закрепление оси съемки; разбивка сечений и непосредственно съемка. Съемка сечений производится двумя способами:

1) в произвольном масштабе с дальнейшим трансформированием изображения в заданный масштаб с помощью фотоувеличителя;

2) в заданном масштабе с последующей контактной печатью.

Производственные испытания прибора показали, что точность съемки зависит от погрешностей:

возникающих из-за неперпендикулярности световой плоскости к съемочной оси;

из-за неправильного положения снимка относительно проектной оси (около 0,4%);
от масштабирования (1%).

Общая погрешность определения площади сечения составляет $\pm 1,5\%$.

Профилирование проводников, стенок шахтных стволов можно производить фотопрофилографом ФП-

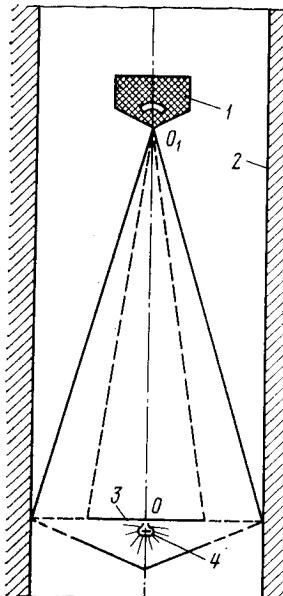


Рис. 44. Схема фотопрофилирования стенок шахтного ствола

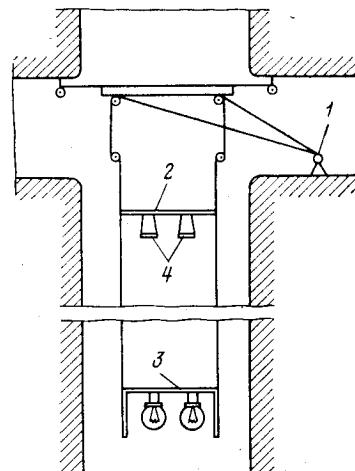


Рис. 45. Принципиальная схема фотоустановки ФСВВ-3 для съемки вертикальных рудоспусков

[51], который состоит из фотокамеры 1, жестко соединенной с плоским экраном 3, расположенным перпендикулярно к ее оптической оси (рис. 44). Конфигурация экрана соответствует проектному поперечному сечению ствола 2. Экран двухплоскостной. Обе плоскости создают по периметру соприкосновения узкую кольцевую

щель. Между экранами располагается источник света [52], который создает через кольцевую щель световой луч, параллельный зазору между периметром экрана и параллельным ему периметром поперечного сечения ствола. Фотопрофилограф крепится к крышке клети. Его останавливают через 5–10 м. Световой след между экраном и стенкой ствола фотографируется на каждом горизонте. Масштаб снимка постоянен. Постоянство ширины светового следа на фотоснимках каждого горизонта говорит о вертикальности стенок ствола. Измерение толщины зазора можно проводить с точностью 1–2 мм.

Фотопрофилограф при спуске в ствол колебляется. Однако эти колебания не превышают 2° [52]. При максимальном наклоне оси фотокамеры относительно вертикальной оси ствола и радиусе поперечного сечения ствола 5 м утолщение зазора не превышает +2 мм, что удовлетворяет требованиям точности профилирования проводников.

В Северокавказском горно-металлургическом институте была изготовлена установка, с помощью которой фотографировали поперечные сечения рудоспусков на руднике «Молибден» [53].

Установка ФСВВ-3 состоит из трех основных узлов (рис. 45): блока управления 1, фокусирующего устройства 2 и осветителя 3. В блоке управления размещаются приборы и механизмы, необходимые для спуска и подъема фотосъёмочного приспособления. Фокусирующий механизм-узел представляет собой основание, на котором смонтированы фотоаппараты 4 с механизмом автоматического затвора и протягивания пленки. Для этих целей можно использовать камеры «Ленинград» и «Зенит» с широкоугольными объективами.

Осветитель представляет собой экран диаметром до 1 м. Плоскость экрана должна быть перпендикулярна оси рудоспуска. Сверху крепится металлический стакан с электролампами. Расстояние от осветителя до фотокамер (база) составляет 1,2–1,5 предполагаемого максимального размера снимаемого сечения.

Процесс съемки рудоспуска заключается в следующем: установка центрируется на середине рудоспуска, затем через определенный интервал начинается ее спуск. При достижении заданной отметки спусковые лебедки затормаживаются, на несколько минут подает-

ся ток в осветитель и во включающее реле фотоаппаратов. Затем питание отключается, а установку опускают на заданную отметку.

Экспериментальные исследования показали, что фотограмметрическая съемка рудоспусков по сравнению со звуколокационной позволяет получать более точные контуры выработки и сокращает время замеров.

Этот метод съемки основан на автоматическом фотографировании светового пятна, движущегося по стенкам выработки. На фотопленке получается след движения светового пятна в виде непрерывной линии, точки которой в зависимости от расстояния неодинаково удалены от опорной линии (имеющейся на фотопленке). Измеряя эти расстояния (параллакс) на стереокомпаратore, можно определять расстояния от прибора до объекта.

Фотограмметрический метод съемки недоступных пустот разработан во ВНИМИ. Там же изготовлен опытный образец прибора — стереосектограф [38].

Стереосектограф предназначен для съемки недоступных подземных пустот через вертикальные скважины, пробуренные с поверхности или из горной выработки вышележащего горизонта. Прибор состоит из приводной головки, которая крепится к нижней буровой штанге при помощи переходника с карданом, и собственно прибора, который может вращаться относительно приводной головки. В приводной головке смонтированы двигатель с редуктором и коробкой передач, сельсин-датчик, датчик угла поворота и электрорелейное устройство пуско-остановки прибора. Во вращающейся части прибора установлены две фотокамеры с лентопротяжными механизмами, проектирующие светового луча. Электропитание к прибору подается с поверхности по двужильному кабелю.

Принципиальная схема прибора выглядит следующим образом. Свет от лампы 1 (рис. 46) формируется объективом 2 в узкий луч, направляется на объект съемки посредством трехгранных прямоугольных призм. Изображение этого луча направляется в объективы фотокамер 4, расстояние между которыми составляет базу прибора b . При вращении прибора вокруг вертикальной оси на фотопленках остается след движения светового пятна в виде кривых. Если ось прибора отвесна, а све-

товой луч перпендикулярен к ней, то кривые на фотопленках будут представлять собой проекции следа сечения объекта горизонтальной плоскостью. Расстояние от прибора до любой точки объекта определяется по формуле

$$Z_i = \frac{bf}{p_i}, \quad (58)$$

где b — база прибора; f — фокусное расстояние фотокамер; p_i — продольный параллакс точки.

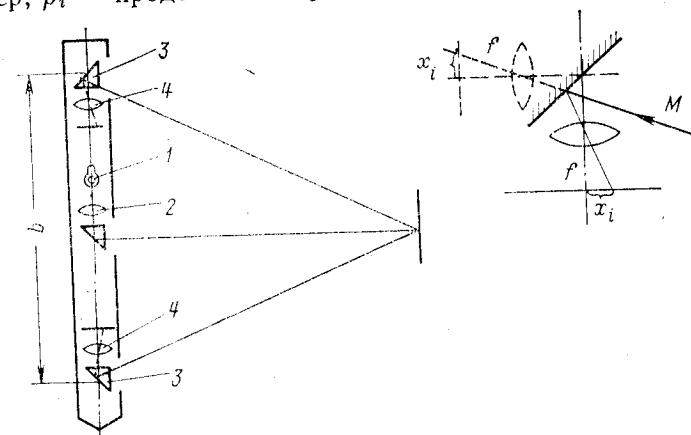


Рис. 46. Принципиальная схема стереосектографа

Ориентирование прибора осуществляется последовательным измерением углов разворота штанговой колонны при ее опускании и подъеме. Обработка фотограмм производится на стереокомпаратore и заключается в измерении горизонтальных параллаксов p_i и расстояний Z от начала фотограммы до характерных точек сечения. По этим данным точки накладываются на план.

Техническая характеристика стереосектографа

Пределы дальности действия в подземных пустотах, м	3—100
Точность определения расстояний, %	2
Предельно допустимый угол отклонения скважины от вертикали, градус	15
Электропитание, постоянный ток, В/А	27/11
Продолжительность съемки одного сечения, мин	8; 16; 32

Объем работ без перезарядки прибора, сечений	15
База прибора, мм	1240
Размеры прибора, мм:	
длина	2120
диаметр	100
Масса прибора, кг	42

§ 22. ЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ

Локационный метод маркшейдерской съемки подземных пустот основан на определении координат точек недоступных пустот путем преобразования акустических, радио- или световых волн в величины, которые могут характеризовать параметры камеры; измеренное направление и расстояние. Поскольку эти преобразования происходят многоступенчато, то появляется возможность автоматического управления работой прибора и автоматического съемка показаний прибора в виде разрезов камеры в определенном масштабе, на ленту самописца или же перфоленту.

В настоящее время разработка приборов для локационного метода съемки камер в основном ведется в направлении использования акустических волн и радио волн. В основе их лежит способ измерения расстояний определением времени распространения волн какого-либо вида от излучателя до объекта и обратно.

Телевизионные приборы служат в основном для осмотра недоступных пространств; для определения геометрических параметров очистных камер они пока не используются.

Использование звуколокации в приборах для съемки подземных пустот. Исследования возможных путей механизации и автоматизации маркшейдерских работ по измерениям подземных пустот привели к необходимости создания локационной установки, которая решала бы задачи дистанционного измерения расстояний с необходимой точностью, а также фиксировала бы непрерывный профиль пустот в заданном масштабе.

Наиболее пригодным средством для решения такой задачи является звуколокация. Сравнительно небольшие скорости распространения звуковых волн в воздухе тре-

буют измерения таких отрезков времени, которые средствами современной техники можно измерить с необходимой точностью.

Впервые применение звуковые волны (ультразвука) нашли в разработанном ультразвуковом приборе УЗП-2, предназначенном для профилирования шахтных стволов [25]. Поскольку прибор предназначен для измерения небольших расстояний, измерение маленьких отрезков времени производится с точностью $0,00584 \pm 0,0000584$ с. При скорости распространения акустических колебаний в воздушной среде 342 м/с имеется возможность (при измерении расстояния 1 м) получать точность ± 1 см.

Промышленные испытания прибора УЗП-2 показали, что средняя квадратическая ошибка измерений составляет ± 20 мм. На основании исследований был сделан вывод о том, что ультраакустические методы при дальнейшем их развитии и совершенствовании найдут широкое применение в практике маркшейдерских съемок объектов, недоступных для непосредственных измерений.

В 1960 г. при кафедре маркшейдерского дела ЛГИ была организована лаборатория электроакустических методов съемки горных выработок, производившая исследования в трех основных направлениях: звуколокационные измерения в воздухе, воде, рыхлых отложениях и технических жидкостях. Основной вклад в разработку электроакустических приборов для маркшейдерских съемок внесли Д. А. Казаковский, Г. А. Кротов, А. А. Гуревич, Л. Н. Дуднев, И. А. Прудов и В. К. Чумак.

В 1961 г. кафедра маркшейдерского дела ЛГИ выполнила первую звуколокационную съемку рудоспусков Алтын-Топканского и Тырныаузского рудоуправлений [26].

Разработка звуколокационных приборов для съемки глубоких вертикальных рудоспусков [27, 28]. Полная недоступность глубоких рудоспусков для производства непосредственной съемки требует применения дистанционной автоматической съемки. Уже отмечалось, что применение звуколокации дает возможность измерять геометрические параметры объектов. Поэтому применение звуколокационного прибора для съемки профилей

подъемной лебедки и подвески акустического блока ЗПР-0 дает возможность увеличить глубину съемки.

Методика съемки профиля рудоспуска с помощью звуколокатора ЗПР-0 состоит в следующем. Аппаратуру устанавливают в подходной выработке, через рудоспуск перебрасывают и закрепляют несущий трос, на который подвешивается каретка с направляющими блоками. Подъемную лебедку устанавливают в створе с блоками и тросом. Акустическую систему подвешивают на каретку и с помощью растяжек перемещают по тросу и выводят в проектное сечение рудоспуска, определяют ось спуска, а также высотную отметку центра акустической системы. Методика съемки одного профиля не отличается от профилирования с помощью ЗПР-2. Однако после первого профиля аппаратуру не поднимают для разворота. Поворот акустических систем на требуемый угол производят с помощью редуктора горизонтального вращения, а величина этого угла фиксируется по градусному лимбу. Съемку второго профиля выполняют при подъеме аппарата, а следующего при спуске и т. д. В местах, где запланирован горизонтальный обзор рудоспуска, подъем прекращается, по лимбу фиксируют отсчет и осуществляют горизонтальный осмотр при повороте акустической системы на угол 360°.

Техническая характеристика приборов ЗПР-2 и ЗПР-0

Прибор	ЗПР-2	ЗПР-0
Дальность действия, м	25	25
Точность измерения:		
расстояний, %	±2	±2
глубины, м	±0,3	±0,3
Мертвая зона прибора, м	0,2	1,2
Максимальная глубина спуска, м	350	500
Максимальный угол поворота акустической системы, градус	±360	±360
Точность определения угла поворота, мин	±30	±30
Способ поворота акустической системы	Вручную	Автоматический
Акустическая система из цилиндрических магнитострикционных преобразователей с коническими рефлекторами	Двухвibratorная	Одновибраторная
Рабочая частота, кГц	15,5	15
Угол диаграммы направленности при $\Phi_{0,7}$, градус	3,5	3,5

Время съемки одного профиля на максимальную глубину с учетом показаний через 5 м, мин	60	15
Масса, кг:		
акустической системы	30	15
наземной аппаратуры	30	30
подъемной лебедки	120	120
соединительных кабелей с лебедкой	35	50
подвесной каретки с направляющими блоками	20	20
Потребляемая мощность от сети 50 Гц, 220 В:		
аппаратурой, Вт	300	300
лебедкой, Вт	600	600
Число блоков при транспортировании	6	7

§ 23. ЭВУКОЛОКАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СЪЕМКИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР

Очистные камеры с одним подходом и неблагоприятным соотношением размеров камеры, а также с пологим падением стенок камер, прилегающих к точке стояния инструмента, можно снимать только лишь дистанционно-управляемыми приборами.

Опыт применения приборов ЗПР-2 и ЗПР-0 показал, что метод съемки глубоких рудоспусков может быть также с успехом применен для съемки таких камер. Технические характеристики приборов показывают, что если звуколокатор разместить в середине очистного пространства, то представится возможность для съемки камер с довольно большими параметрами. Трудность заключается лишь в разработке системы доставки прибора в очистное пространство и автоматизации процесса съемки. Для решения этих задач в ЛГИ был разработан звуколокационный планограф камер ЗПК-1 [28].

Звуколокационный планограф ЗПК-1 представляет собой одновибраторный импульсный звуколокатор, предназначенный для съемки недоступных и труднодоступных камер по горизонтальным замкнутым сечениям с автоматической их записью на круговых диаграммах. Съемка камеры, за исключением потолочки и днища, возможна при условии свободного вертикального спуска электроакустического преобразователя на всю глубину.

подъемной лебедки и подвески акустического блока ЗПР-0 дает возможность увеличить глубину съемки.

Методика съемки профиля рудоспуска с помощью звуколокатора ЗПР-0 состоит в следующем. Аппаратуру устанавливают в подходной выработке, через рудоспуск перебрасывают и закрепляют несущий трос, на который подвешивается каретка с направляющими блоками. Подъемную лебедку устанавливают в створе с блоками и тросом. Акустическую систему подвешивают на каретку и с помощью растяжек перемещают по тросу и выводят в проектное сечение рудоспуска, определяют ось спуска, а также высотную отметку центра акустической системы. Методика съемки одного профиля не отличается от профилирования с помощью ЗПР-2. Однако после первого профиля аппаратуру не поднимают для разворота. Поворот акустических систем на требуемый угол производят с помощью редуктора горизонтального вращения, а величина этого угла фиксируется по градусному лимбу. Съемку второго профиля выполняют при подъеме аппаратуры, а следующего при спуске и т. д. В местах, где запланирован горизонтальный обзор рудоспуска, подъем прекращается, по лимбу фиксируют отсчет и осуществляют горизонтальный осмотр при повороте акустической системы на угол 360°.

Техническая характеристика приборов ЗПР-2 и ЗПР-0

Прибор	ЗПР-2	ЗПР-0
Дальность действия, м	25	25
Точность измерения:		
расстояний, %	±2	±2
глубины, м	±0,3	±0,3
Мертвая зона прибора, м	0,2	1,2
Максимальная глубина спуска, м	350	500
Максимальный угол поворота акустической системы, градус	±360	±360
Точность определения угла поворота, мин	±30	±30
Способ поворота акустической системы	Вручную	Автоматический
Акустическая система из цилиндрических магнитострикционных преобразователей с коническими рефлекторами	Двухвibratorная	Одновибраторная
Рабочая частота, кГц	15,5	15
Угол диаграммы направленности при $\Phi_{0,7}$, градус	3,5	3,5

Время съемки одного профиля на максимальную глубину с учетом показаний через 5 м, мин	60	15
Масса, кг:		
акустической системы	30	15
наземной аппаратуры	30	30
подъемной лебедки	120	120
соединительных кабелей с лебедкой	35	50
подвесной каретки с направляющими блоками	20	20
Потребляемая мощность от сети 50 Гц, 220 В:		
аппаратурой, Вт	300	300
лебедкой, Вт	600	600
Число блоков при транспортировании	6	7

§ 23. ЭВУКОЛОКАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СЪЕМКИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР

Очистные камеры с одним подходом и неблагоприятным соотношением размеров камеры, а также с пологим падением стенок камер, прилегающих к точке стояния инструмента, можно снимать только лишь дистанционно-управляемыми приборами.

Опыт применения приборов ЗПР-2 и ЗПР-0 показал, что метод съемки глубоких рудоспусков может быть также с успехом применен для съемки таких камер. Технические характеристики приборов показывают, что если звуколокатор разместить в середине очистного пространства, то представится возможность для съемки камер с довольно большими параметрами. Трудность заключается лишь в разработке системы доставки прибора в очистное пространство и автоматизации процесса съемки. Для решения этих задач в ЛГИ был разработан звуколокационный планограф камер ЗПК-1 [28].

Звуколокационный планограф ЗПК-1 представляет собой одновибраторный импульсный звуколокатор, предназначенный для съемки недоступных и труднодоступных камер по горизонтальным замкнутым сечениям с автоматической их записью на круговых диаграммах. Съемка камеры, за исключением потолочины и днища, возможна при условии свободного вертикального спуска электроакустического преобразователя на всю глубину

камеры через восстающий в потолочине или из подводных выработок на горизонте потолочины (рис. 48).

В комплект ЗПК-1 входят генератор с коммутатором одновибраторной схемы приема излучения, электроакустический преобразователь, демодулятор с усилителем, перьевый автоматический регулятор, редуктор для вращения вибратора, ручная подъемная лебедка со счетчиком глубины. Расчетная дальность действия прибора составляет 40 м [28].

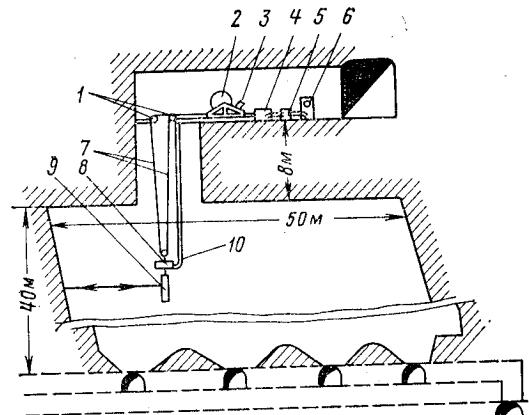


Рис. 48. Схема звуколокационной съемки очистной камеры:

1 — направляющие блоки; 2 — подъемная лебедка; 3 — указатель глубины; 4 — генератор; 5 — усилитель; 6 — регистратор; 7 — стальная лента; 8 — редуктор; 9 — вибратор; 10 — соединительные кабели

Существенное увеличение дальности действия плениографа ЗПК-1 по сравнению с ЗПР-2 было достигнуто в результате разработки высокоеффективного преобразователя электростатического типа. Принципиальная схема производства звуколокационной съемки очистной камеры, в которой доступ прибора в очистную камеру пространство возможен через восстающий в потолочине показана на рис. 48. Устье восстающего перекрывает полком, и вибратор с редуктором опускается на две ветви стальной ленты. Маркшейдерскую привязку и определение центра вибратора и оси измерения производят методами, аналогичными привязке приборов ЗПР или ЗПР-0.

После привязки акустическую систему опускают до отметки первого горизонтального сечения. В этом положении направление звукового луча совпадает со створом лент. После включения прибора начинается одновременное и синхронное вращение вибратора и кассеты регистратора с диаграммным бланком. Вибратор измеряет и принимает отраженные сигналы, интервалы между которыми пропорциональны измеряемому расстоянию. Электронная схема преобразовывает эти интервалы в пропорциональное им постоянное напряжение, которое фиксируется измерительной схемой регистратора, вызывая соответствующее перемещение пера от центра блока.

После поворота вибратора на угол 360° включается команда «обратный ход». После возвращения в исходное положение вибратора производят смену диаграммного бланка и спуск акустической системы на следующую высотную отметку. После этого повторяют весь цикл записи следующего сечения. Ориентацию записываемых сечений производят во время нахождения вибратора в исходном положении.

Опыт внедрения прибора ЗПК-1 в производство на Текелийском руднике подтвердил возможность производства съемки очистных камер с помощью звуколокации и послужил основой для дальнейшего развития звуколокационной маркшейдерской съемки недоступных очистных камер.

Решение разнообразных горнотехнических задач по результатам съемки потребовало осуществления полной съемки камеры при различных системах разработки и условиях применения [29]. С учетом этих требований в 1969—1972 гг. был разработан универсальный прибор «Сфера» для съемки очистных камер. Он предназначен как для полной съемки камеры с одной точки очистного пространства по замкнутым вертикальным сечениям при его спуске в камеру, для частичной съемки камеры по вертикальным профилям или незамкнутым горизонтальным сечениям при его спуске в камеру, так и для частичной съемки камеры по вертикальным профилям или незамкнутым вертикальным сечениям при установке прибора на штативе в любой горизонтальной подводной выработке.

На рис. 49 показана принципиальная конструкция акустической системы на штативе. Методика съемки установке акустической системы на штативе заключается в следующем. Прибор устанавливают и центрируют над маркшейдерской точкой. Приводится в горизонтальное положение он по уровню. При этом преобразователь автоматически фиксируется в исходном положении с помощью концевых выключателей, установленных

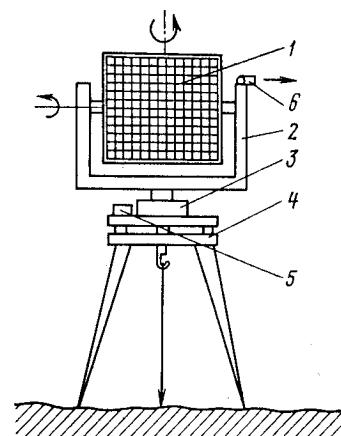


Рис. 49. Акустическая система на штативе:

1 — преобразователь; 2 — рама с редуктором вертикального круга; 3 — рама с редуктором горизонтального круга; 4 — штатив; 5 — уровень; 6 — оптический визир

редукторах горизонтального и вертикального кругов. Ось оптического визира перпендикулярна к направлению звукового луча. Поворачивая основания акустической системы, совмещают вертикальную нить визира с направлением на ближайшую маркшейдерскую точку. Затем с помощью редуктора поворачивают преобразователь в горизонтальной плоскости на 90°. В результате этого звуковой луч оказывается на продолжении прямой линии, проходящей через маркшейдерскую точку и центр преобразователя. Производство съемки аналогично съемке при спуске преобразователя в камеру.

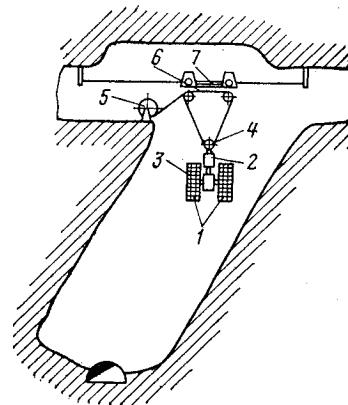


Рис. 50. Схема звуколокационной съемки прибором «Сфера»:

1 — вибратор диполя; 2 — редуктор горизонтального вращения; 3 — редуктор вертикального вращения; 4 — направляющий ролик; 5 — подъемная лебедка; 6 — трос; 7 — каретка

фиксация исходного направления звукового луча и управление механизмами вращения акустической системы осуществляются при спуске преобразователя в камеру. В результате съемки получают эхограммы вертикальных сечений с известными дирекционными углами. Центр эхограммного бланка представляет собой центр электроакустического преобразователя с известными координатами. Однако при съемке на штативе на эхограмме будет зафиксировано не замкнутое вертикальное сечение, а только его часть. Съемка части камеры, прилегающей к точке стояния прибора, возможна только с противоположной стороны камеры. Для полной съемки камеры применяют второй вариант под названием «Сфера», предусматривающий спуск электроакустического преобразователя непосредственно в очистное пространство. Преимущество «Сферы» состоит в том, что прибор позволяет производить съемку камеры вертикальными сечениями. Следовательно, при любом угле падения рудного тела «мертвые зоны» исключаются. Более того, прибор позволяет записывать конические сечения при любых углах наклона звукового луча. Это дает возможность производить съемку геологических нарушений, вывалов из висячего бока или потолочины. Съемка таких объектов горизонтальными или вертикальными сечениями малоэффективна.

Принципиальная схема съемки очистной камеры прибором «Сфера» приведена на рис. 50. При производстве съемки преобразователь фиксируется в исходном положении, при котором направление луча перпендикулярно к вертикальной плоскости, проходящей через створ лент. Дирекционный угол звукового луча и координаты оси спуска определяют маркшейдерскими методами.

Съемку начинают с разворота преобразователя в горизонтальной плоскости в нужном направлении (согласно программе съемки). Угол разворота контролируют по градусному лимбу регистратора, нулевое направление регистрируют на эхограммном бланке нулевой линией. В этом положении осуществляется обзор и запись первого замкнутого вертикального сечения при вращении преобразователя внутри рамы на угол 360°. После записи первого сечения разворачивают преобразователи с рамой на требуемый угол и производят его запись и т. д.

§ 24. РАЗРАБОТКА ЗВУКОЛОКАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ СЪЕМКИ ПУСТОТ ЧЕРЕЗ БУРОВУЮ СКВАЖИНУ

Опыт применения звуколокационных приборов для съемки очистных камер показал перспективность применения звуколокаторов для разработки съемочных приборов различного назначения. Подтверждением этому является разработка в ЛГИ звуколокационной установки «Зонд» [27], предназначе-
ной для съемки подземных камер, доступ к которым имеется через скважину, пробуренную с земной поверхности. Трудность разработки такого прибора заключалась в разработке и досыпке в камеру акустического преобразователя через скважину диаметром 170—220 мм.

Определенный диаметр скважины предопределил разработку складного преобразователя, составленного из нескольких шарнирно соединенных плоских сегментов. После выхода в подземную полость их раскрывают до совмещения в вертикальной плоскости.

Поскольку глубина скважины может достигать 1000 м, спуск прибора на более целесообразно осуществлять на каротажном кабеле, применяемом в геофизике.

Принципиальная схема маркшейдерской съемки подземных пустот через скважину показана на рис. 51. Комплект наземной аппаратуры входит:

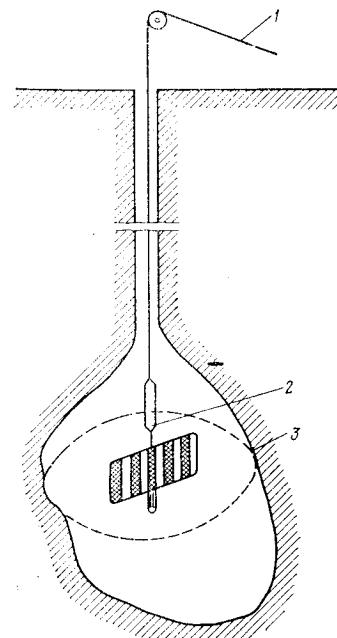


Рис. 51. Схема звуколокационной съемки подземной камеры прибором «Зонд»:
1 — каротажный кабель; 2 — акустический снаряд; 3 — вертикальное сечение снимаемой пустоты

пульт, самописец, электронно-лучевой осциллограф, блок питания, феррорезонансный стабилизатор сетевого напряжения. В скважинном снаряде находятся: оголовок, электронный и механический отсеки, измерительный вибратор, сигнальный отсек. Коротажная лебедка с кабелем входит в комплект станции АЭКС-1500.

Управление и контроль за работой скважинного снаряда осуществляются оператором наземного пульта управления и сводятся к следующим основным операциям: раскрытие и закрытие измерительного вибратора и защитных кожухов, съемка горизонтальных сечений, включение и выключение вращения вибратора, фиксация положения снаряда в скважине и в момент выхода из нее в полость камеры, азимутальная привязка, измерение температуры воздуха.

Азимутальная привязка осуществляется при помощи магнитного датчика азимута, принцип действия которого основан на применении фоторегистрирующих устройств, позволяющих фиксировать направление магнитной стрелки на север. В момент регистрации на эхограмме записываемого сечения появляется узкий выброс, который и указывает направление на север [27].

Опытный образец прибора «Зонд» успешно прошел производственные испытания. Следует отметить, что его применение может быть распространено для съемки старых горных выработок через вертикальные буровые скважины, карстовых пустот, труднодоступных пещер.

В табл. 6 приведены сравнительные технические характеристики и условия применения всех вышеуказанных приборов [27].

§ 25. ПРИМЕНЕНИЕ ЗВУКОЛОКАЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РАССОЛАХ, ГЛИНИСТОЙ ПУЛЬПЕ И ДРУГИХ ЖИДКОСТЯХ

О применении звуковых волн для определения геометрических размеров камер, заполненных техническими жидкостями, впервые упоминалось в 1957 г. В США был создан звуколокатор «Нутромер»,

Таблица 6

Прибор и год окончания его разработки	Назначение прибора, способ его установки во время съемки	Пределы углового перемещения и точность определения	Вид регистрация результатов	Способ ориентирования в пространстве	Подходы для съемки
					Приборы, имеющие в своем составе оптико-акустические системы
ЗИР-2Н (1964)	Дистанционная топографическая съемка вертикальных профилей: акустическая система опускается на металлических лентах через восстающий или из подходных выработок с помощью консоли	0,2— —27	1:50 $360^\circ \pm 30'$	— Визуальный отсчет измеряемого расстояния по осциллографу	Восстающий в пологолочине, горизонтальные выработки на уровне потолочкины
ЭПК-1 (1966)	Дистанционная съемка по горизонтальным замкнутым сечениям: акустическая система опускается на металлических лентах через восстающий или из подходных выработок с помощью каретки	1,5— —40	1:59 $360^\circ \pm 30'$	— Автоматическая запись на самописце горизонтальных замкнутых сечений в масштабе 1:200 или 1:400	То же
«Сфера» (1972)	Дистанционная съемка по вертикальным, горизонтальным и наклонным замкнутым сечениям: акустическая система опускается на металлических лентах через восстающий, или из подходных выработок с помощью каретки или может устанавливаться на штативе в подходных выработках	1,5— —50	1:50 $360^\circ \pm 30'$	Автоматическая запись на самописце круговых замкнутых сечений в масштабе 1:200 или 1:500	Горизонтальные выработки на любом уровне по высоте камеры
«Зонд» (1972)	Дистанционная съемка по горизонтальным сечениям в условиях повышенной температуры (80°C) окружающей среды: спуск акустического снаряда проводится на каротажном кабеле на глубину до 1500 м	1,5— —50	1:50 $360^\circ \pm 30'$	— Автоматическая запись на самописце горизонтальных замкнутых сечений в масштабе 1:200 или 1:500	Вертикальные буровые скважины

предназначенный для определения форм и размеров подземных хранилищ нефтепродуктов и сжиженных газов, леводородных газов, сооружаемых в массиве каменных соли методом выщелачивания через буровую скважину. Комплект аппаратуры «Нутромера» состоит из двух основных частей: скважинного снаряда и наземной станции, смонтированной на передвижной тележке. В скважинном снаряде размещены акустическаяamera, механизм вращения акустической системы, синтезатор, сенсорное устройство и электронные блоки.

Производство звуколокационной съемки камеры звуколокатором «Нутромер» производится следующим образом: в камере отбираются желонкой пробы рассола для определения концентрации его и скорости распространения звука в точках наблюдений и определение температуры рассола (скорость звука зависит не только от концентрации, но и от его температуры); опускают скважинный снаряд и производят звуколокационный обзор стенок камеры. При съемке на осциллографе фиксируется масштабированный контур горизонтального сечения камеры. При камеральной обработке осциллограмма должна быть исправлена за счет различия фактической и приборной скорости звука в среде локации.

Основные технические характеристики аппаратуры глубина действия 600 м, дальность действия в чистой воде 150 м, ошибки измерения $\pm 5\%$.

В ЛГИ в 1963 г. была разработана звуколокационная станция «Луч», которая предназначена для съемки пустот, заполненных солевым рассолом [30]. Эта станция смонтирована на машине АЭКС-1500. При этом геофизическая аппаратура станции оставлена без изменений и может быть использована по прямому назначению. «Луч» состоит из двух основных частей: скважинного снаряда и приборной стойки. Связь скважинного снаряда с наземной аппаратурой, размещенной в приборной стойке, осуществляется по трехжильному кабелю КТО-4, служащему одновременно и подвесом для снаряда.

Съемочные работы состоят из двух основных этапов: подготовительного и непосредственно работы по съемке пустот. Подготовительный этап включает отбор нерасторвителя, разгерметизацию камеры, демонтаж оголовка

скважины, подъем или извлечение рассолоподъемной колонны труб, шаблонирование скважины и вывешивание скважинного снаряда. Вывешивание заключается в опускании скважинного снаряда в район днища камеры и оставление его в этом положении на время естественного раскручивания каротажного кабеля. При глубине камеры 1000 м продолжительность раскручивания каротажного кабеля КТО-4 колеблется от 0,5 до 1,5 ч.

Непосредственно съемочные работы заключаются в измерении глубины спуска скважинного снаряда, скорости распространения звука на уровне точки наблюдения и радиусов горизонтального сечения камеры. Камеральные работы заключаются в исправлении получаемых эхограмм.

Техническая характеристика станции «Луч» [30]

Диаметр скважинного снаряда, мм	112
Высота, мм	2300
Масса, кг	26
Максимальная глубина съемки, м	1500
Диапазон измеряемых расстояний, м	0,5—200
Масштабы записи на самописце	1:100; 1:200; 1:500; 1:1000
Точность измерения, %:	
расстояний, фиксируемых на самописце	± 2
расстояний, фиксируемых на осциллографе	± 5
скорости распространения звука	± 15
Точность измерения плотности рассола, $\text{г}/\text{см}^3$	$\pm 0,015$
Точность ориентации сечений при условии, что скважинный снаряд находится не менее чем на 3 м от башмака колонны труб, градус	2
Время записи одного горизонтального сечения, мин	6
Несущая частота ультразвуковых импульсов, кГц	380
Угол $\psi_{0,7}$ диаграммы направленности в плоскости, градус:	
горизонтальной	4
вертикальной	1,5

Сложность разработки таких приборов, а также производства измерений заключается в том, что скорость распространения звука зависит от многих факторов, которые при съемке необходимо знать. Поэтому перед производством съемки в камере отбираются пробы рассола для определения концентрации его и скорости распространения звука в точках наблюдений. Од

новременно с отбором проб определяют температуру рассола.

Съемка технических скважин большого диаметра и шахтных стволов, проходимых бурением, также имеет особенности. Шахтные стволы и технические скважины представляют собой горные выработки цилиндрического сечения, пройденные с поверхности бурением. Глубина составляет 1000—1500 м. Проектные диаметры стволов и технических скважин находятся в пределах 1—9 м. Учитывая возможную внекентренность расположения звуколокатора и возможность возникновения каверн, дальность действия прибора должна составлять 0,3—12 м. Стволы и технические скважины в момент измерений заполнены промывной жидкостью, представляющей собой глинистый раствор различной концентрации плотностью от 1,05 до 1,5 г/см³. При такой плотности опускаемая в горную выработку аппаратура будет подвергаться гидростатическому давлению до 200 кгс/см². По данным треста Спецшахтобурение, температура в сооружаемых стволях может колебаться от 3 до 40°C.

Естественно, что в таких условиях при маркшейдерском обслуживании шахтных стволов и технических скважин, проводимых бурением, возникают задачи, решать которые известными в шахтном строительстве методами трудно, а иногда и невозможно. Поэтому встает вопрос о решении этой проблемы другими методами и в первую очередь при использовании звуколокации. Первые попытки разработать звуколокационные приборы для съемки технических скважин и стволов, проходимых бурением, показали перспективность звуколокационного метода [31, 32]. Принципиальная схема съемки таким звуколокатором состоит в определении объема ствола в свету и вчерне, если известна глубина ствола. Значит представляется возможность измерять площадь сечения ствола звуколокатором измерением радиусов ствола.

Погрешность объема ствола вчерне и в свету будет одна и та же и величина ее определится точностью измерения радиуса.

В 1964 г. ЛГИ начал разработку аппаратуры для звуколокационной съемки технических скважин большого диаметра — «Донецк». При разработке ее был

проведен большой круг исследований по выбору преобразователя (коэффициент затухания звуковых волн в глинистом растворе очень большой) и разработке самописца с двойной системой координат.

Результаты этих исследований воплощены в разработанной звуколокационной станции «Донецк», которая смонтирована на каротажной станции АЭКС-1500 и состоит из приборной стойки и скважинных снарядов. Для спуска прибора используется кабель КТО-4. Принцип действия и блок-схема «Донецка» в основных чертежах повторяют звуколокатор «Луч» [27].

Техническая характеристика станции «Донецк»

Максимальная глубина съемки, м	1000
Диапазон измеряемых расстояний, м:	
в технической воде	0,4—10
в глинистом растворе	0,3—6
Масштаб записи контуров горизонтальных сечений	1:10; 1:20; 1:50; 1—100
Вертикальный масштаб на блок-диаграмме	1:50; 1—100 20
Длина диаграммной ленты, м	±2 от предела шкалы
Ошибки измерения радиусов сечений	±3
Ошибки ориентации, градус	
Размеры скважинного снаряда, мм:	
длина	1800
диаметр	190
Масса скважинного снаряда, кг	65
Время съемки одного сечения, с	72
Питание	От сети 50 Гц
Потребляемая мощность, кВт	0,7—1

§ 26. ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ РЛС ДЛЯ СЪЕМКИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР¹

Принцип действия РЛС. При радиоволновых методах съемки камер может быть использован принцип, основанный на том, что излучаемые РЛС колебания — зондирующий сигнал — отражаются от цели (стенки камеры или выработки) и попадают в приемник РЛС в виде отраженного сигнала — эхо-сигнала.

¹ § 26 написан совместно с С. С. Неласовым.

Такой вид наблюдения иногда называется также активной радиолокацией с пассивным ответом. При съемке камер радиоволновыми методами он является единственно возможным. Важным требованием к стенкам в этом случае является отличие их отражающих свойств от отражающих свойств окружающей среды (радиолокационный контраст).

Систему «РЛС — стенка» (камеры или выработки) можно рассматривать как радиолокационный канал, подобный радиоканалам связи или телеметрии. Основными составными частями РЛС являются передатчик, приемник, антеннное устройство, оконечное устройство.

Передающая и приемная антенны могут быть расположены или в непосредственной близости друг от друга, или совмещаться в одной антенне в РЛС с импульсной модуляцией, снабженной специальным антенным переключателем для перехода от режима передачи в режим приема и обратно.

Передатчик РЛС вырабатывает высокочастотные колебания, которые модулируются по амплитуде, частоте или фазе иногда весьма сложным образом. Эти колебания подаются в антеннное устройство и образуют зондирующий сигнал. Зондирующий сигнал может быть в виде последовательных равнотстоящих по времени коротких радиоимпульсов, или непрерывным, тогда наряду с незатухающими гармоническими колебаниями могут использоваться частотно-модулированные и др.

Излучаемые колебания нельзя считать радиолокационным сигналом, так как они никакой информации о цели не несут. После того как электромагнитная волна, падающая на стенку (камеры или выработки), вызывает в ее теле вынужденные колебания электрических зарядов, стенка (камеры) подобно обычной антенне создает свое электромагнитное поле. Это поле представляет собой вторичную, т. е. отраженную, электромагнитную волну, создающую в РЛС радиолокационный сигнал, который является носителем информации о стенке.

Приемник РЛС необходим для оптимального выделения полезного сигнала. Оконечное (выходное) устройство служит для представления радиолокационной информации в нужной форме.

Диапазон волн, используемый в радиолокации. Важным фактором при выборе диапазона длин волн является характер отражения радиоволн от стенки камеры. Если размеры неровностей и радиусы кривизны отдельных выступов на много меньше длины волны, то сильнее сказывается явление дифракции волн, интенсивность отражения мала. При этом стенку можно уподобить антенне с очень малой действующей высотой.

Если размеры неровностей стенки и радиусы кривизны отдельных участков намного больше длины волны, то интенсивность отражения достигает заметной величины и мало зависит от длины волны и определяется в основном отражающими свойствами стенки. В случае соизмеримости размеров неровностей стенки или ее отдельных участков с длиной волны возможно резонансное возбуждение участков поверхности стенки, при котором интенсивность отражения заметно возрастает в некоторых направлениях.

Учитывая размеры реальных неровностей стенки, приходим к выводу: чтобы длина волны была меньше этих размеров или соизмерима с ними, в радиолокации необходимо использовать диапазон ультразвуковых волн (УКВ). Другая причина использования этого диапазона, особенно волн более коротких, чем метровые, связана с размерами антennы. Угловая ширина диаграммы направленности антennы независимо от ее типа прямо пропорциональна длине волны и обратно пропорциональна соответствующему размеру зеркала в плоскости луча. Для зеркальной антennы в виде усеченного параболоида ширина луча по точкам половинного значения мощности

$$Q_{0,5} = 65\lambda/dA, \quad (59)$$

где λ — длина волны; dA — максимальный линейный размер зеркала в плоскости луча.

Из формулы видно, что острый луч, обеспечивающий возможность более детальной съемки и более высокую точность определения координат при оптимальных размерах антennы, можно получить только при достаточно короткой волне λ . Поэтому для съемки камер целесообразно использовать сантиметровый диапазон радиоволн. С точки зрения повышения точности измерений необходимо расширять полосу частот зондирующего сигнала.

Естественно, что расширение полосы передаваемых частот требует повышения несущей частоты сигнала.

При выборе диапазона волн важное значение имеют особенности распространения радиоволн в атмосфере, в частности поглощение, что вынуждает избегать применения соответствующих частот.

Импульсный метод измерения расстояний. Измерение расстояний радиотехническими методами основано на постоянстве скорости и прямолинейности распространения радиоволн, которые выдерживаются в реальных условиях с достаточно большой точностью. Измерение расстояний сводится к фиксации моментов излучения зондирующего сигнала и приема отраженного сигнала, а также измерению временного интервала между этими моментами. Для этого используется импульсная модуляция зондирующего сигнала.

В РЛС используется одна антенна как для передачи, так и для приема. Импульсный передатчик вырабатывает радиоимпульс длительностью τ , который через антенный переключатель (переключатель «прием-передача») попадает в антенну и излучается. Приемник в этот момент отключается на время τ от антенны, и только немногая часть энергии импульса (прямой сигнал) просачивается на вход приемника.

Отраженные импульсы, улавливаемые антенной, через тот же антенный переключатель в паузах между зондирующими импульсами поступают в приемник.

Время запаздывания t_3 отраженного импульса относительно прямого измеряется с помощью оконечного устройства. Отсчитывать расстояние до стенки по началу отраженного импульса практически невозможно из-за влияния импульсов. Оптимальным при наличии шума может оказаться отсчет по положению максимума отраженного сигнала (от наиболее эффективной ближней плоскости отражения), что приводит к снижению точности измерений в ближней зоне. Время запаздывания отраженного импульса

$$t_3 = \frac{\alpha D}{c}, \quad (60)$$

где D — расстояние до стенки, м; c — скорость распространения радиоволн (приблизительно равна 3×10^8 м/с). Поэтому

$$t_3 = D_{(150)} \text{ мкс.} \quad (61)$$

Запаздыванию $t_3 = 1$ мкс соответствует $D = 150$ м; $t_3 = 0,1$ мкс — $D = 15$ м; $t_3 = 0,01$ мкс — $D = 1,5$ м.

Таким образом, для измерения расстояний необходимо достаточно точно измерять время t_3 .

Минимальная дальность действия импульсной РЛС.

При использовании в РЛС двух отдельных антенн для передачи и приема можно уменьшить минимальную дальность. В случае же одноантенной РЛС минимальное расстояние до стенки (мертвая зона) оказывается достаточно ощутимым. Это объясняется тем, что антенный переключатель должен запирать приемник на время, равное длительности импульса. Кроме того, после окончания импульса требуется время на восстановление антенного переключателя. Таким образом, минимальное расстояние

$$D_{\min} = \frac{c(\tau + t_b)}{2}, \quad (62)$$

где t_b — время восстановления чувствительности приемника (в некоторых случаях t_b может быть больше τ).

Следовательно, t_3 должно быть больше $(\tau + t_b)$. Таким образом, практически очень трудно осуществить РЛС с $D < 15$ м, что ограничивает применение импульсных методов для съемки стенок камер.

Частотный метод измерения расстояний до стенки камеры. Определение расстояний до стенки при использовании частотной модуляции (ЧМ) основано на измерении приращения частоты передатчика за время распространения сигнала до стенки (камеры, выработки) и обратно. Если предположить, что частота передатчика $f_n(t)$ может изменяться по линейному закону, то измерение частоты отраженного сигнала $f_c(t)$ будет запаздывать на время $t_3 = \frac{2D}{c}$ (рис. 52). В результате смешения этих колебаний образуются биения, огибающая которых является чисто гармоническим колебанием, т. е. спектр состоит из одной спектральной линии. Величина приращения частоты определяется из выражения

$$F_6 = t_3 \operatorname{tg} \alpha = t_3 \frac{df_n}{dt} = \frac{2df_n/dt}{c}, \quad (63)$$

т. е. пропорциональна расстоянию.

$$n_1 = \frac{n_t}{T_m} = 4\Delta f_m F_m \frac{D}{c}. \quad (6)$$

В данном случае независимо от времени измерения имеет место методическая ошибка дискретности отсчета. Действительно, для изменения показаний требуется чтобы за период модуляции число импульсов изменилось по крайней мере на один. Это требует изменения расстояния на $\Delta D = c/4\Delta f_m$, что совпадает и со спектральным методом. Точность от применения счетчика не ухудшается.

Уменьшение постоянной ошибки. Постоянная ошибка РЛС особенно сказывается при малых расстояниях, когда частота биений F_{bo} становится соизмеримой с частотой модуляции F_m .

В РЛС можно искусственно устраниć методическую ошибку. Для этого имитируется достаточно быстрое колебание измеряемого расстояния около среднего значения, равного истинному измеряемому расстоянию. Это достигается периодическим изменением полосы модуляции с частотой $F_{m,g}$, которая в несколько раз меньше частоты модуляции F_m , но достаточно велика, чтобы на колебания измеряемых расстояний, происходящих с этой частотой, не реагировали бы выходные устройства РЛС. При этом постоянная ошибка уменьшается в $\frac{F_{m1}}{F_{m2}}$ число раз.

В 1973 г. ВИОГЕМ проводил испытания РЛС для съемки камер на Запорожском железнодорожном комбинате № 1 (рис. 53). В состав комплекта аппаратуры входит: приемопередатчик; редуктор вращения антенн; приемная и излучающая антенны; блок питания приемопередатчика с индикацией контроля вращения антенн; самописец, регистрирующий расстояние до стенки камеры; консоль, обеспечивающая вынос антенны в камеру.

Техническая характеристика приемопередатчика

Средняя частота передатчика, МГц	2000±15
Основная полоса модуляции, МГц	50±10
Основная частота модуляции, Гц	170±10
Дополнительная частота модуляции, Гц	37±10
Излучаемая мощность передатчика, Вт	0,5
Общая чувствительность, дБ	90
Диапазон измеряемых расстояний, м	0÷300

Потребляемая мощность, Вт	90
Антенны	Плоские зеркально-резонаторные
Масса, кг	7,6

Как видно из технических данных, методическая ошибка составит

$$\Delta D = \frac{c}{\Delta f} \frac{F_1}{F_2} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^7} \frac{170}{37} = 27,6 \text{ см.}$$

В приемопередатчик входят следующие блоки: передатчик, модуляторный блок, приемник, измерительный блок, блок питания.

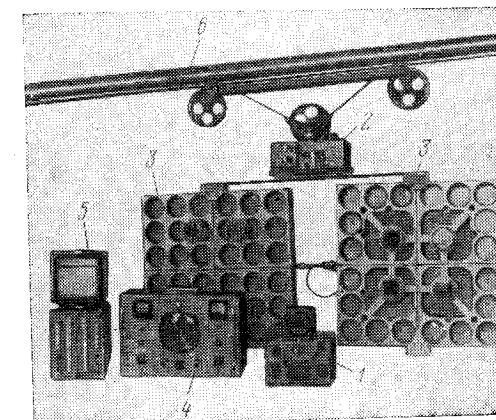


Рис. 53. Комплект аппаратуры РЛС, используемой для съемки камер:
1 — приемопередатчик; 2 — редуктор вращения антенн; 3 — приемная и излучающая антенны; 4 — блок питания приемопередатчика с индикацией контроля вращения антенн; 5 — самописец, регистрирующий расстояние до стенки камеры; 6 — выносная консоль, обеспечивающая вынос антенн в камеру

Передатчик генерирует частотно-модулированные колебания и состоит из генератора СВЧ и модулятора, который обеспечивает двойную частотную модуляцию колебаний.

Напряжение основной частоты модуляции (F_{m1})рабатывается мультивибратором и через амплитуд-

ный ограничитель и формирующую цепь подается модуляционный усилитель. Напряжение дополнительной частоты модуляции (F_{M2}) вырабатывается мультивибратором и через интегрирующую цепь подается на вход модуляционного усилителя. В модуляционном усилителе напряжение частоты F_{M2} суммируется с напряжением частоты F_{M1} .

Передатчик излучает через передающую антенну модулированные по частоте высокочастотные колебания, которые проходят путь до стенки и обратно до приемной антенны и попадают на балансный смеситель приемника. Одновременно на другой вход балансного смесителя подаются колебания непосредственно от передатчика. Сигнал разностной частоты, выделяемый балансным смесителем приемника, усиливается усилителем низкой частоты приемника.

С выхода приемника сигнал поступает на ограничитель измерительного блока. С выхода ограничителя сигнал в виде прямоугольных импульсов частоты биений с строго одинаковой амплитудой поступает на счетчик, который преобразует импульсы частоты биений в положительное постоянное напряжение, пропорциональное частоте биений. В схеме применен интегрирующий счетчик нулевого типа.

Питание РЛС осуществляется от батареи аккумуляторов 16СЦ25 напряжением 27 В и преобразователя преобразующего постоянное напряжение 27 В в переменное напряжение 115 В частотой 400 Гц.

В качестве регистрирующего устройства применялся самописец Н-37 с усилителем И-37. Приемник и излучающие антенны при размерах $50 \times 50 \times 7,5$ см имеют ширину диаграммы направленности $2Q_{0,5} = 1,5^\circ$ (теоретически).

В последние годы все более широко используются многовибраторные антенны в полосковом исполнении. В таких антенах все вибраторы плоские и изготавливаются аналогично печатным платам, широко используемым в радиоаппаратуре. Специфические требования заключаются в обеспечении высокой точности изготовления рисунка на плате, а также в использовании специальных диэлектриков с малыми потерями на высоких частотах. Система, построенная на полосковом вибраторе с рефлектором, предназначенный для создания острона-

правленного излучения, имеет при одинаковых электрических характеристиках размеры не более чем созданная на базе плоскозеркальных резонаторных антенн. Полосковые вибраторы также можно использовать в аппаратуре для съемки камер.

Редуктор вращения антенн. Для вращения, контроля направления и угла поворота применяется редуктор с сельсиным следящим устройством, позволяющим осуществлять контроль за направлением и углом поворота антенн. Питание двигателя ПДЗ-8 осуществляется постоянным напряжением 27 В.

Блок управления. Позволяет осуществлять включение и выключение вращения антенн. Контроль за направлением вращения и углом отклонения антенн осуществляется прибором СЦШ-7. В блок также входит и преобразователь постоянного напряжения 27 В в переменные напряжения 220 и 45 В частотой 400 Гц.

Выносная консоль для подачи приемо-излучающих антенн в камеру была разработана ВИОГЕМом. Конструкция состоит из рамы, распорной стойки и центральной штанги. Рама имеет два винта, которые служат для жесткого направления станины, состоящей из рамы и распорной стойки.

Распорка позволяет устанавливать консоль в выработках высотой от 2 до 3 м. Центральная несущая штанга состоит из шести звеньев. Все звенья изготовлены из дюралюминиевой трубы размером $60 \times 2,5$ мм. Длина каждого звена 1400 мм. Максимальная длина штанги 8400 мм. Приемно-излучающая система подвешивается на ленту и может опускаться на заданную глубину. Масса консоли 49 кг.

Методика измерений. В выработке, подходящей к камере, устанавливается консоль, выносная часть которой выдвигается в камеру на расстояние от 2 до 6 м от щелей камеры. С помощью растяжки регулируется положение несущей трубы, которая должна быть горизонтальной. Подача приемно-излучающей системы в камеру осуществляется передвижением каретки с помощью барабана.

Радиолокационные антенны в начальном положении ориентируются так, чтобы ось излучения совпадала с осью консоли. При этом стрелка указателя направления

на пульте управления должна показывать азимут, определяемый маркшейдерской съемкой участка измерений

Для записи отражающих границ необходимо одновременно включить систему вращения и двигатель самописца. Для исключения случайных ошибок запись повторяется при вращении в обратном направлении. Изменение уровня горизонтального записываемого сечения производится опусканием приемно-излучающей системы на необходимую глубину, что контролируется по цифровым меткам, нанесенным на ленте.

Результаты съемки (номер записи, условия и пределы записи) заносятся в полевой журнал. Обработка результатов съемки заключается в следующем: по диаграммной ленте определяются расстояния через необходимый угловой интервал и полученные расстояния налагаются на круговую диаграмму в необходимом масштабе.

ГЛАВА IV ПРОИЗВОДСТВО МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ НEDОСТУПНЫХ ПУСТОТ

§ 27. ОРГАНИЗАЦИЯ СЪЕМКИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР НА РУДНИКЕ

На каждом отдельно взятом руднике параметры недоступных пустот определяются многими факторами, горно-геологическими условиями, применяемой системой разработки, схемой вскрытия горизонтов и подготовки камер, формой и размерами рудных тел, устойчивостью пород и др. В этих условиях эффективность маркшейдерской съемки пустот будет в значительной мере зависеть от правильного выбора метода съемки.

Выбор метода съемки недоступных пустот производится исходя из двух основных положений: наличия и характеристик доступа к снимаемой пустоте; целей и назначения съемки.

Для пояснения их обратимся к главе I, в которой дана классификация подземных пустот по различным признакам. Так, схема, приведенная на рис. 4, позволяет сделать в первом приближении следующие рекомендации по методам съемки недоступных пустот, исходя из наличия и качества доступов к ним: пустоты I группы не только более удобны для производства съемочных работ, но и позволяют применять практически все существующие методы: тахеометрический, стереофотограмметрический, локационный.

Следует заметить, что пустоты I группы рассматриваемой классификации входят в составы пустот 5-й, 6-й и 7-й групп классификации по назначению (см. рис. 4). К съемке этой категории пустот предъявляются повышенные по точности требования, которым пока удовлетворяют лишь два метода: тахеометрический и стереофотограмметрический. Правда, последний еще недостаточно хорошо разработан и апробирован.

Пустоты II группы на рудниках в широких масштабах стали появляться за последние два десятилетия. Это глубокие рудоспуски, пустоты под дном и в борт карьеров и в некоторых случаях очистные камеры. Специфика этих пустот заключается в том, что доступ инструмента в них возможен лишь по скважине или вертикальной выработке в кровле, что и предопределяет значительной мере и методы съемки их. Наиболее удобстворительными здесь являются акустический, фотограмметрический и радиоволновой методы.

Пустоты III группы наиболее широко распространены на рудниках и потому представляют наибольший интерес. Отличительной особенностью этих пустот является невозможность доступа в пределы пустоты ни наблюдателя, ни инструмента. Поэтому точку наблюдения приходится выбирать вне пределов пустоты, в подходных выработках. Правда, измерительное устройство можно располагать в окраинной части пустоты, вблизи подходных выработок. Для этого сооружаются специальные выносные (консольные) конструкции. Однако они настолько сложны, громоздки и трудоемки, что практическая ценность их теряется и, как правило, они не применяются. Для съемки этой группы пустот пригодны тахеометрический, стереофотограмметрический и другие методы. Однако предпочтение отдается тахеометрическому.

Таким образом, для съемки пустот I и III групп более эффективным оказывается в настоящее время тахеометрический способ, а для II группы — любой из других (фотограмметрический, локационный), исходя из конкретных условий. Следует заметить, что такие соотношения отражают современное состояние разработанности методики и технических средств для съемки недоступных подземных пустот. С дальнейшим развитием науки и техники эти соотношения могут изменяться, отсюда возможны изменения и в рекомендациях.

§ 28. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ НEDОСТУПНЫХ ПУСТОТ

Тахеометрическую съемку подземных недоступных пустот выполняет, как правило, маркшейдер-

ская служба рудника, так как существующие для этого приборы практически не требуют каких-либо специальных (кроме маркшейдерских) знаний и навыков. В крупных горнорудных районах (Кривбасс, КМА, Джезказган и др.) целесообразно эти работы передавать специализированным маркшейдерским группам.

При организации и производстве съемки недоступных пустот следует иметь в виду, что она имеет ряд особенностей:

- 1) подходные к снимаемым пустотам выработки, как правило, имеют небольшие размеры и число их ограничено;
- 2) условия съемки недоступных пустот отличаются повышенной опасностью в сравнении с другими съемочными работами;
- 3) производство съемки сопряжено с большой трудоемкостью съемочных и камеральных работ;
- 4) отсутствует освещение пустот, что затрудняет рекогносцировку объекта и осложняет процесс съемки.

При съемке камеры тахеометр устанавливается в подходной выработке. Точка установки прибора выбирается возможно ближе к контуру камеры и закрепляется временным или постоянным (при необходимости повторных съемок) знаком. При привязке к пунктам опорной рудничной сети определяются все три координаты точек стояния инструмента. Относительная линейная невязка определения координат съемочных точек должна соответствовать сетям второго разряда и составлять не более 1/500 [3]. При этом с целью максимально возможного уменьшения угловой ошибки в ориентировке съемки камеры рекомендуется привязку производить к наиболее длинным станам опорной сети. Для обеспечения наибольшей полноты съемки рекомендуется ее производить с двух и более точек (подходных выработок) с определенным перекрытием одной съемкой другую.

Объектами съемки являются характерные точки стенок и кровли камер: выступы и впадины, геологические нарушения, контакты пород, выходы в камеру скважин и т. д. При производстве съемочных работ целесообразно «набирать» пикеты на снимаемых поверхностях по определенной системе, определяемой заблаговременно и зависящей от характера стенок, параметров пустоты,

назначения съемки и др. В подавляющем большинстве случаев для съемки очистных камер оказывается рациональной система набора пикетов по вертикальным сечениям (рис. 54).

Важно также выбрать оптимальные интервалы между вертикальными сечениями и между пикетами. Эти

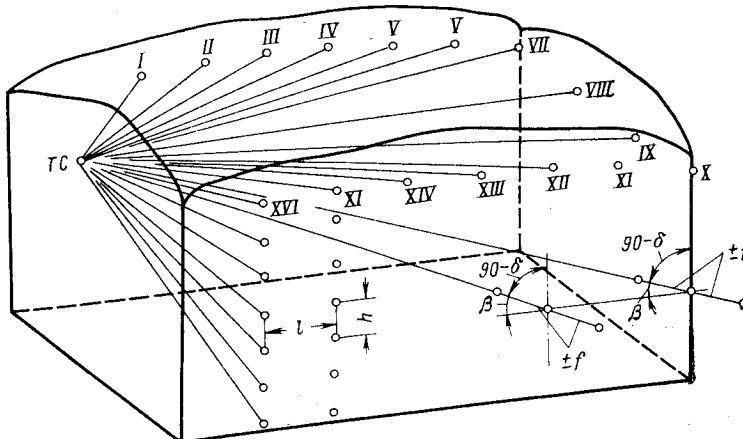


Рис. 54. Методика тахеометрической съемки очистных камер:
I—XVI — номера вертикальных сечений; TC — точка стояния инструмента;
 l — расстояние между вертикальными сечениями; h — расстояние между пикетами в вертикальном сечении; β — горизонтальный угол встречи луча со стенкой камеры; δ — вертикальный угол встречи луча со стенкой камеры

интервалы могут изменяться в зависимости от многих факторов. Однако наиболее существенным среди них является масштаб съемки. В соответствии с этим рекомендуются следующие соотношения: для масштаба 1:500 интервал около 5—6 м, для масштаба 1:200 — около 2—3 м; для масштаба 1:100 — около 1 м.

Если производится маркшейдерская съемка пустот I группы по классификации (см. рис. 4), то сказанное выше может быть отнесено и к этому случаю. Разница заключается в том, что, имея доступ в камеру, исполнитель может охватить съемкой весь объем с одной точки стояния инструмента. Причем часто представляется целесообразным съемку пикетов, находящихся и на недоступных участках стенок, также осуществлять методами дальномерной съемки.

§ 29. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ СЪЕМКЕ НЕДОСТУПНЫХ ПУСТОТ ЧЕРЕЗ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ КАНАЛ В КРОВЛЕ

По принятой классификации (см. рис. 4) такие пустоты относятся к II группе: пустоты под дном и в бортах карьеров, глубокие рудоспуски, бункеры и др.

При съемке пустот из карьера или выработок вышележащего горизонта могут встретиться два случая: 1) местоположение и параметры пустоты в общем известны; 2) пустота предполагается или наличие ее установлено косвенно, т. е. ни местоположение, ни параметры пустоты неизвестны.

В первом случае необходимо в средней части пустоты с уступа карьера или верхнего горизонта пробурить скважину или пройти вертикальную выработку методом взрывания глубоких скважин. Скважина (выработка) должна иметь диаметр, достаточный для гарантированного пропуска выбранного измерительного устройства для съемки камеры. Предпочтительно, чтобы скважина или выработка были вертикальными, так как в противном случае возникает дополнительная задача по определению координат точки выхода прибора в пустоту, решение которой не всегда просто.

Точка подвеса (опускания) измерительного устройства над устьем скважины должна быть привязана к пунктам опорной сети с точностью, соответствующей сетям второго разряда, и при необходимости — закреплена. Съемка пустоты, естественно, производится в этом случае по горизонтальным сечениям. Интервалы между сечениями и между пикетами (если съемка выполняется по дискретной схеме) рекомендуется выбирать в соответствии с соотношениями, установленными в предыдущем параграфе.

Если местоположение и параметры пустоты неизвестны, то следует предварительно произвести ее разведку. Эта операция может выполняться как бурением специальных скважин, так и геофизическими методами, или комплексным использованием того и другого методов. Как показали специальные исследования и опыт работ,

для обнаружения пустот из карьеров или подземных горных выработок наиболее эффективными являются гравиметрические, электрометрические, акустические методы [58].

После обнаружения и установления в общих чертах параметров пустоты через кровлю ее бурят вертикальную скважину или проходят вертикальную выработку и производят съемку.

Особое внимание при организации работ по съемке недоступных пустот должно быть обращено на технику безопасности.

Таким образом, организация маркшейдерской съемки недоступных пустот представляет собой комплекс работ различного характера, включая (кроме собственно маркшейдерских) электрические, горные, буровые, взрывные и др. Поэтому в особо сложных условиях для более оперативного решения этих задач, координации отдельных операций и рационального использования людей и оборудования, а также обеспечения безопасности работ на всех этапах рекомендуется составлять специальную программу (мероприятия) по выполнению всего комплекса с утверждением ее техническими руководителями предприятия.

Такие меры обеспечивают не только высококачественную маркшейдерскую съемку недоступных пустот, но и гарантируют от возможных аварий и других неприятностей при проведении горных работ над пустотами.

§ 30. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ СЪЕМКЕ ВОРОНОК ОБРУШЕНИЯ, ПРОВАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ

Воронки обрушения, провалы, а в отдельных случаях и мульды оседания должны рассматриваться как разновидность недоступных подземных пустот, имеющих выход на земную поверхность. Общность здесь не только генетическая, но и главным образом методическая, так как в рассматриваемом случае также исключен доступ к снимаемому объекту. Вместе с тем требования по точности, оперативности, полноте съемки при этом одинаковы с собственно подземными пустотами. Поэтому

му и методы, и инструменты, применяемые для съемки, также идентичны. Все это обусловило включение воронок обрушения в классификацию недоступных подземных пустот как одной из разновидностей пустот III группы, т. е. таких, в контурах которых невозможно нахождение ни наблюдателя, ни инструмента.

При организации съемки воронок обрушения на поверхности (или в карьере) прежде всего следует разработать мероприятия по обеспечению безопасности работ.

Для съемки воронок обрушения на поверхности из рассматриваемых методов наиболее эффективными являются стереофотограмметрический и тахеометрический. Из них должно быть отдано предпочтение стереофотограмметрическому методу, как наиболее точному и производительному.

При стереофотограмметрической съемке воронок обрушения могут применяться как короткобазисная съемка, так и съемка спаренными фотокамерами. В последние годы сконструированы и выпускаются промышленностью специальные стереопары, например ДК-120 или 5,5/0808-120 («Карл Цейс», ГДР), предназначенные для крупномасштабной съемки отдельных объектов (камер, воронок и т. д.).

Однако не всегда имеется возможность воспользоваться фотограмметрическим методом при съемке воронок обрушения. Причин этому может быть множество и прежде всего отсутствие соответствующей съемочной или обрабатывающей аппаратуры, невозможность их использования из-за условий на местности и др. Во всех этих случаях для съемки воронок обрушения используют тахеометрический метод. При сравнительно небольших размерах и четких контурах зон обрушения тахеометрическую съемку можно производить приборами, снабженными дальномерами двойного изображения («Телетоп», ВРТ-006) или стереоскопическим дальномером типа ТДС. Однако при значительных размерах зон обрушения и отсутствии четких контуров, что встречается наиболее часто, применение указанных приборов не обеспечивает необходимой точности и производительности съемки.

Удовлетворительные результаты в этом случае дает применение тахеометров типа ТБЛ-2 и ТЛ-1. Эффективность использования этих приборов заключается в том,

подключается к прибору и запускается гиromотор. По истечении 5—7 мин прибор готов к работе.

Далее наведением зрительной трубы на вторую точку прибор ориентируется по створу. Вращением рукоятки аретирного устройства 9 на горизонтальном лимбе (картушке) устанавливается отсчет, соответствующий дирекционному углу известного направления. Затем гироскоп разарретируется выдвижением рукоятки аретира до фиксации. На этом подготовительная работа заканчивается и можно приступать к измерениям.

Принципиальное устройство и конструкция прибора позволяют работать с ним по различным схемам: ориентирование выработок с самостоятельным определением дирекционных углов станов; прокладка висячих и замкнутых полигонных ходов; изолированное безкоординатное ориентирование элементов горных выработок, скважин, трубопроводов, железнодорожных путей и др. Проведенные испытания и производственные измерения прибором ИНГ-2м показали его надежность, хорошую производительность и удовлетворительную точность. Например, в замкнутых полигонах, пройденных с помощью прибора на шахте им. Губкина, относительная линейная невязка не превышала 1/500, угловая невязка была также не более допустимой.

Техническая характеристика прибора ИНГ-2м

Пределы измерения азимута, градус	0—360
Пределы измерения вертикального угла, градус	0±90
Цена деления лимба горизонтального круга, градус	1
Цена деления вертикального круга, градус	1
Цена деления круглого уровня	10 ¹
Погрешность определения: азимута	±20'
угла наклона	±30'
Питание гиromотора	Трехфазный ток 36 В±10%, 400 Гц±10%
Источник электропитания	Аккумуляторная батарея 9КНГК-11
Продолжительность работы без замены или дозарядки батареи, ч	4
Мощность, потребляемая от аккумуляторной батареи, Вт: при запуске	35—40
при работе	10—12

Масса, кг:								3
измерительного устройства	.	.	.	.	.	.	.	4,3
блока электропитания	.	.	.	.	.	.	.
Размеры, мм:								
измерительного устройства	.	.	.	.	.	.	.	150×170×145
блока электропитания	.	.	.	.	.	.	.	115×190×210
Условия эксплуатации:								
готовность к работе после запуска гиromотора, мин	.	.	.	.	.	.	.	5
температурный диапазон работы, °С:								
измерительного устройства	.	.	.	.	.	.	.	От +50 до —60
блока питания	.	.	.	.	.	.	.	От 0 до +35
допустимый наклон измерительного устройства (маятниковость), градус	.	.	.	.	.	.	.	До 15

При создании съемочного обоснования для съемки недоступных пустот прибором ИНГ-2м можно прокладывать ходы или производить ориентировку подэтажных выработок. В последнем случае координаты можно передать любым известным упрощенным способом с низкой точностью ($\pm 0,10 \div 0,20$ см).

§ 32. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ СЪЕМКИ НЕДОСТУПНЫХ ПУСТОТ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Анализируя различное положение тахеометра относительно снимаемых недоступных обнажений, можно заметить, что точность определения координат точек обнажений не в одинаковой степени зависит от точности измерения расстояний. При производстве съемки снимаемая поверхность камеры (поверхность между камерных, межпанельных целиков и потолочин) будет под различными углами ориентирована к визирному лучу. При измерении наклонной линии «точка стояния тахеометра — точка визирования» на точность определения положения недоступной поверхности окажет влияние не только точность определения расстояний, а и тот угол, под которым проецируется световая марка на стенку камеры, т. е. угол встречи визирного луча и снимаемой поверхности. Как видно из рис. 56, измеряемая наклонная линия может находиться под различными углами к

плоскостям целика и решающее влияние на точность определения положения окажет не погрешность определения расстояния $\pm f$, а величина $\pm m$, т. е. перпендикуляр, опущенный с точки, обозначающей конец измеренной наклонной линии без учета абсолютной ошибки измерения [59].

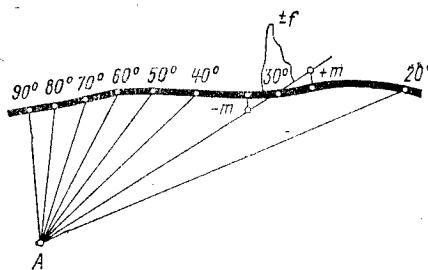


Рис. 56. К выводу поправки определения положения пикетов в вертикальной плоскости

При съемке точек потолочин очистных камер на точность их определения будет влиять угол встречи, лежащий в вертикальной плоскости (рис. 56). В этом случае погрешность определения точек снимаемой поверхности можно найти из выражения

$$m_{\text{п}} = \pm fl \sin \alpha, \quad (70)$$

где f — относительная ошибка измерения расстояний; l — наклонная измеренная длина; α — угол, заключенный между направлением визирного луча и снимаемой поверхностью в вертикальной плоскости.

При съемке целиков очистных камер точность их определения будет зависеть от углов встречи, лежащих в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 57). На рисунке показано: P — плоскость целика, O — точка встречи визирного луча с плоскостью целика, линия RR_1 — линия пересечения плоскости целика и вертикальной плоскости, проходящей через визирный луч.

Из треугольника ONK следует

$$Nkm' = \pm f \cos \delta, \quad (71)$$

где δ — измеренный вертикальный угол.

Из рис. 57 получим

$$m = \pm m' \sin \beta, \quad (72)$$

где β — угол между направлением визирного луча и снимаемой поверхностью в горизонтальной плоскости.

Тогда погрешность в определении положения точек поверхностей определяется из выражения

$$m_{\text{п}} = \pm f \cos \delta \sin \beta. \quad (73)$$

Была исследована зависимость $m_{\text{п}}$ и $m_{\text{ц}}$ от изменения вертикального и горизонтального углов встречи.

Согласно формуле (70), при съемке потолочины очистных камер величина ошибки возрастает с увеличением α . Особенно это заметно при съемке плоских потолочин.

Анализируя формулу (73), видим, что $m_{\text{п}}$ не в равной степени зависит от значений δ и β . Было проведено аналитическое исследование этой зависимости. Поскольку при съемке камер визирование в вертикальной плоскости происходит в диапазоне $0 \pm 50^\circ$, а горизонтальные углы измеряются в секторе 150° , то исследования ограничились следующими значениями углов: $\delta = 0 \div 50^\circ$, $\beta = 0 \div 90^\circ$.

При исследовании погрешность измерения расстояний принималась равной 1:200. Длина измеряемых расстояний составляла 50 м. Предполагалось, что длина визирной линии при измерении угла оставалась постоянной.

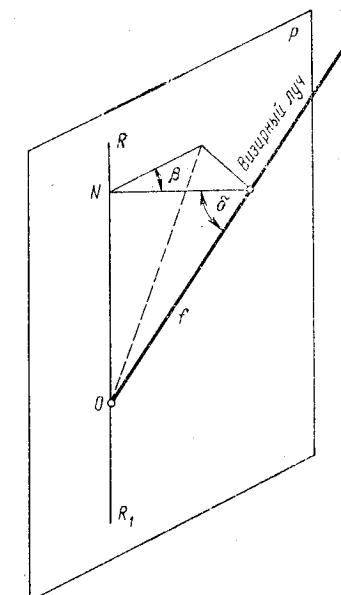


Рис. 57. К выводу поправки определения положения пикетов в горизонтальной плоскости

Анализ вычисленных значений m_d показал, что самые большие погрешности получаются при изменении от 90° до 50° и угла δ — от 0 до 30° .

Для обеспечения полноты съемки нельзя ограничиться лишь определенными углами визирования, поэтому положение точек на поверхности камеры будет определено с неодинаковой точностью.

Анализ формул (70) и (73) показывает, что погрешность измерения углов будет заметно сказываться на определение полярных координат. В некоторых работах указывается, что измерение полярных углов с точностью не ниже $\pm 10'$ во всех случаях не окажет существенного влияния на точность определения точек недоступного пространства [1].

Однако эти положения справедливы только для приборов, обеспечивающих точность в измерении расстояний $\frac{1}{100}$ и ниже. Тахеометры, обеспечивающие большую точность измерения расстояний, должны обеспечивать и большую точность измерения углов, в противном случае ошибки в измерении углов будут сказываться на точности определения координат больше, чем в измерении длин, т. е. требования к точности измерения полярных углов должны соответствовать требованиям к точности измерения расстояний. Так, прибор ТБЛ-2 обеспечивает точность измерения расстояний $\frac{1}{500}$, а прибор ТЛ-1 — $\frac{1}{200}$. Установлено, что при съемке очистных камер прибором ТБЛ-2 необходимо измерять полярные углы с точностью $5'$, а при съемке прибором ТЛ-1 — не ниже $10'$.

§ 33. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СЪЕМКЕ ПОДЗЕМНЫХ НЕДОСТУПНЫХ ПУСТОТ¹

При организации и производстве съемочных работ необходимо соблюдение правил безопасности для условий предприятия, на котором выполняются работы.

¹ § 33 написан совместно с Д. К. Льяченко, В. А. Сazonовым и Д. И. Сосик.

Однако часто возникают требования по безопасности работ, являющиеся следствием специфики комплекса работ по съемке недоступных пустот или применяемой для этого аппаратуры. Так, при работе с электроаппаратурой необходимо знать и соблюдать правила обращения с ней. Подключение электроаппаратуры к силовой или осветительной сети рудника выполняется специалистом электромеханической службы.

До размещения оборудования в подходной выработке необходимо убедиться в том, что она не подработана, что примыкающая к выработке стена камеры не имеет вывалов, заколов и других нарушений. Во всех случаях инструмент следует устанавливать не ближе 1,0—1,5 м от стенки камеры. Непременным условием работ в подходной выработке, имеющей выход в камеру, является наличие у каждого исполнителя работ монтажного пояса. Карабин пояса должен закрепляться к тросу, один конец которого должен прочно крепиться в выработке не ближе 10 м от края камеры. В любой момент съемочных работ в подходной выработке должно находиться минимальное число людей, но не менее двух.

При съемке камеры одновременно с двух противоположных подходных выработок каждой съемочной группе необходимо следить за тем, чтобы луч осветителя, особенно лазера, не попадал в подходную выработку другой группы. Между съемочными группами должна быть выработана четкая и надежная звуковая или световая связь и сигнализация. При работе в подходной выработке нельзя бросать камни или другие предметы в камеру, даже если она нерабочая.

Если точное местоположение пустоты неизвестно, то следует найти ее. Вначале, на основании графических или других материалов устанавливают вероятный район (участок) ее расположения. Затем с помощью одного из геофизических методов осуществляют ее обнаружение и, если возможно, приближенное оконтуривание.

Среди геофизических наиболее эффективными для решения этой задачи являются электрометрический, гравитационный и звукометрический (акустический) методы.

Электрометрический метод основан на зависимости удельного электрического сопротивления горных пород

от их нарушенности. Методика электрометрических измерений заключается в следующем: через электроды A и B пропускается в землю ток I , а с помощью электродов M и N измеряется возникающая разность потенциалов ΔU . В зависимости от условий и задач могут применяться установки симметричного вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), дипольно-осевые (ДОЗ) и дипольно-экваториальные (ДЭЗ) установки.

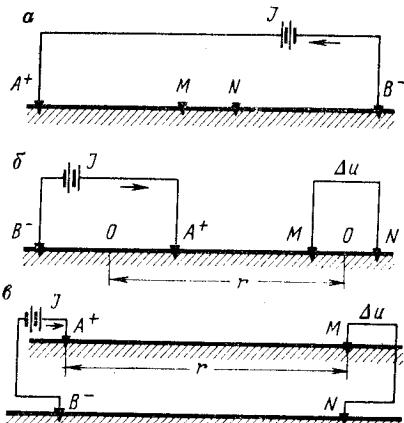


Рис. 58. Схемы метода электрометрии:
а — схема установки симметричного вертикального электроздонирования (ВЭЗ); б — схема дипольно-осевой установки (ДОЗ); в — схема дипольно-экваториальной установки (ДЭЗ).

отличающиеся взаимным расположением электродов A , B , M и N (рис. 58). Удельное электрическое сопротивление однородной среды ρ , на поверхности которой расположена установка, определяется из выражения

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} k, \quad (74)$$

где k — коэффициент установки, зависящий от расстояния между электродами.

Так как среда неоднородна, то в результате вычислений получится некоторая условная величина, имеющая размерность удельного электрического сопротивления и являющаяся сложной функцией от истинных удельных сопротивлений компонент среды. Ее называ-

ют кажущимся удельным электрическим сопротивлением ρ_k . В общем случае

$$\rho_k = \frac{\Delta U}{I} k. \quad (75)$$

Изменяя расстояния между питающими электродами A и B установки ВЭЗ или расстояния между питающим и приемным диполями r установок ДЭЗ и ДОЗ (см. рис. 58), можно получить информацию о значениях ρ_k на различной глубине. Измерения можно проводить серийной выпускаемой аппаратурой ИКС-1, ИКС-50 или комплексом аппаратуры РЭУ-5, разработанной ВИОГЕМом.

При обрушении в массиве будет происходить разрушение пород вышележащей толщи, что вызовет изменение кажущегося удельного электросопротивления. Лабораторными исследованиями на грунте и на водной среде установлено, что обрушение над пустотой вызывает значительные изменения удельного сопротивления, причем с приближением пустоты к поверхности ρ_k возрастает очень резко.

Часто, например в бортах или под дном карьеров, наблюдения приходится вести в течение длительного времени, чтобы проследить за возможным развитием пустот (за обрушением кровли, висячего бока камер и т. д.). В этом случае необходимо знать изменение значения ρ_k во времени. Исследованиями установлено, что ρ_k горных пород при стабильных внешних условиях практически постоянно и изменяется только в результате затяжных дождей. Причем, влияние их оказывается лишь до глубины не более 0,8 м даже при отсутствии насосов.

Электрометрический метод применим для обнаружения пустот как из подземных горных выработок, так и с земной поверхности или с уступов карьера. Метод позволяет вести поиск как в вертикальном, так и горизонтальном направлении.

Гравиметрический метод пригоден для обнаружения пустот лишь в вертикальном направлении. Способ основан на различии плотности пород вокруг пустоты и плотности среды-заполнителя самой пустоты. Метод этот широко применяется в поисковой геофизике.

Применительно к нашей задаче измерения выполня-

ются по следующей схеме. Над районом возможной пустоты разбиваются поперечные профили, в отдельных точках которых измеряется гравиметрами сила тяжести. Далее по вычисленным аномальным значениям силы тяжести Δg в редукции Буге строятся графики вторых производных гравитационного потенциала w_{xz} и w_{zz} .

Определение контуров пустот проводится по экстремальным значениям кривой w_{xz} (дефект масс) и по точкам перегиба кривой w_{zz} . Эти характерные точки определяются непосредственно по графикам вторых производных.

Контуры пустот с помощью гравиметрической съемки определяются с точностью 5—10 м, что достаточно удовлетворительно с точки зрения ее обнаружения, так как уточнение пустоты после любого геофизического метода следует производить бурением скважин.

Акустический метод поиска пустот получил довольно широкое развитие благодаря большей надежности в сравнении с другими геофизическими методами. Поэтому он может быть рекомендован как один из основных методов поиска пустот с земной поверхности или из подземной выработки. Основан метод на принципе отражения звуковых волн от границы раздела двух сред. Поскольку в массиве горных пород параметры звуковых волн искажаются многими факторами (трещиноватость, литологическая неоднородность и др.), то для получения качественных результатов звуколокации подземных пустот (камер) важное значение имеет выбор соответствующей частоты колебаний. Работами НИГРИ, ВНИМИ, ВИТРА и ЛФМИ было установлено, что оптимальная частота колебаний составляет 6—8 кГц.

В 1958 г. во ВНИМИ был изготовлен макет установки с использованием блоков эхолота НЭЛ-4. Макетом прозвучивались целики мощностью до 15 м. Отраженный сигнал через целик от границы раздела «порода — воздух» был получен на расстоянии до 12,5 м. ВНИМИ проводились также измерения на частоте 21,3 кГц в солях. Были получены отраженные сигналы от поверхности горной выработки, удаленной на 41 м. ЛФМИ производилось прозвучивание целиков до 200 м на частотах до 10 кГц. В 1970 г. ВИОГЕМом был разработан локатор акустический рудничный (ЛАР-1), дальность действия которого составляет 20—30 м. Ло-

катором с такой дальностью действия можно производить обнаружение подземных пустот, находящихся под действующим карьером.

Основным в проведении поиска пустот является получение сканирующего узкого пучка колебаний. Это можно достичь двумя путями:

1) неподвижным закреплением вибратора на поверхности горных пород при управлении его направленным действием;

2) осуществлением такого акустического контакта, при котором направленный пучок колебаний поворачивается вместе с вибратором.

При первом варианте усложняется электрическая схема питания вибратора при большой трудности обеспечения качественного контактирования вибратора с горными породами. Контактирование электроакустических преобразователей со средой, и в частности с породами, является важным и сложным вопросом. Сложность заключается в том, что любые малейшие неоднородности контакта влекут за собой изменение интенсивности вводимых в среду сигналов.

Неоднократные попытки тщательной шлифовки поверхности горных пород показали, что основной недостаток при этом заключается в большой трудоемкости процесса шлифовки. Применение различного рода прижимных устройств усложняет конструкцию прибора. С учетом этого при измерениях ЛАР-1 был выбран второй способ. В качестве контактного материала применяется вода.

Область применения ЛАР-1 охватывает геологические типы пород со сравнительно однородными акустическими свойствами. Сюда относятся главным образом известняки, неокисленные кварциты, каменная соль, доломиты и др.

В основу действия установки положено явление отражения упругих колебаний в массиве горных пород при нарушении его сплошности. Функционально установка состоит из двух блоков: импульсного генератора и малогабаритного осциллографа, питающихся от автономного источника тока напряжением 24 В (рис. 59).

Электрические импульсы с импульсного генератора (ИГ) подаются на вибратор (В), в результате чего вибратор излучает упругие колебания, посыпаемые в мас-

сив. Для изменения направления посылаемых колебаний вибратор крепится в поворотном устройстве, позволяющем перемещать его в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Отраженный от неоднородности акустический сигнал принимается пьезодатчиком (П), который преобразует его в сигнал электрический, усиливающийся автономным предусилителем (ПУ).

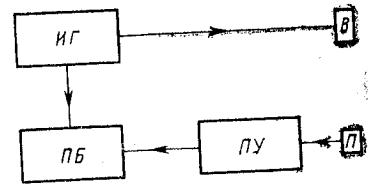


Рис. 59. Блок-схема установки ЛАР-1

По величине скорости волн в породе и времени распространения отраженных импульсов определяется расстояние до неоднородности, а с помощью поворотного устройства — направление на нее.

На рис. 60 приведен прибор установки ЛАР-1. Автоматический источник питания не показан.

Для работы с установкой ЛАР-1 требуется два человека (техник и рабочий). Продолжительность цикла измерений в забое около 1,5 ч.

Техническая характеристика установки ЛАР-1

Выходная электрическая мощность генератора в импульсном режиме, Вт	200 100
Потребляемая электрическая мощность генератора, Вт	10—40
Рабочий диапазон частот генератора, кГц	10
Частота повторения зондирующих импульсов	15; 100;
Длительность зондирующих импульсов, мс	250; 500; 750 и 1000

Разрешающая способность:	
по дальности, м	0,3
по углу, градус	2,5
Ток подмагничивания, А	9
Дальность действия, м	25÷30
Приемник-пьезодатчик, кГц	80; 150
Излучатель — магнитострикционные вибраторы, кГц	21,5; 24,7
Масса рабочего комплекта ЛАР-1, кг:	

осциллограф	9
импульсный генератор	19
преобразователь магнитострикционный	1,5
пьезодатчики	0,2
поворотное устройство	5
усилитель предварительный	0,5
	35,2

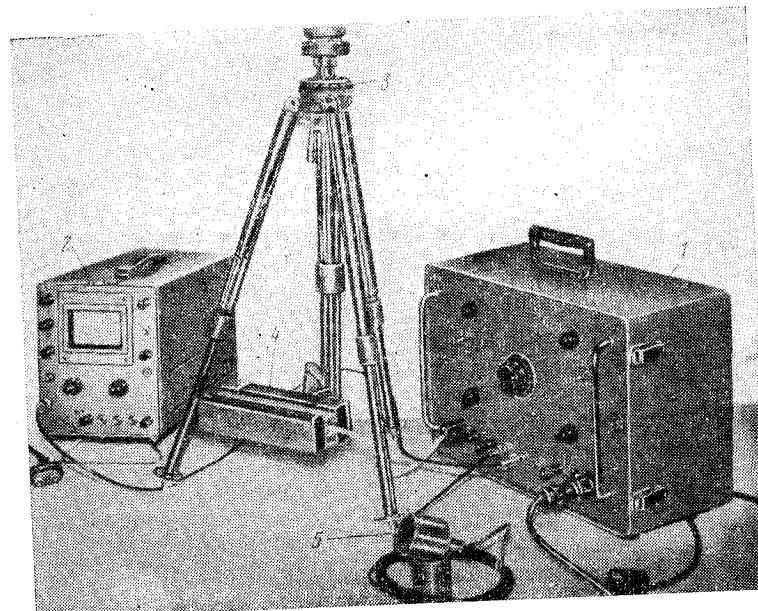


Рис. 60. Комплект аппаратуры ЛАР-1:
1 — генератор; 2 — осциллограф С-1-49; 3 — поворотное устройство; 4 — излучатель; 5 — приемный датчик

Порядок проведения измерений с помощью установки ЛАР-1 заключается в следующем. Подбираются не менее четырех точек монолитной толщи пород без сколов и трещин. Если таких точек нет или число их недостаточно, необходимо снять часть породы для получения доступа к монолитным участкам.

Место контактирования приемного элемента с породой (6×6 см) очищается от пыли и грязи и подбирает-

ся так, чтобы поверхность в месте контактирования была сравнительно ровной. Затем поверхность смазывается пластилином и к ней с усилием 5—7 кгс прижимается приемный датчик. Если породы влажные и пластилин не обеспечивает прочного удержания датчика, то перед нанесением пластилина их поверхность подсушивается струей сжатого воздуха или каким-либо источником тепла.

Для создания гидроакустического контакта вибратора с породой необходимо приготовить углубление так, чтобы поверхность монолитной части пород являлась дном или одной из внутренних стенок резервуара.

Поверхность пород в том месте, где изготавливается приямок, доводится до сферической с помощью отбойного молотка. Радиус сферы приближенно делается равным 0,3—0,5 м. Для ускорения сооружения приямка можно изготовить шаблон. Сферическую поверхность можно изготовить также покрытием породы слоем цемента.

Если на поверхности имеется слой воды, то для обеспечения контакта необходимо лишь очистить место в воде у монолитной, желательно вогнутой части пород и установить поворотное устройство с излучателем.

После изготовления приямка в журнал заносят отклонения всех точек установки приемного датчика от плоскости, проходящей через точки расположения вибратора.

Если вода была залита в приямок менее чем за 5 ч до измерения, то для удаления пузырьков воздуха, наличие которых ведет к большому ослаблению энергии проходящих сигналов, желательно насыпать в приямок 100 г едкого натрия или едкого калия.

Первый этап измерений — определение скорости¹ продольной волны в породе на данном участке.

Эту работу целесообразно выполнить методом прозвучивания толщи пород в несколько метров (целике), имеющей подходы к обеим противоположным стенкам. При измерениях первого этапа вступление продольной волны должно определяться четко, для чего излучающий и приемный элементы по возможности устанавливаются

¹ Эта операция может выполняться и после локации неоднородностей.

ваются таким образом, чтобы их оси находились приблизительно на одной прямой. Контактирование датчиков с породами осуществляется с помощью слоя пластилина не более 1—2 мм.

При отсутствии подходящего места для прозвучивания пород в массиве определение скорости продольных волн производится по образцам, а также по прозвучиванию вдоль поверхности пород. В этом случае излучающий датчик подсоединяется к клеммам блока вибратора «Выход». Для этого отбирается несколько образцов и каждый из них прозвучивается по нескольким направлениям. Время пришедшего сигнала регистрируется по первому вступлению. Измерения проводятся два-три раза для каждого образца. Скорость определяется по формуле

$$c = \frac{L}{t}, \quad (76)$$

где L — расстояние между излучателем и приемником (м), измеренное при помощи рулетки с точностью 0,005 м; t — время прихода сигнала, с.

Средняя скорость в образцах определяется как среднее арифметическое значение всех полученных значений скоростей

$$c_{\text{ср}} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_n}{n}. \quad (77)$$

Затем приступают к локации пустот. На поверхности обнажения пород устанавливают вибратор, который должен быть расположен так, чтобы его излучающая поверхность была в горизонтальной плоскости и находилась в 5—7 см от поверхности пород или цемента, если им покрыта порода. Сначала широкая часть вибратора, соответствующая узкой диаграмме направленности, должна располагаться горизонтально, а в вертикальной плоскости ось вибратора повернута вниз на 30°.

Измерения проводятся следующим образом. При положениях вибратора через каждые 10° по отсчету на лимбе поворотного устройства в горизонтальной плоскости вращения производится плавное изменение частоты задающего генератора от 10 до 40 кГц. Оптимальный

участок рабочих частот, соответствующий лучшему поглощению колебаний в породах, можно находить наибольшей заполненности линии развертки осциллографа импульсами различной формы. В начале развертки на экране осциллографа располагается прямой сигнал, пришедший по поверхности породы. Этот сигнал не несет в себе никакой информации о нахождении неоднородностей в массиве. Гашение прямого сигнала в полевых условиях практически исключено. Кроме этого, сигналы на экране могут присутствовать сигналы, приходящие по воздуху. Для гашения этих сигналов, которые могут быть ошибочно приняты за отраженные, необходимо на пути излучатель — приемник расположить экран, поглощающий эти волны. При этом сигналы проходящие по воздуху, значительно уменьшаются.

Время прихода самых дальних (от начала развертки) импульсов заносится в таблицу измерений. При измерении временного интервала необходимо помнить, что точность измерения повышается при увеличении длины измеряемого расстояния на электронно-лучевой трубке, поэтому при измерениях необходимо выбирать рабочую длительность таким образом, чтобы сигналы находились в пределах возможно большей длины развертки.

Когда вибратор займет крайнее положение, соответствующее максимальному значению угла в горизонтальной плоскости, измерения на данной точке заканчиваются, а приемный элемент переносится на следующую из четырех точек, и цикл измерений повторяется.

Если во время измерений зарегистрировано несколько импульсов с одинаковыми временами прихода на разных точках стояния приемного элемента, то необходимо сравнить азимуты оси вибратора, соответствующие максимальной амплитуде импульсов на разных стоянках приемного элемента. Если различие азимутов находится в пределах 5—10°, то зарегистрированные импульсы считаются отраженными сигналами. После этого производится регистрация полученных отраженных сигналов при вертикальном положении большой оси излучающей поверхности вибратора и изменении угла склонения при азимуте, соответствующем максимальному значению отражающих сигналов в вертикальной плоскости. Таким образом находится угол склонения. По двум углам и времени распространения отраженного

сигнала получаются угловые координаты и расстояние до отражающего объекта. Расстояние определяется по формуле

$$L = \frac{ct_{\text{отр}}}{2}, \text{ м.} \quad (78)$$

При отсчете времени $t_{\text{отр}}$ по экрану осциллографа необходимо внести поправку за счет задержки импульса в воде, так как скорость в воде в 2—3 раза меньше скорости в скальных горных породах. Величина поправки

$$\Delta t = \frac{d}{1500}, \quad (79)$$

где d — расстояние между вибратором и стенкой выработки (путь волны в воде), м.

Для нахождения пустот можно также использовать аппаратуру ГАС-1 (геоакустическая станция), разработанную ЛФМИ (г. Львов). Разработка опытных образцов ГАС и ее промышленные испытания проводятся ВИОГЕМом в содружестве с ЛОП АН УССР.

С помощью аппаратуры ГАС можно производить поиск и оконтуривание пустот размерами 10 м и более. Эта установка предназначена для работы в основном способом акустического прозвучивания массива пород до 200 м между горными выработками или между выработкой и скважиной. Оконтуривание пустот производится методом тени.

При соответствующих условиях данный способ реализуется размещением акустических элементов — излучателя и приемника соответственно в подземной горной выработке и на дневной поверхности в карьере.

Преимуществом данной аппаратуры является возможность проводить измерения в механически слабых, трещиноватых и неоднородных горных породах.

Ранее отмечалось, что при поиске и съемке недоступных подземных пустот важным является обеспечение безопасности работ вследствие оставления предохранительного целика между пустотой и точкой нахождения людей и оборудования. Особенно это относится к

случаю, когда пустоты обнаруживаются и снимаются через скважину или восстающий в кровле, например при совместной разработке месторождений открытым и подземным способами. Толщина такого целика должна быть достаточной для обеспечения устойчивости его с учетом нагрузки от находящихся там механизмов. Поэтому перед началом поисковых или съемочных работ необходимо убедиться, что толщина целика соответствует требуемой, т. е. допустимой по устойчивости и несущей способности. Для этого сравнивают фактическую толщину целика с расчетной.

При расчете допустимой толщины потолочного целика следует различать два случая: 1) потолочный целик над одиночной пустотой; 3) потолочный целик над группой камер (пустот).

Расчет потолочного целика над одиночной камерой можно производить в следующем порядке.

Известно, что допустимые обнажения горных пород в кровле камеры и толщина потолочки являются величинами, взаимно зависимыми. Поэтому для расчета необходимо установить (или оценить) горизонтальные размеры камеры (кровли) из определений и документации при ее отбойке, из глазомерной съемки или каким-либо косвенным путем.

Многочисленными исследованиями и производственными наблюдениями установлено, что потолочка камеры при расчетах может рассматриваться как плита, защемленная по контуру и нагруженная равномерно распределенным вертикальным усилием, обусловленным весом потолочки. В результате решения такой задачи получено выражение для определения толщины потолочного целика

$$h_{\text{п}} = \frac{\beta \gamma a^2 k_c}{\sigma_{\text{max}}}, \quad (80)$$

где β — коэффициент, зависящий от соотношения сторон потолочки, определяемый по приведенной ниже таблице (b — длинная сторона кровли камеры); γ — плотность пород потолочки; a — короткая сторона (пролет) кровли; k_c — коэффициент сейсмического воздействия взрывов; σ_{max} — допустимая прочность пород

потолочки на изгиб или растяжение.

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sigma_p}{P\lambda}, \quad (81)$$

где P — запас прочности; λ — коэффициент структурного ослабления.

Расчет толщины потолочного целика над группой камер с междукамерными целиками можно производить по следующей методике.

Рассматривается случай, когда камеры располагаются на значительной горизонтальной площади (рис. 61). Причем ввиду ограниченной длины камер и целиков задачу нельзя свести к плоской. Поэтому в качестве расчетной для определения допустимой толщины потолочного целика принята схема расчета на изгиб свободно опирающейся по контуру прямоугольной плиты, нагруженной равномерной поперечной (вертикальной) нагрузкой и лежащей на упругом основании, роль которого выполняет система междукамерных и панельных целиков.

Общее дифференциальное уравнение изгиба прямоугольной плиты в принятой системе координат имеет вид

$$\nabla^2 \nabla^2 w = \frac{q}{D} - \frac{k_w}{D}, \quad (82)$$

где ∇^2 — оператор Лапласа; q — равномерная поперечная нагрузка, $\text{кгс}/\text{см}^2$; D — цилиндрическая жесткость, $\text{кгс}/\text{см}$,

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)};$$

E — модуль упругости пород, $\text{кгс}/\text{см}^2$;

h — толщина потолочки, см; ν — коэффициент Пуассона;

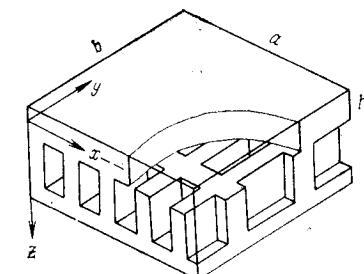


Рис. 61. Схема к расчету потолочного целика над группой камер:

h — толщина потолочки; a и b — горизонтальные размеры участка

k — коэффициент постели, кг/см³,

$$k = \frac{E}{h_{\text{ц}}(1-\nu)} \lambda;$$

$h_{\text{ц}}$ — высота целиков, см; λ — коэффициент потерь на целики;

$$\lambda = 1 - \frac{cd}{(c+\delta)(d+\delta)};$$

c и d — длина и ширина камер, см; δ — толщина опорных целиков, см.

Решая это уравнение, можно получить необходимые расчетные формулы для определения прогибов и напряжений, которые имеют следующий вид:

$$W = \frac{16q}{\pi^6 D} \sum_m^{\infty} \sum_n^{\infty} \frac{1}{mn \left[\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 + f \right]} \times \\ \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \quad (83)$$

$$\sigma_x = \frac{192qz}{\pi^4 h^3} \sum_m^{\infty} \sum_n^{\infty} \frac{\left(\frac{m}{na^2} + \nu \frac{n}{mb^2} \right)}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) + f} \times \\ \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b};$$

$$\sigma_y = \frac{192qz}{\pi^4 h^3} \sum_m^{\infty} \sum_n^{\infty} \frac{\left(\frac{n}{mb^2} + \nu \frac{m}{na^2} \right)}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) + f} \times \\ \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (84)$$

где a и b — характерные размеры потолочины; $m, n = 1, 3, 5\dots$

$$f = \frac{k}{\pi^4 D} = \frac{12}{\pi^4 h^3 h_{\text{ц}}} \lambda.$$

Подставив соответствующие конкретным условиям значения величин, входящих в эти формулы, можно получить значение максимальных перемещений (прогибов) и напряжений в потолочине. Сравнивая затем полученные значения w, σ_x и σ_y с допустимыми их значениями, судят о состоянии потолочного целика, т. е. о возможности работы на нем людей и механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеховцов Г. А. Обоснование необходимой точности маркшейдерской съемки очистных камер при разработке мощных крутопадающих залежей. — В кн.: Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ, сб. № 63. Л., изд. ВНИМИ, 1967, с. 97—112.
2. Гаврилов Б. К. Методика и точность маркшейдерских съемок на разрезах. — В кн.: Вопросы рационализации маркшейдерской службы на горных предприятиях, вып. 46. Свердловск, изд. Свердловского горного института им. В. В. Вахрушева, 1966, с. 193—211.
3. Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ. М., «Недра», 1971. 359 с.
4. Контроль за устойчивостью обнажений в камерах на шахте им. Губкина. — В кн.: Материалы научно-технической конференции по обмену опытом. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1973, репрессии по обмену опытом. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1973, с. 221—224. Авт.: Д. М. Казикаев, В. Я. Анцибор, И. Т. Родзевилло, П. Ф. Семенов.
5. Пешков В. И. Маркшейдерская съемка очистных камер на руднике «Маяк». — «Горный журнал», 1970, № 9, с. 54—58.
6. Чухрай И. Ф. Прибор для маркшейдерской съемки недоступных подземных пустот. — «Колыма», 1972, № 11, с. 23—25.
7. Маркшейдерское дело. М., Металлургиздат, 1958. 463 с. Авт.: П. А. Рыжов, В. А. Букринский, В. М. Гудков и др.
8. Торский П. Н. Борьба с рудничной пылью. М., Металлургиздат, 1961. 296 с.
9. Шеховцов Г. А. Ослабление светового потока в запыленном воздухе и при отражении от горных пород. — В кн.: Исследования по горному делу. Пермь, изд. Пермского политехнического института, 1968, с. 67—69.

10. Паршин Я. Д. Динамика запыленности вентиляционных потоков в шахтах Криворожского бассейна. — В кн.: Вентиляция и очистка воздуха, вып. 2. М., «Недра», 1969, с. 40—45.
11. Торский П. Н., Волохов М. И., Кекин А. А. Повышение эффективности мокрого бурения. — «Горный журнал», 1949, № 1, с. 45—46.
12. Попов В. А. Лазерные устройства при проведении горных выработок. — «Уголь Украины», 1970, № 12, с. 71—72.
13. Опыт и перспективы применения газовых лазеров в маркшейдерском деле и инженерной геодезии. — В кн.: Задачи маркшейдерской службы в осуществлении научно-технического прогресса в горнодобывающей промышленности. М., изд. МГИ, 1974, с. 158—161. Авт.: В. Я. Анцибор, Л. М. Тригер, М. В. Овденко, Ю. В. Беззубов.
14. Некоторые применения газовых лазеров. М., «Знание», 1970. 47 с. Авт.: В. П. Беляев, И. И. Девяткин, В. Ф. Мартынов, А. С. Федоров.
15. Загороднюк В. Т., Глебов Н. А., Шабельников В. Т. Испытание системы автоматического контроля с использованием луча лазера для направленного движения машин. — «Горный журнал», 1969, № 9, с. 73—74.
16. Казикаев Д. М., Анцибор В. Я., Суржин Г. Г. ТБЛ — новый прибор для съемки недоступных пустот. — «Горный журнал», 1971, № 10, с. 63—64.
17. Казикаев Д. М., Анцибор В. Я. Использование лазеров в светопроекционных тахеометрах. — В кн.: Использование оптических квантовых генераторов в современной технике, ч. II. Л., Изд. ЛДНТП, 1971, с. 40—43.
18. Казикаев Д. М., Анцибор В. Я., Овденко М. В. Разработки ВИОГЕМ для съемки недоступных пустот. — В кн.: Новая техника при производстве маркшейдерских работ. Л., Изд. ВНИМИ, 1972, с. 45—46.
19. Букринский В. А., Анцибор В. Я., Казикаев Д. М. Использование ОКГ для съемки недоступных обнажений горных пород в подземных условиях. — В кн.: Совершенствование методов маркшейдерских работ и геометризация недр. М., «Недра», 1972, с. 14—23.
20. Зуев В. Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М., «Советское радио», 1970. 495 с.

21. Ищенко Е. В., Климков Ю. М. Оптические квадратные генераторы. — М., «Советское радио», 1968. 472 с.
22. Анцибор В. Я., Оводенко М. В. Особенности использования лазеров в проекционных приборах. — В кн.: Материалы научно-технической конференции по обмену опытом. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1973, с. 252—254.
23. Дичберн Р. Физическая оптика. М., «Наука», 1963. 632 с.
24. Съемка незакрепленных горных выработок большого сечения с применением новых оптико-механических, фотограмметрических и ультразвуковых приборов. — «Горный журнал», 1974, № 1, с. 51—54. Авт.: И. И. Павлов, Н. Н. Николаев, Г. В. Васильев и др.
25. Лейбенсон Б. И. О применении ультразвука для маркшейдерских измерений. — В кн.: Труды Всесоюзного научно-технического совещания по маркшейдерскому делу. М., Углетеиздат, 1958, с. 491—498.
26. Казаковский Д. А., Руднев Л. Н., Прудов И. А. Разработка и внедрение звуколокационного метода маркшейдерской съемки горных выработок. — В кн.: Материалы V научно-технической конференции института ВИОГЕМ, ч. III. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1971, с. 250—254.
27. Звуколокационная съемка горных выработок. М., «Недра», 1973. 248 с. Авт.: Д. А. Казаковский, А. А. Гурич, Г. А. Кротов и др.
28. Руднев Л. Н. Звуколокационная съемка рудоспусков Алтын-Топканского рудоуправления. — В кн.: Труды ВНИМИ, сб. № 50. Л., изд. ВНИМИ, 1963, с. 344—354.
29. Терентьев С. М., Прудов И. А., Пасюгин Н. И. Опыт применения новых приборов для съемки недоступных пустот на Текелийском руднике. — В кн.: Совершенствование геологомаркшейдерской службы на предприятиях цветной металлургии. М., изд. «Цветметинформация», 1971, с. 13—22.
30. Руднев Л. Н., Шеховцов Г. А. Состояние и возможные пути развития маркшейдерских методов съемки недоступных очистных камер. — В кн.: Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ. Л., изд. ВНИМИ, 1966, с. 241—258.
31. Аранович В. Б., Гурич А. А., Чумак В. К. О дальности действия звуколокатора для маркшейдерской съемки шахтных стволов и технических скважин. Изв. вузов, «Горный журнал», 1967, № 6, с. 70—73.
32. Аранович В. Б., Чумак В. К. Ультразвуковой локатор «Донецк». Изв. вузов, «Горный журнал», 1970, № 11, с. 32—36.
33. Кротов Г. А. Маркшейдерская съемка очистных и нарезных горных выработок. М., Углетеиздат, 1956. 180 с.
34. Зубов В. М. Некоторый опыт разработки конструкций маркшейдерских приборов с элементами автоматического принципа действия. — В кн.: Труды научно-технического совещания по маркшейдерскому делу. М., Углетеиздат, 1958, с. 502—527.
35. Ким Г. Н. Способ съемки опорных целиков большой высоты. — В кн.: Труды института горного дела АН КазССР, т. 44, М., «Наука», 1970, с. 18—25.
36. Ким Г. Н. Съемка высоких камер светоугловыми засечками. — «Горный журнал», 1971, № 8, с. 60—69.
37. Гельман Д. З., Прошин Ф. Е., Лавриненко В. Ф. Маркшейдерские работы при выемке руды. М., Металлургиздат, 1959. 232 с.
38. Гусев Н. А. Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы. М., «Недра», 1968. 316 с.
39. Гусев Н. А. Маркшейдерско-геодезические приборы и инструментоведение. М., Углетеиздат, 1958. 522 с.
40. Федоров Б. Д. Маркшейдерско-геодезические инструменты. М., «Недра», 1971. 280 с.
41. Нестеренко Г. Т. Новые приборы для маркшейдерских работ на горнорудных предприятиях. — В кн.: Труды Всесоюзного научно-технического совещания по маркшейдерскому делу. М., Углетеиздат, 1958, с. 502—517.
42. Гусев Н. А. Способ съемки подземных пустот. — «Горный журнал», 1950, № 7, с. 25—27.
43. Применение прибора УДС для съемки, производящейся с целью определения потерь и разубоживания руды. — В кн.: Труды ВНИМИ, сб. XVIII. Л., изд. ВНИМИ, 1966. Авт.: М. И. Миронович, В. В. Смирнов, М. Д. Онищенко, А. Г. Холодов.
44. Разработка маркшейдерских оптикомеханических приборов во ВНИМИ. — В кн.: Геодезические работы в народном хозяйстве. М., ГИИ, 1968. 183

- зяйстве, сб. № 1. Л., 1971, с. 73—93. Авт.: Г. К. Бесчастный, М. И. Миронович, В. В. Смирнов, В. К. Шабак.
45. Грэйм И. А. Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. М., «Недра», 1971. 176 с.
46. Беляев Б. И. Стереофотограмметрическая съемка очистных камер в условиях Тырныауза. — Изв. вузов, «Горный журнал», 1965, № 9, с. 27—31.
47. Пашенко В. З. Радиоэлектроника в маркшейдерских и геодезических работах (радио- и светодальномеры). М., «Недра», 1968. 143 с.
48. Смирнов С. П. Дальность действия светолокатора для маркшейдерских работ. — В кн.: Методика и техника маркшейдерских работ. Л., изд. ВНИМИ, 1973, с. 127—131.
49. Дерягин В. Н., Баркалов С. С. Импульсно-фазовый светолокационный дальномер ГДФИ-1 с полупроводниковым излучателем. — «Оптикомеханическая промышленность», 1970, № 7, с. 23—25.
50. Съемка сечений подготовительных и очистных горных выработок с помощью прибора «Импульсный светопрофиль ФС.6». — В кн.: Методика и техника маркшейдерских работ. Л., изд. ВНИМИ, 1973, с. 97—102. Авт.: Н. Н. Николаев, И. И. Павлов, Г. В. Васильев, А. И. Колесников.
51. Ворковастов К. С. Фотоустановка для профилирования шахтных стволов. Бюллетень изобретений, № 7. М., изд. ЦБТИ, 1962. 53 с.
52. Ворковастов К. С. Профилирование вертикальных горных выработок. — «Горный журнал», 1963, № 3, с. 50—52.
53. Фотопланиметрический контроль за износом вертикальных рудоспусков на руднике «Молибден». — «Горный журнал», 1970, № 9, с. 56—58. Авт.: И. А. Остроушко, А. В. Скочков, В. А. Ярмизин, А. И. Коваль.
54. Руководство по съемке очистных и нарезных выработок. Л., изд. ВНИМИ, 1960. 167 с.
55. Анцибор В. Я., Оводенко М. В. Методические указания по маркшейдерской съемке недоступных подземных пустот инструментами типа ТЛ. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1973. 38 с.
56. Елисеев С. В. Геодезические инструменты и приборы. М., Геодезиздат, 1959. 477 с.
57. Анцибор В. Я., Оводенко М. В. Точность измерения расстояний прибором ТБЛ-2. — В кн.: Осушение месторождений, специальные горные работы, рудничная геология, маркшейдерское дело, вып. XIX. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1974, с. 145—149.
58. Сazonov V. A., Mojzerin V. M., Fadеev V. I. Опыт и перспективы применения новых методов в маркшейдерском деле. В сб. «Вопросы маркшейдерского дела», ч. II. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1969, с. 10—14.
59. Анцибор В. Я., Семенов Н. Ф. Факторы, влияющие на точность определения положения точек недоступных обнажений горных пород тахеометрическим способом. — В кн.: Материалы VIII научно-технической конференции по обмену опытом. Белгород, изд. ВИОГЕМ, 1974, с. 185—188.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<p>Предисловие</p> <p>Г л а в а I. Подземные недоступные пустоты</p> <ul style="list-style-type: none"> § 1. Виды подземных недоступных пустот и способы их образования 3 § 2. Классификация подземных недоступных пустот 5 § 3. Назначение съемки 11 § 4. Необходимая точность съемки поверхностей недоступных обнажений 16 <p>Г л а в а II. Особенности распространения электромагнитных и звуковых колебаний в рудничной атмосфере</p> <ul style="list-style-type: none"> § 5. Состав и свойства рудничной атмосферы 25 § 6. Разновидности колебаний, применяемых в приборах для съемки пустот 26 § 7. Применение радиоволн в приборах для съемки подземных пустот 29 § 8. Особенности использования волн оптического диапазона в приборах для съемки камер 37 § 9. Свойства лазерного излучения 40 § 10. Особенности распространения лазерного излучения в шахтной атмосфере 42 § 11. Отражение излучения от горных пород 48 § 12. Перспективы применения звуковых и электромагнитных колебаний для съемки подземных пустот 53 <p>Г л а в а III. Методы и приборы для съемки подземных пустот</p> <ul style="list-style-type: none"> § 13. Классификация методов съемки подземных пустот 56 § 14. Тахеометрический метод съемки подземных пустот 61 	<p>§ 15. Тахеометрическая съемка подземных пустот, основанная на способе угловых засечек 62</p> <p>§ 16. Тахеометрическая съемка очистных камер приборами с визуальными дальномерами двойного изображения 69</p> <p>§ 17. Использование проекционно-визуальных дальномеров в тахеометрах для съемки подземных пустот 80</p> <p>§ 18. Использование лазерного излучения в тахеометрах для съемки подземных пустот 87</p> <p>§ 19. Исследование возможности применения ОКГ в дальномерах с переменным параллактическим углом 99</p> <p>§ 20. Использование электронно-оптических дальномеров для измерения расстояний до недоступных объектов 105</p> <p>§ 21. Фотограмметрический метод съемки подземных пустот 107</p> <p>§ 22. Локационный метод маркшейдерской съемки подземных пустот 122</p> <p>§ 23. Звуколокационные приборы для съемки очистных камер 127</p> <p>§ 24. Разработка звуколокационных приборов для съемки пустот через буровую скважину 132</p> <p>§ 25. Применение звуколокации для измерений в промышленных рассолах, глинистой пульпе и других жидкостях 133</p> <p>§ 26. Применение радиолокационной станции РЛС для съемки очистных камер 139</p> <p>Г л а в а IV. Производство маркшейдерской съемки недоступных пустот</p> <ul style="list-style-type: none"> § 27. Организация съемки очистных камер на руднике 151 § 28. Организация работ при тахеометрической съемке недоступных пустот 152 § 29. Организация работ при съемке недоступных пустот через вертикальный канал в кровле 155 § 30. Организация работ при съемке воронок обрушения, провалов на поверхности 156
--	---

§ 31. Обеспечение съемочного обоснования при маркшейдерской съемки недоступных пустот на рудниках ¹	158
§ 32. Дополнительные факторы, влияющие на точность съемки недоступных пустот тахеометрическим способом	161
§ 33. Техника безопасности при съемке подземных недоступных пустот ¹	164
Список литературы	180

158

161

164

180

ИБ № 1822

Казикаев Джек Мубаракович
Анцибор Виталий Яковлевич

**Маркшейдерская съемка
пустот на рудниках**

Редактор издательства *Л. Ф. Тараканова*
Техн. редактор *Б. А. Ильгосова*
Обложка художника *А. Е. Чучканова*.
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*
Корректор *Л. В. Сметанина*

Сдано в набор 1/XII 1976 г. Подписано в печать 5/III 1977 г.
Т-06011 Формат 84×108^{1/32}. Печ. л. 6,0 Усл. печ. л. 10,08
Уч.-изд. л. 10,04. Бумага № 2. Заказ № 1761'5804—9
Тираж 2700 экз. Цена 50 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

Уважаемый товарищ!

В издательстве «Недра»
готовятся к печати новые книги

ГАЛЬПЕРИН А. М., ШАФАРЕНКО Е. М. Реологические расчеты горнотехнических сооружений. 18 л. 1 р. 11 к.

В книге изложены основные принципы расчета параметров различных горнотехнических сооружений (вертикальных стволов, подземных емкостей, бортов глубоких карьеров, высоких насыпных «сухих» и гидравлических отвалов) с учетом изменения во времени свойств и состояния горных пород. Освещены вопросы теории деформируемости горных пород и приложения аналитических методов к решению практических задач при проектировании и эксплуатации горнотехнических сооружений.

Наряду с новыми расчетными методами дается их экспериментальное обоснование с использованием лабораторных данных и результатов натурных наблюдений на объектах КМА, Кузбасса, Никополь-Марганцевого бассейна.

Книга предназначена для инженерно-технических работников горных предприятий, научно-исследовательских и проектных институтов и факультетов.

ГУСТАФСОН Р. Шведская техника взрывных работ. Нора, 1973. Пер. с англ. под ред. докт. техн. наук Демидюка Г. П. 25 л. 2 р. 09 к.

В книге описаны свойства взрывчатых веществ и критерии их оценки. Рассмотрены средства и принадлежности для взрываия, взрывные машинки различной мощности, технология пневматического заряжания скважин патронированными, сыпучими и водосодержащими ВВ. Рассмотрены методы взрываия при открытой и подземной разработке, сооружений подземных нефтехранилищ, тоннелей, холодильников и выработок военного назначения, а также методы контурного и подводного взрываия. Приведены методические указания по проектированию взрывных работ и расчету зарядов, описаны методы и приборы для измерения сейсмоколебаний и воздушной ударной волны, а также вопросы безопасности взрывных работ.

Книга предназначена для инженерно-технических работников горнодобывающих предприятий и строительных организаций, проектных, научно-исследовательских и учебных институтов.

ЕРОФЕЕВ И. Е. Повышение эффективности буровзрывных работ на рудниках. 18 л. 1 р. 11 к.

В книге дан анализ современного состояния буровзрывных работ на подземных рудниках. На основании теоретических и экспериментальных исследований определены основные закономерности развития различных способов бурения взрывных скважин. Установлены качественные и количественные зависимости, определяющие пути повышения эффективности буровзрывных работ. Дано теоретическое обоснование перспектив отбойки руды скважинами диаметром 56—65 мм, изложена и обоснована гипотеза отбойки руды без негабарита. Приведена методика технико-экономических расчетов и выбора оптимальных параметров буровзрывных работ.

Книга предназначена для инженерно-технических работников горнорудной промышленности, научно-исследовательских, проектно-конструкторских и учебных институтов.

НАДИРАШВИЛИ Н. Р. Геофизические исследования горного давления на пологих рудных пластах. 20 л., 2 р. 16 к.

Книга посвящена развитию теории и совершенствованию методов натурных исследований горного давления при разработке пологих рудных пластов. Изложены разработанные и примененные автором методы горной геофизики, которые на основе обобщения фактических данных наблюдений, полученных на различных месторождениях, дали возможность раскрыть сущность основных форм проявления горного давления. Выявлены зависимости между отдельными видами проявления горного давления. Установлены оптимальные параметры конструктивных элементов систем разработки, применяемых на пологих рудных пластах.

Книга предназначена для работников научно-исследовательских и проектных институтов и может быть полезна инженерно-техническим работникам горнорудных предприятий, а также преподавателям и студентам горных вузов.

НИКОЛАЕНКО В. Г., СОЛОВЬЕВ В. Н. Маркшейдерские работы при сооружении вертикальных стволов шахт. 18 л. 1 р. 15 к.

В книге рассмотрены маркшейдерские работы при сооружении вертикальных стволов шахт обычными и специальными способами, заключающиеся в разбивке элементов проекта на местности и контроле за соблюдением проектных условий в процессе строительства. Описано производство геологической и гидрогеологической съемок в стволе, рассмотрены различные способы ориентирования. Изложены маркшейдерские работы при углубке вертикальных стволов. Освещены вопросы, связанные с замерами горнопроходческих работ, маркшейдерской отчетностью и документацией при сооружении и сдаче ствола.

Книга предназначена для инженерно-технических работников маркшейдерской службы и может быть полезна преподавателям и студентам горных вузов.

УСТИНОВ М. И. Выбор технологических решений при подготовке новых горизонтов и реконструкции шахт. 15 л. 1 р. 11 к.

В книге обоснована необходимость применения современных количественных методов и ЭВМ для выбора наиболее целесообразных и экономически выгодных технологических решений при подготовке новых горизонтов и реконструкции шахт. Рассмотрены вопросы выбора критерия оптимальности проектных вариантов, приведена принципиальная схема оптимизационных расчетов при проектировании капитальных работ, дана методика количественной оценки технического уровня действующей шахты, описаны экономико-математические модели оптимизации технологических решений при подготовке новых горизонтов и реконструкции шахт. Изложены общие положения практического использования разработанных методов, приведены результаты выполненных расчетов и показана эффективность применения этих методов.

Книга предназначена для работников научно-исследовательских и проектных институтов, комбинатов угольной промышленности и может быть полезна преподавателям и студентам горных вузов.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга—почтой» магазинов:

№ 17 — 199178. Ленинград, В. О., Средний проспект, 61
№ 59 — 127412. Москва, Коровинское шоссе, 20

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»