

И. Н. УШАКОВ



ГОРНАЯ
ГЕОМЕТРИЯ

ГОССОРГТЕХИЗДАТ
• 1962 •

И. Н. УШАКОВ

ГОРНАЯ
ГЕОМЕТРИЯ
(ГЕОМЕТРИЯ НЕДР)

*Издание третье,
переработанное и дополненное*

*Допущено Министерством высшего
и среднего специального
образования СССР в качестве
учебника для горных вузов
и факультетов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ

Москва 1962

АННОТАЦИЯ

В книге систематически излагаются вопросы, входящие в курс горной геометрии (геометрии недр), изучаемой на маркшейдерской специальности горных институтов и факультетов.

В ней рассматриваются проекции, применяемые в маркшейдерском деле, геометрия и геометризация месторождений полезных ископаемых применительно к плоскостной, складчатой и разрывной формам залегания и решение горногеометрических задач при разведке и разработке месторождений.

Книга написана в соответствии с действующей программой курса горной геометрии (геометрии недр) и предназначена в качестве учебника для студентов маркшейдерской специальности вузов. Она может также служить пособием для студентов геологоразведочной специальности и инженерно-технических работников маркшейдерской и геологической служб горных предприятий.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Решения партии и правительства об укреплении связи школы с жизнью и, в частности, расширении заочного и вечернего обучения предъявляют повышенные требования к учебной литературе.

В связи с этим автором подготовлено третье издание настоящей книги, переработанной с учетом этих возросших требований. Изменениям и дополнениям подверглись в той или иной степени все части книги и особенно первый и второй разделы. При этом были учтены современное состояние вопроса, требования к подготовке инженерных кадров для горной промышленности, критические замечания по первым двум изданиям книги, а также длительный опыт преподавания указанного курса в вузе.

Осталось без изменений основное построение курса, осуществленное в первых изданиях по принципу «от простого к сложному», и сохранена связь курса со смежными областями горного дела.

Большая переработка книги была вызвана также необходимостью приведения ее в соответствие с требованиями, предъявляемыми к учебникам. До сих пор по данному курсу нет учебника, хотя потребность в нем сейчас ощущается очень остро в связи с перестройкой учебного процесса в направлении усиления самостоятельной работы студентов и развитием заочного обучения.

Содержание книги соответствует действующей программе курса горной геометрии (геометрии недр) для маркшейдерской специальности вузов. Книга одновременно может служить пособием по вопросам горной геометрии для студентов геологоразведочной специальности, а также руководством для инженерно-технических работников маркшейдерской и геологической служб горных предприятий.

Первый раздел посвящен краткому изложению сведений о проекциях, применяемых в горной геометрии.

Во втором разделе, в соответствии с формами и условиями залегания месторождений полезных ископаемых, излагается геометрия плоскостных форм залегания и складок, а также геометрия разрывных структур.

В третьем разделе излагаются общие вопросы геометризации, структурные и качественные планы, их назначение и использование.

Значительное место в книге занимает четвертый раздел «Подсчет запасов твердых ископаемых», в котором с необходимой полнотой рассматриваются общие геометрические вопросы подсчета и способы подсчета запасов.

Заключительный, пятый раздел курса посвящен методике учета движения запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого, а также методике маркшейдерского контроля оперативного учета добычи полезных ископаемых.

Несомненно, что, несмотря на большую переработку, данное издание не лишено недостатков и потребуется дальнейшая работа по улучшению книги. Поэтому автор с благодарностью примет все замечания по ее содержанию и просит направлять их на кафедру маркшейдерского дела Ленинградского горного института или в Госгортехиздат.

В заключение автор приносит глубокую благодарность коллективам и отдельным лицам, оказавшим помощь в работе над книгой товарищеским советом и справедливой критикой.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 20-х годов текущего столетия вопросы горной геометрии, ранее рассматриваемые в разных курсах геологоразведочного, маркшейдерского и горного циклов, в процессе дифференциации знаний, выделились в СССР в специальную дисциплину — горную геометрию.

С этого времени горная геометрия прочно вошла в учебные планы маркшейдерской специальности горных институтов и факультетов и в настоящее время занимает видное место в подготовке горных инженеров и инженеров-геологов.

Указанное значение названной дисциплины обусловлено тем, что многие вопросы геологического изучения, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых по присущим им особенностям и приемам решения имеют выраженный пространственно-геометрический характер. К числу их относятся такие вопросы, как определение элементов залегания пластов и жил, изучение форм и условий залегания полезного ископаемого, изучение способов изображения и графических построений, составление структурных и качественных планов (карт) месторождения и отдельных залежей, подсчет и учет движения запасов полезных ископаемых и т. д.

Геологу, маркшейдеру и горняку приходится работать в условиях, когда изучаемое или разрабатываемое месторождение скрыто от непосредственного наблюдения в недрах земли и только в отдельных точках доступно для установления тех или иных показателей.

Приемы и методы горной геометрии помогают: 1) геометрически интерпретировать геологические представления; 2) воспроизводить по отдельным фрагментам пространственное представление о структурных, литологических особенностях месторождения и о характере минерализации отдельных его участков; 3) выявлять отношения между установленными элементами структур и свойствами месторождения, с одной стороны, и элементами проводимых или проектируемых работ, с другой стороны; 4) создавать необходимые геометрические схемы работ или отдельных решаемых технических задач.

Для этого на основе маркшейдерских и геологических съемок, выполняемых при разведке и разработке месторождений

полезных ископаемых, а также на основе производственных требований решается обширный комплекс горногеометрических вопросов и задач, производится геометризация месторождений полезных ископаемых.

Использование исходных данных непосредственных наблюдений и полученных выводов требует овладения методикой обработки наблюдений, решения горногеометрических задач, составления специальных графиков и геометрических схем.

Указанные задачи определяют основное содержание предмета горной геометрии.

Методы исследования, применяемые в точных естественных науках, являются методами горной геометрии.

Изучение в горной геометрии специфических форм и геометрических отношений основывается на фактических материалах наблюдений. Теоретическое их обобщение позволяет по отдельным частям создавать общее представление и полученные выводы использовать для решения на более высоком уровне инженерных практических задач. При этом одновременно осуществляется проверка правильности теоретических выводов и создается основа для их дальнейшего уточнения.

Горногеометрический метод как специфическая разновидность геометрического метода исследования характеризуется тем, что применяемые в нем обобщения и выводы являются развитием непосредственного отражения в сознании реальных или условных пространственных форм, отношений и их взаимосвязей. Поэтому здесь абстрактность понятий и логическая строгость выводов должны быть тесно соединены с наглядностью. Этой особенностью и характером исходных материалов объясняется широкое использование в горной геометрии графических и графоаналитических приемов решения.

Горная геометрия является специальной дисциплиной. Ее содержание предполагает органическую связь с сопредельными циклами наук и практикой. В общих положениях горная геометрия основывается на математическом цикле наук и главным образом на геометрии. В специальной части она тесно связана с маркшейдерским делом и циклами геологоразведочных и горных дисциплин.

Общими задачами изучения горной геометрии являются:

1) развитие у обучающегося пространственного представления на специфических геометрических элементах, отношениях и образах;

2) овладение методами изучения показателей месторождения полезных ископаемых с целью их геометризации;

3) развитие умения использовать результаты геометризации при разведке, проектировании предприятий и эксплуатации месторождений;

4) овладение методами решения горногеометрических задач в процессе разведки и разработки месторождений полезных ископаемых.

Без четкого, своевременно составленного пространственного представления о характере месторождения, условиях его залегания, качестве полезного ископаемого, направлении проектируемых и проводимых работ деятельность разведчика, маркшейдера и горняка лишена предвидения и расчета и тем самым во многом подчинена случайностям. Поэтому маркшейдеру необходимо в совершенстве владеть методикой горногеометрического анализа и решения соответствующих задач.

Следует отметить, что область применения горногеометрической методики не исчерпывается разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых. Здесь она получила лишь наиболее широкое использование. Известны также многие примеры ее приложения в региональных геологических и геофизических исследованиях.

Развитие горной геометрии в форме решения отдельных задач, разработки тех или иных вопросов и теоретических обобщений протекало и протекает параллельно с развитием геологии, маркшейдерского и горного дела, в соответствии с требованиями практики и развития сопредельных областей знания, т. е. представляет собой длительный процесс. При этом отдельные этапы развития отражаются в оригинальных и сводных работах производственного, научно-методического и учебного характера. Отметим некоторые из них.

Начало текущего столетия отмечается рядом работ славной плеяды выдающихся представителей отечественной маркшейдерской школы — В. И. Баумана, П. М. Леонтьевского и П. К. Соболевского, справедливо считающихся основоположниками современной горной геометрии.

Так, в 1905 г. появилась книга П. М. Леонтьевского под названием «Элементы залегания пластов» (горная геометрия), входящая в серию изданных им книг под общим названием «Маркшейдерские задачи».

Указанная работа посвящена детальному рассмотрению шести задач, относящихся к элементам залегания пласта; при этом наиболее существенная ее часть отводится изложению геометрии разрывных структур (смещений) и критике имевшихся в то время представлений по этому вопросу в иностранной и главным образом немецкой литературе.

Ответом на эту книгу П. М. Леонтьевского, как и на ряд зарубежных работ, явилось исследование В. И. Баумана, опубликованное в Записках горного института в 1907 г. (т. I, вып. 1) под названием «К вопросу о сбросах, сдвигах и других смещениях жил и пластов», дающее строгое геометрическое обоснование

вание номенклатуре смещений и решению задач, связанных с разведкой перемещенного крыла. Выводы этой работы прочно вошли в специальную литературу, и «геометрическая классификация смещений Баумана» до сих пор не утратила своего методического значения.

В 1908 г. В. И. Бауман опубликовал в «Горном журнале» (т. IV) статью «К вопросу об определении запасов месторождений», в которой приводится метод подсчета запасов месторождений сложной формы, известный в позднейшей литературе как «метод Баумана».

Указанные работы В. И. Баумана, как и ряд других его работ, по вопросам определения элементов залегания пластов и жил, геометрической интерпретации геофизической (магнитной) разведки железорудных месторождений Урала послужили тем материалам, который по мысли автора должен был составить четвертый том его классического курса «Маркшейдерское искусство» под названием «Маркшейдерские задачи».

Подготовкой этого материала к изданию занимался ученик В. И. Баумана, И. А. Далинкевич. В 1924 г. он размножил на стеклографе курс лекций по горной геометрии, прочитанный автором студентам маркшейдерской специальности института в 1923/29 учебном году. По содержанию и построению курс был оригинальным и включал в себя изложение следующих вопросов: основы метода проекций с числовыми отметками, о формах залегания горных пород, складчатые формы залегания, смещения и подсчет запасов.

Как видно из изложенного, в курсе не затрагиваются многие общие и специальные вопросы геометризации месторождений.

Таким образом оформилось выделение горной геометрии в отдельную, специальную дисциплину, представляющую собой естественный этап ее развития в наших условиях.

Бурное развитие тяжелой промышленности, в том числе горной, в 30-е годы очень остро поставило вопрос об изучении и освоении большого числа месторождений полезных ископаемых. При этом требовались точные и объективные характеристики осваиваемых месторождений и высокий технический уровень разведочных и эксплуатационных работ. Эти возросшие требования горной промышленности были прямо направлены в адрес промышленной разведки месторождений и маркшейдерской службы предприятий. В связи с этим горногеометрический анализ стал серьезным средством улучшения геологоразведочных, маркшейдерских и горных работ, а результаты геометризации месторождений — необходимым материалом для

объективной промышленной их оценки, горнорудного проектирования, строительства и эксплуатации горных предприятий.

К этому времени приурочено появление ряда работ по горной геометрии П. К. Соболевского, имеющих большое научно-методическое значение для развития этой дисциплины. В 1925 г. опубликован его доклад в трудах I Общесибирского маркшейдерского съезда по вопросу о геометрии разрывных структур («О смещениях»). Выводы, касающиеся геометрической классификации смещения, в специальной литературе носят название «Классификация смещений Соболевского». Здесь автор пошел по пути дальнейшего упрощения номенклатуры тектонических разрывов.

Второй его доклад, опубликованный в трудах I Всесоюзного горнотехнического съезда (т. VII, 1926), на тему «Современное маркшейдерское искусство как методология решения основных задач горного искусства», а также его статья «Современная горная геометрия» (журнал «Социалистическая реконструкция и наука», 1932, № 7) выражают его основные идеи по горной геометрии и дают теоретическую базу основному разделу курса — геометризация месторождений полезных ископаемых. Эти идеи, подтвержденные рядом производственных работ по геометризации месторождений, нашли поддержку и одобрение в решениях I Всесоюзного маркшейдерского съезда (1932 г.).

Более систематическое изложение основ геометризации месторождений полезных ископаемых П. К. Соболевским дано в конспекте его лекций по курсу «Геометрия недр», напечатанном Московским геологоразведочным институтом на стеклографе в 1935 г. Следует пожалеть, что не было организовано типографское издание этого конспекта.

Работами П. К. Соболевского были вскрыты большие возможности метода изолиний в части его использования при геометрической интерпретации результатов разведки месторождений полезных ископаемых и при решении ряда технических задач.

Не переоценивая значения метода изолиний, следует отметить, что он является превосходным средством выражения характеристики изучаемых показателей. В настоящее время он настолько вошел в обиход работы, что кажется обыденным.

Потребности подготовки специалистов в области геологии, маркшейдерского и горного дела требовали составления учебных пособий и методических руководств по горной геометрии, отвечающих принятой учебной программе.

Отметим некоторые из работ указанного назначения. Коллектив кафедры маркшейдерского дела Днепропетровского горного института в 30-х годах выполнил ряд работ по горной геометрии, из которых были опубликованы книги А. Е. Гутта

«Горная геометрия» (1933) и Н. Е. Алифонова «Проекции с числовыми отметками» (1932), служившие в течение ряда лет учебным пособием при изучении курса горной геометрии.

По геометризации месторождений полезных ископаемых кроме указанных выше работ П. К. Соболевского большое значение в это время имели: книга Д. Н. Оглоблина «Выбор места заложения шахты» (1935) и книга И. А. Блашкевича и Г. И. Вилесова «Опыт геометризации дражных полигонов» (1938).

В 1937 г. вышло учебное пособие «Горная геометрия» И. Н. Ушакова под редакцией И. М. Бахурина, в котором освещались в соответствии с действующими учебными программами основные вопросы указанной дисциплины. В 1951 г. было опубликовано второе издание этой книги.

В 1941 г. опубликовано учебное пособие «Геометрия недр» П. А. Рыжова. В 1952 г. им было выпущено в свет второе издание этой книги. Здесь наиболее полно изложены основные идеи П. К. Соболевского, их развитие в области геометрии недр, методика, примеры геометризации месторождений и подсчета запасов полезных ископаемых.

Н. Г. Келль в годы Великой Отечественной войны составил конспект лекций по горной геометрии, читавшихся им в Днепропетровском горном институте. Конспект представляет собой изложение вопросов горной геометрии с выражением критического подхода автора к существующим работам и пособиям по этой дисциплине. Он содержит проекции, применяемые при решении горногеометрических задач, геометрию пласта и смещений, общие вопросы геометризации полезных ископаемых — анализ скрытых топографических поверхностей и в очень сжатом изложении — складки. Позднее параграф «Смещения» опубликован в трудах ВНИМИ.

Ряд положений конспекта по анализу скрытых топографических поверхностей с разрешения автора был использован при составлении второго издания книги «Горная геометрия» и в значительной мере сохранен в девятой главе данного издания.

В 1948 г. вышли две книги Д. А. Казаковского: «Маркшейдерское дело и геометризация недр» и «Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов». Первая из них является учебником по одноименному курсу для студентов геологоразведочной специальности, а вторая — исследованием изменчивости показателей залежи и оценки точности результатов при геометризации месторождений и подсчете запасов полезного ископаемого. Последним по времени издания учебным пособием является книга П. А. Рыжова и В. А. Букринского «Горная геометрия» (1958), выпущенная в

качестве учебного пособия для студентов маркшейдерской специальности горных техникумов и дающая сжатое изложение основных вопросов дисциплины.

За рубежом по-прежнему вопросы горной геометрии рассматриваются разрозненно в отдельных работах по геологии, разведке и горному делу. Однако следует отметить тенденцию к систематическому их изложению, что выражается в переводах советской литературы по горной геометрии на другие языки и в появлении обобщающих работ. В качестве иллюстрации последних можно привести книгу В. Л. Донна и Д. А. Шимера «Графические методы в структурной геологии», изданную в США в 1958 г., в которой рассматриваются вопросы геометрии плоскостной, складчатой и разрывной структур, несогласного напластования и интрузивных контактов, а также решение применительно к указанным структурам геометрических задач в ортогональной и стереографических проекциях. Книга рекомендуется в США в качестве пособия для студентов и инженеров геологической специальности.

В последние годы коллективами кафедр маркшейдерского дела горных институтов и факультетов, ВНИМИ, геологоразведчиками, шахтными геологами и маркшейдерами опубликовано значительное количество статей, сводных работ и справочных материалов по вопросам горной геометрии, ссылки на которые читатель найдет в соответствующих местах книги. Их обобщение позволяет выявить современное состояние дисциплины.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ПРОЕКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГОРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Глава I

ПРОЕКЦИИ С ЧИСЛОВЫМИ ОТМЕТКАМИ

§ 1. Общие сведения

В горной геометрии вследствие особенностей ее метода, характера исходных материалов и требуемых результатов широко применяются графические и графоаналитические приемы решения. Поэтому вопрос о графическом изображении залежей полезных ископаемых, геологических структур и горных выработок, а также о различных геометрических построениях, с помощью которых определяются искомые величины или составляются рабочие схемы, имеет в горной геометрии первостепенное значение.

Каждый чертеж (график) должен давать полное и ясное представление об изображаемом предмете, его элементах и их взаимном расположении, т. е. он должен обладать наглядностью. Кроме того, он так должен быть построен, чтобы по изображению предмета было легко установить интересующие размеры предмета, т. е. помимо наглядности чертеж должен обладать определенными метрическими свойствами (удобоизмеримостью).

Как известно из начертательной геометрии, разные методы изображений и построений по-разному обеспечивают указанные свойства чертежей (графиков).

В основе всех способов изображений и построений лежит метод проекций, которые по способу проектирования делятся на центральные и параллельные.

Изображение, полученное при помощи центрального проектирования, называется перспективой.

При построении перспективного изображения предмета на плоскости бумаги (плоскости проекции) вне ее выбирается точка, называемая центром или полюсом проекции, и соединяется прямыми линиями с характерными точками изображаемого предмета. Пересечение указанных прямых с плоскостью проекции дает изображение на последней характерных точек предмета. Их совокупность позволяет на плоскости проекции построить требуемое перспективное изображение.

Перспективные изображения отличаются хорошей наглядностью и применяются в тех случаях, когда от чертежа требуется прежде всего наглядность.

Однако вследствие значительных искажений, возникающих при данном методе проектирования, чертежи, построенные в перспективной проекции, отличаются низкими метрическими свойствами. При этом виде проектирования параллельные прямые в общем случае на перспективном изображении пересекаются, равные и параллельные отрезки изображаются отрезками разной величины, а одинаковые углы между прямыми изображаются разными углами.

Отмеченный недостаток перспективных изображений ограничивает их использование в горной геометрии при составлении наглядных обзорных материалов. Однако следует указать, что некоторые построения (основанные на принципе центрального проектирования), выполняемые с целью определения тех или иных искомых величин, сравнительно часто используются при решении отдельных горногеометрических задач. К ним относится нахождение угловых величин при помощи стереографических и линейных проекций.

Проектирование предмета пучком параллельных лучей на искомую плоскость дает возможность получить на ней параллельно-проекционный чертеж. Такой чертеж можно рассматривать как частный случай перспективы, когда центр проекции отнесен в бесконечность.

Достоинством параллельно-проекционных чертежей по сравнению с перспективой является лучшая их удобоизмеримость. При параллельном проектировании параллельные прямые проектируются параллельными прямыми, а отношение длин отрезков параллельных прямых равно отношению длин их проекций. Эти особенности параллельных проекций помогают распознавать на чертеже форму сложных конфигураций, облегчают процесс построения чертежа и определение искомых величин. Однако наглядность чертежей, построенных при помощи параллельного проектирования, хуже, чем в перспективных проекциях.

Изменяя направление проектирующих лучей и положение плоскости проекций, можно получить бесчисленное количество изображений одного и того же предмета, различно удовлетворяющих требованиям наглядности и удобоизмеримости.

Лучшие метрические качества чертежей обеспечивает частный случай параллельного проектирования — ортогональные проекции на одну или несколько плоскостей.

Общий случай параллельного проектирования — косоугольные проекции — в смысле наглядности и удобоизмеримости занимают промежуточное положение между пер-

спективными и ортогональными параллельными проекциями.

Указанные выше особенности параллельных проекций обуславливают широкое их применение в технике, в том числе в маркшейдерском деле.

В маркшейдерском деле, особенно в горной геометрии, наибольшее применение получил метод ортогонального проектирования на одну плоскость — проекции с числовыми отметками. Использование их позволяет компактно и полнохарактеризовать показатели (формы, качества и процессы), выявляемые при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых.

При пологом и наклонном залегании залежей для изображения структурных и качественных показателей их, а также для изображения выработок используются ортогональные проекции на горизонтальную плоскость и система вертикальных разрезов.

Для условий крутого падения проекция на горизонтальную плоскость дополняется проекцией на вертикальную плоскость. За последнюю при этом берется вертикальная плоскость, проходящая параллельно среднему простианию залежи.

Иногда для более полной характеристики показателей залежи применяются проекции на наклонную плоскость, параллельную среднему простианию и углу падения залежи.

Так как чаще всего применяются проекции на горизонтальную плоскость, мы в дальнейшем при рассмотрении проекций с числовыми отметками будем считать, что плоскость проекции занимает горизонтальное положение.

В некоторых случаях (при составлении блоковых карточек на рудниках или рабочих планах лав на угольных шахтах) горные выработки и показатели залежи изображают в плоскости последней, т. е. пользуются при этом разверткой.

При составлении маркшейдерских чертежей и при графическом решении геометрических задач важно правильно выбрать способ и масштаб построения.

Выбор способа построения определяется назначением составляемого графика и необходимостью удовлетворения основных требований, предъявляемых к техническому чертежу. К их числу кроме наглядности и удобоизмеримости следует отнести простоту построения и обеспечение требования динамичности графика, т. е. возможности отражать на нем развитие работ и изменение показателей залежи. В связи с этим возникает необходимость систематического пополнения или быстрого пересоставления графиков. Последнее в значительной степени обеспечивается механизацией графических работ.

Выбор масштаба построения обусловливается точностью исходных данных и требуемой точностью результата, получаемого

с помощью графического построения. При этом следует различать два случая [1, 4]:

1) точность исходных данных превышает необходимую точность результата;

2) точность исходных данных ниже необходимой точности результата.

В первом случае масштаб графических построений выбирается с расчетом получения результатов заданной точности, а во втором — масштаб построений должен отвечать точности исходных данных.

Масштаб M графического построения, имеющего целью определение линейной величины, находится из выражения

$$M = \frac{a}{D}, \quad (I, 1)$$

где a — линейная ошибка графических построений, принимаемая в точных построениях (например, при построении координатной сетки) равной 0,1 мм, а в рядовых графических построениях — 0,2—0,3 мм;

D — необходимая линейная точность определения искомой величины, задаваемая условиями задачи.

Иллюстрируем выбор масштаба построения конкретными примерами.

Пример 1. Выбрать масштаб M чертежа, на котором требуется откладывать линейные величины с точностью до 0,001 при минимальных длинах линий в натуре 80 м. При данных условиях необходимая точность определения по графику или откладывания на нем линейных величин будет зависеть от минимальных значений последних, т. е. $D = 80 \text{ м} \cdot 0,001 = 0,080 \text{ м} = 80 \text{ мм}$. Пусть $a=0,3 \text{ мм}$. Тогда

$$M = \frac{0,3}{80} = \frac{1}{266} (6)$$

или ближайший меньший стандартный

$$M = \frac{1}{250}$$

Пример 2. Выбрать масштаб M графического построения для косвенного графического определения нормальной мощности пласта, которую необходимо получить с точностью 2 см.

Примем $a=0,2 \text{ мм}$. Тогда

$$M = \frac{0,2}{20} = \frac{1}{100}$$

§ 2. Проекции точек, прямых и плоскостей

Исходным элементом в геометрических представлениях является точка. В самом деле, представление о прямых, плоскостях, геометрических телах любой формы и их взаимных отношениях создается по совокупности их характерных точек.

При использовании проекций с числовыми отметками положение изображаемых характерных точек в пространстве определяется их ортогональными проекциями на плоскости и расстояниями по нормали от этих точек до плоскости проекций, выраженным числом. Указанные числа, называемые отметками, выписываются около проекций точек. Отсюда возникло и название метода — проекции с числовыми отметками.

Если изображаемые точки лежат выше горизонтальной плоскости, принимаемой за нулевую плоскость, то их отметки считаются положительными, если ниже — отрицательными.

Положение точек в пространстве по результатам съемок определяется прямоугольными пространственными координатами (x, y, z) . При изображении точек в проекциях с числовыми отметками на горизонтальной плоскости x и y выражаются графически, а z числом (отметкой точки). При этом ориентировка координатных осей в пространстве берется так же, как и в геодезии и маркшейдерском деле.

На рис. 1, а представлено положение точек A , B , и C в пространстве относительно горизонтальной плоскости проекций H .

На рис. 1, б те же точки изображены в проекции с числовыми отметками. Проекции точек обозначены малыми буквами.

Прямая линия в проекции с числовыми отметками изображается прямой линией. В частном случае, когда прямая перпендикулярна плоскости проекций, проекция прямой — точка.

Положение прямой линии в пространстве вполне определяется двумя точками, взятыми на прямой, или одной точкой и направлением ее. Последнее обычно берется в сторону понижения прямой и определяется двумя угловыми величинами: в горизонтальной плоскости — дирекционным углом α_0 или азимутом; в вертикальной плоскости — углом наклона δ_0 прямой

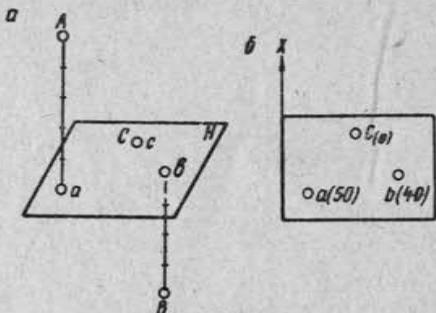


Рис. 1. Проекции точек:

а — положение точек в пространстве,
б — изображение точек в проекции с числовыми отметками

к горизонту. Тангенс угла наклона δ_0 называется уклоном прямой и обозначается буквой i . Величина его иногда пишется над проекцией прямой в виде десятичной дроби. На рис. 2 изображены в проекциях с числовыми отметками две прямые линии. Одна из них задана двумя точками, а вторая — одной точкой и направлением.

Пользуясь проекцией прямой, легко найти истинную длину ее, угол наклона к горизонту путем построения вертикального профиля прямой.

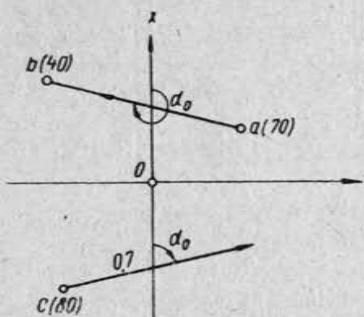


Рис. 2. Проекции прямых линий

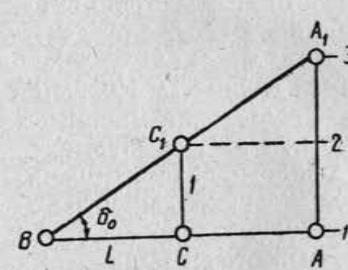


Рис. 3. Уклон и интервал прямой

Для характеристики уклона прямой в горногеометрических задачах пользуются не только числом i , но и графической величиной — интервалом. Интервалом называется проекция отрезка прямой, разность отметок на концах которого равна единице. Интервал обозначается буквой L .

Из рис. 3 видно, что уклон i есть величина, обратная интервалу

$$i = \operatorname{tg} \delta_0 = \frac{C_1 C}{B C} = \frac{1}{L}$$

или

$$L = \operatorname{ctg} \delta_0. \quad (1, 2)$$

Решение многих задач требует наличия на проекции прямой точек с отметками, выраженным целыми числами. Получение указанных точек называется градуированием проекций прямой.

При больших значениях угла δ_0 градуирование одним интервалом L неудобно ввиду незначительной его величины, особенно в мелких масштабах. В этом случае градуирование прямой производится 5, 10, 20 и более интервалами.

Перед градуированием находится величина интервала или кратная ей величина. При задании прямой координатами двух точек интервал равен проекции отрезка прямой, деленной на разность отметок данных точек. Если прямая задана координатами одной точки и направлением, то интервал находится графически или вычислением из выражения (1, 2).

Пусть прямая задана координатами точки A и направлением $a_0\delta_0$. Требуется изобразить ее в проекции с числовыми отметками и градуировать $10L$. По горизонтальным коорди-

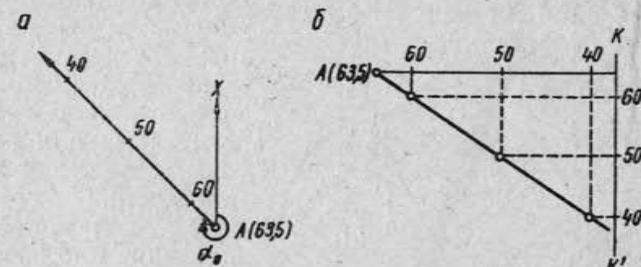


Рис. 4. Градуирование прямой:
а — проекция прямой, б — профиль прямой

там точки A строится ее проекция (рис. 4). По a_0 через точку $A(63,5)$ проводится направление прямой. В правой части рисунка построен профиль прямой, на котором в масштабе плана по вертикальной шкале KK' от уровня 63,5 нанесены точки с отметками, кратными десяти. Спроектировав их последовательно на профиль прямой и на линию горизонта, на последней будет осуществлено градуирование проекции прямой в плоскости профиля. Для решения задачи остается перенести полученный результат на план.

Прямые в пространстве могут быть параллельны друг другу, пересекаться и скрещиваться.

При параллельности прямых проекции их тоже параллельны, интервалы равны и числовые отметки убывают или возрастают в одну и ту же сторону.

Пересекающиеся в пространстве прямые линии в проекции с числовыми отметками изображаются пересекающимися прямыми. Точка их пересечения имеет отметку, общую для обеих прямых. В частном случае, когда пересекающиеся в пространстве прямые расположены в одной проектирующей плоскости, проекции их изображаются одной прямой.

Если прямые в пространстве не пересекаются, а скрещиваются, они в точке их пересечения на плоскости проекции будут иметь разные отметки.

Положение плоскости в пространстве в проекции с числовыми отметками определяется:

- 1) координатами трех точек, не лежащих на одной прямой;
- 2) прямой линией и точкой, расположенной вне этой прямой;
- 3) координатами одной точки и двумя выходящими из нее направлениями;
- 4) двумя параллельными прямыми.

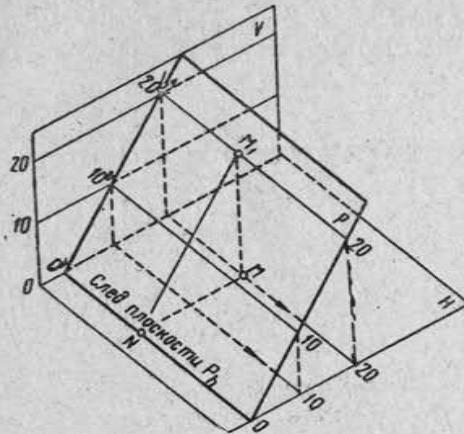


Рис. 5. Проекция плоскости P

горизонтальной плоскости H и вертикальной плоскости V , т. е. ее положение в пространстве. Линия пересечения плоскости P с плоскостью H называется следом плоскости и обозначается P_h . Линия M_1N , лежащая в плоскости P , перпендикулярная следу P_h , называется линией падения плоскости, или линией наибольшего ската. Угол, образованный этой линией с горизонтальной плоскостью проекций H , называется углом падения плоскости и обозначается буквой δ .

Если рассечь плоскость P равнотстоящими горизонтальными плоскостями, то в сечениях получим равноотстоящие друг от друга горизонтальные линии, называемые горизонталями плоскости P . На рис. 5 показаны горизонтали 0, 10, 20. Нетрудно видеть, что они перпендикулярны линии падения плоскости и фиксируют простиранье последней. Направление простирания плоскости берется влево от направления линии падения и изменяется горизонтальным углом между положительным направлением оси x и направлением простирания — дирекционным углом α , отсчитываемым по часовой стрелке. Сокращенно α называется углом простирания плоскости.

При изображении плоскости P в проекции с числовыми от-

метками на плоскость проекции H проектируются горизонтали плоскости P . На рис. 5 они представлены параллельными прямыми $0'$, $10'$, $20'$. Как следует из рисунка, проекции горизонталей с надписанными около них отметками вполне определяют положение плоскости в пространстве. Поэтому и принято изображать плоскости в проекциях с числовыми отметками в виде горизонталей.

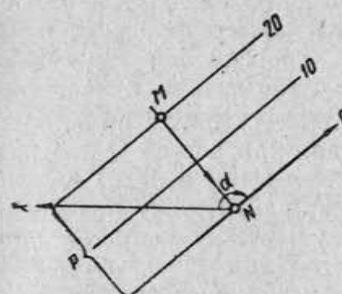


Рис. 6. Изображение плоскости P в проекции с числовыми отметками

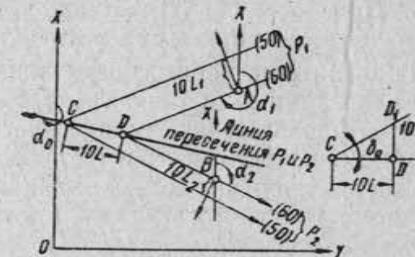


Рис. 7. Пересечение плоскостей

На рис. 6 плоскость P , показанная на рис. 5, изображена в проекции с числовыми отметками горизонталями 0, 10 и 20. Для изображения плоскости и характеристики ее элементов залегания достаточно двух горизонталей.

Кратчайшее расстояние s между горизонталями на плане зависит от угла падения плоскости и выражается соотношением

$$s = h \operatorname{ctg} \delta, \quad (I, 3)$$

где h — вертикальное расстояние между горизонталями (сечение горизонталей);

δ — угол падения плоскости.

При любом задании плоскости ее изображение в горизонталях сводится к градуированию известных направлений в плоскости и к проведению горизонталей по точкам с одинаковыми отметками.

Плоскость, изображенная горизонталями, вполне определяет ее элементы залегания.

Плоскости в пространстве могут быть параллельными или пересекающимися.

Если плоскости параллельны, то горизонтали их тоже параллельны, линии падения имеют равные интервалы и падение их направлено в одну и ту же сторону.

Если плоскости P_1 и P_2 пересекаются (рис. 7), то линией их пересечения будет линия, соединяющая точки пересечения горизонталей указанных плоскостей с одинаковыми отметками (точки C и D). Здесь a_0 — простирание линии пересечения плоскостей P_1 и P_2 , а δ_0 — угол наклона к горизонту этой линии.

Если горизонтали двух пересекающихся плоскостей P_1 и P_2 пересекаются вне пределов чертежа (рис. 8), то для построения линии пересечения указанных плоскостей последние пересекаются двумя произвольными вспомогательными плоскостями Q и S . При этом строятся одинаковые горизонтали плоскостей P_1 , P_2 , Q и S , например горизонтали с отметками 50 и 40.

Горизонтали первых двух плоскостей строятся по элементам залегания их в точках A и B , а для плоскостей Q и S проводятся произвольно. Линии пересечения (m_1n_1 и m_2n_2) плоскости Q с плоскостями P_1 и P_2 позволяют найти точку C , принадлежащую линии пересечения заданных плоскостей. Аналогично, при помощи вспомогательной плоскости S , находится на той же линии пересечения точка D . По точкам C и D строится линия пересечения плоскостей P_1 и P_2 , а по отметкам этих точек определяется простирание и угол наклона ее к горизонтали.

Вспомогательным плоскостям Q и S можно придавать вертикальное положение (рис. 9). В этом случае точки c и d , лежащие на линии пересечения, находятся из построения вертикальных сечений, выполняемых отдельно (например, сечение Q) или совмещенно на плане (сечение S).

Линии пересечения плоскостей при решении горногеометрических задач реально представляют структурные линии складчатого или осложненного разрывами залегания пород.

При решении практических задач представляют интерес взаимные положения прямых и плоскостей, выражающие взаимные отношения выработок и залежей. Здесь могут быть два случая: прямая пересекает плоскость и прямая расположена в плоскости.

Пусть в точке A (рис. 10, а) плоскость P имеет элементы залегания a и δ , а из точки B задана прямая по направлению $\alpha_0\delta_0$. На рис. 10, а плоскость P изображена горизонталями 70 и 60. Определить координаты точки пересечения C прямой с плоскостью и истинную длину отрезка прямой BC . Для этого возьмем вертикальное сечение по заданной прямой (рис. 10, б). В плоскости этого сечения изобразятся заданная прямая и плоскость P в виде прямых, дающих искомые элементы — точку пересечения и истинную длину отрезка. По совокупности рис. 10, а и 10, б определяются координаты точки C .

Простижение прямой в плоскости может быть любым, а угол наклона прямой при этом может изменяться от 0° (пря-

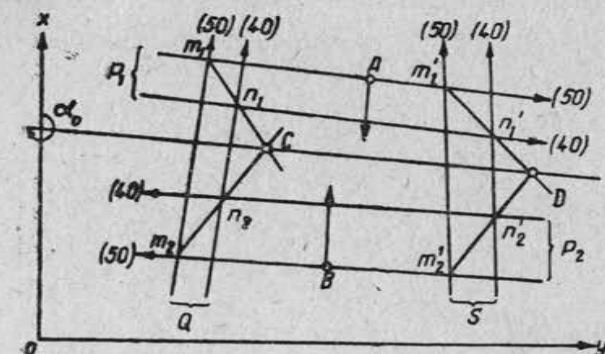


Рис. 8. Определение линии пересечения плоскостей с использованием наклонных вспомогательных секущих плоскостей

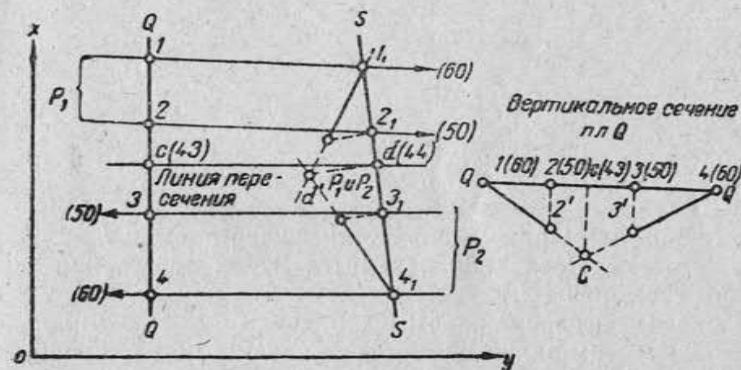


Рис. 9. Определение линии пересечения плоскостей с использованием вертикальных сечений

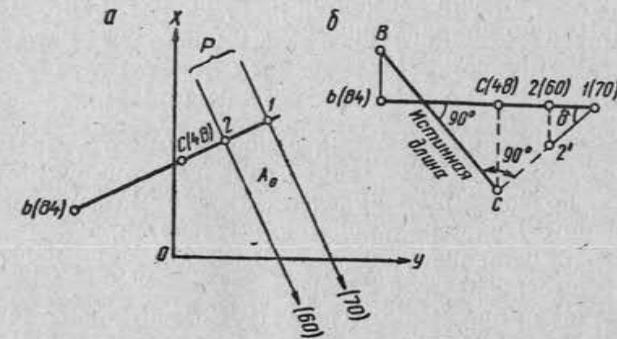


Рис. 10. Прямая пересекает плоскость

мая параллельна простиранию плоскости) до угла падения δ плоскости (прямая совпадает с линией падения плоскости).

Практический интерес представляет решение следующих задач:

- найти угол наклона δ_0 прямой, лежащей в заданной плоскости и имеющей направление a_0 ;
- проводить в плоскости прямую с заданным уклоном.

Пусть на рис. 11, а плоскость P в точке A задана элементами залегания a, δ и изображена горизонталями 100 и 50.

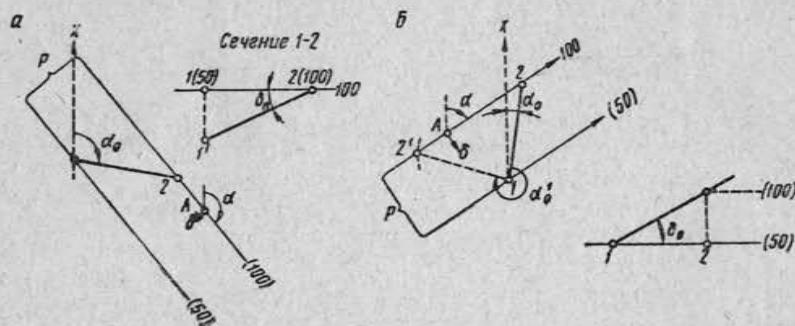


Рис. 11. Прямая, лежащая в плоскости

Из точки 1 по направлению a_0 проведена прямая 1—2. Найти δ_0 этой прямой. Последний находится путем построения вертикального сечения 1—2.

На рис. 11, б изображена горизонталями 100 и 50 плоскость P по ее элементам залегания a, δ . Из точки 1 по восстанию плоскости P требуется задать прямую с углом наклона δ_0 . В правой части рисунка получена величина заложения (1—2) прямой с этим углом наклона между горизонталями 100 и 50. Как следует из рисунка, задача имеет два решения — заданную прямую можно провести по направлению a_0 и a'_0 .

§ 3. Метод совмещения

При использовании проекций с числовыми отметками в решении горногеометрических задач широко применяется метод совмещения, позволяющий определять искомые линейные и угловые величины, лежащие в заданной плоскости.

Рассмотрим решение указанным методом ряда часто встречающихся геометрических задач.

Совмещенное положение точки. Пусть некоторая точка $b_{(100)}$ лежит в плоскости P , в свою очередь заданной координатами

точки $K(75)$ и элементами залегания плоскости a и δ (рис. 12). Требуется найти положение точки $b_{(100)}$ при совмещении плоскости P с плоскостью плана. Указанное положение точки b называется совмещенным. Данная задача является элементарной для решения геометрических задач методом совмещения.

Совмещение плоскости P с плоскостью плана осуществляется путем вращения ее около какой-нибудь горизонтали, например горизонтали 70, принимаемой за ось вращения. При этом точка $b_{(100)}$, как любая точка плоскости P , будет перемещаться по ли-

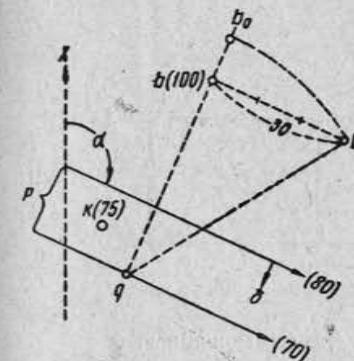


Рис. 12. Совмещенное положение точки

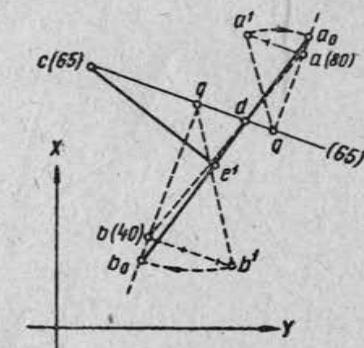


Рис. 13. Определение расстояния от точки до прямой

нии восстания qb на расстояние bb_0 , равное разности между истинной длиной qb' линии восстания и ее горизонтальной проекцией qb . Таким образом, $qb' = qb_0$. Точка b_0 фиксирует совмещенное положение точки $b_{(100)}$.

Определение расстояния от точки до прямой. Даны точка $c_{(65)}$ и прямая $a_{(80)}b_{(40)}$ (рис. 13). Требуется определить кратчайшее расстояние от точки c до заданной прямой. Точка $c_{(65)}$ и прямая $a_{(80)}b_{(40)}$ определяют положение плоскости, в которой они расположены. Градуированием прямой ab найдем на ней точку d с отметкой 65. Прямая cd — горизонталь указанной плоскости. Вращением последней около горизонтали 65 найдем совмещенное положение точек $a_{(80)}$ и $b_{(40)}$, т. е. совмещенное положение прямой ab . Прямая a_0b_0 равна истинной длине прямой $a_{(80)}b_{(40)}$. Теперь прямая a_0b_0 и данная точка c лежат в плоскости плана. Перпендикуляр ce' , опущенный из точки c на прямую a_0b_0 , является искомым кратчайшим расстоянием от точки до прямой.

Определение угла между пересекающимися прямыми. Данная задача часто встречается в горногеометрической практике, например при определении угла между осью выработки и нормалью к залежи при построении нормального разреза и т. д.

Из точки $a_{(120)}$ (рис. 14) заданы элементами залегания две прямые $ab(\alpha_1\delta_1)$ и $ac(\alpha_2\delta_2)$. Требуется найти истинную величину угла β между ними. Искомый угол лежит в наклонной плоскости, определяемой указанными прямыми. Из вспомогательного построения, расположенного справа от основного рисунка, находятся на заданных прямых точки 1 и 2, имеющие одинаковые (100) отметки. Их положение на основном рисунке фиксируется горизонталью (100).

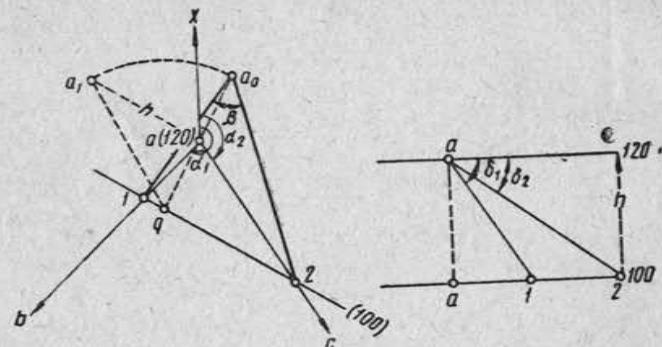


Рис. 14. Определение угла между пересекающимися прямыми

рут горизонталь 100 плоскости. Вращением последней около этой горизонтали находят совмещенное положение вершины искомого угла — точки a_0 . Соединяя a_0 с неподвижными точками 1 и 2, находят истинную величину искомого угла β .

Определение угла между пересекающимися плоскостями. Эти задачи также часто встречаются при горногеометрических работах, например при определении угла складки, угла смещения между выделенными системами трещин и др.

Пусть точками $a_{(80)}$ и $b_{(80)}$, а также элементами залегания заданы пересекающиеся плоскости P_1 и P_2 (рис. 15). Последние на рисунке изображены горизонталями 80 и 70. Линия cd и ее продолжение — линия пересечения плоскостей P_1 и P_2 . Истинная величина угла между пересекающимися плоскостями лежит в нормальноsekущей плоскости Q . Ее горизонтали перпендикулярны линии пересечения, а угол падения равен дополнению до 90° от угла наклона δ_0 линии пересечения плоскостей P_1 и P_2 . Изображение плоскости горизонталями 80 и 70 ясно из рис. 15. Угол fdq — проекция искомого угла. Вращением плоскости Q около горизонтали 70 находятся по предыдущему совмещенное положение вершины d' искомого угла и истинная его величина $qd'f = V$.

Определение угла между прямой и плоскостью. Мерой этого

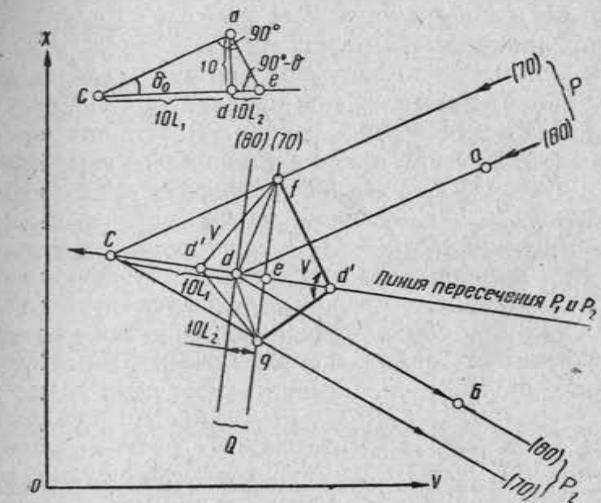


Рис. 15. Определение угла между пересекающимися плоскостями

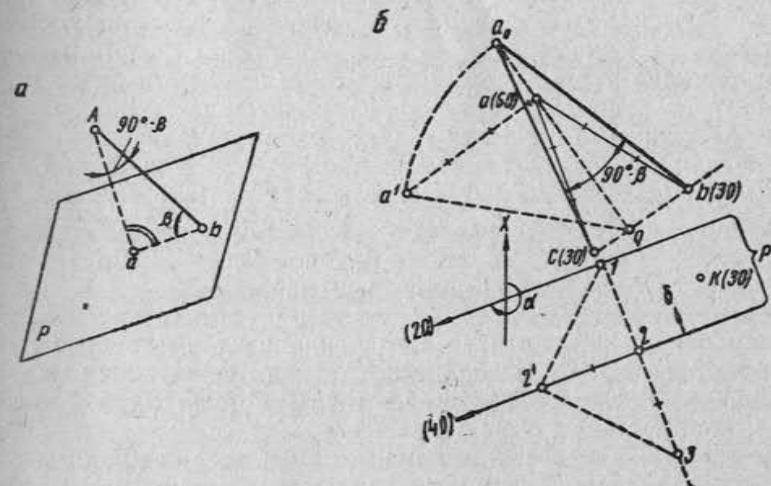


Рис. 16. Определение угла между прямой и плоскостью

угла является угол между прямой и ортогональной проекцией ее на заданную плоскость.

На рис. 16, а дано пространственное изображение плоскости P и прямой Ab , пересекающей P в точке b . Если из точки A опустить перпендикуляр Aa на плоскость P , то угол $Aba = \beta$ будет искомым углом, так как отрезок ab по построению является проекцией заданной прямой Ab на плоскость P .

Угол β просто вычисляется, если найти величину угла $aAb = 90^\circ - \beta$ и заключенного между заданной прямой Ab и нормалью Aa к плоскости P . Таким образом, задача в основном сводится к нахождению истинной величины угла между двумя пересекающимися прямыми.

На рис. 16, б изображены в проекции с числовыми отметками: плоскость P , заданная точкой $c_{(30)}$ и элементами залегания α и δ , а также прямая Ab , заданная координатами точек A и b . Последняя могла быть задана координатами точки A и элементами залегания прямой — простирианием и углом наклона к горизонту.

Плоскость P на рис. 16, б изображена по исходным данным горизонтальными 40 и 20. Проекция прямой $a_{(60)}b_{(30)}$ проградуирована кратно 10. Из точки $a_{(60)}$ на рисунке 16, б проведем прямую, перпендикулярную плоскости P . Градуируя ее также кратно 10, получим точку с отметкой, равной отметке точки b , т. е. точку c . Отрезок $c_{(30)}b_{(30)}$ является горизонталью 30 плоскости, в которой располагаются пересекающиеся в точке $a_{(60)}$ заданная прямая и нормаль к плоскости P .

Аналогично предыдущему, вращением плоскости около горизонтали 30, строится совмещенное положение вершины угла между указанными прямыми и измерением, находится истинная величина этого угла ($\angle ca_0b$), равная $90^\circ - \beta$, откуда вычислением определяется искомый угол β между прямой Ab и плоскостью P .

§ 4. Проекции многогранников

В инженерной практике часто приходится иметь дело с телами, которые при определенных условиях принимаются за многогранники (котлованы, насыпи, отвалы пород, склады полезного ископаемого и другие объекты).

По заданным проектным параметрам и положению объектов относительно опорной сети и других элементов ситуации поверхности производится перенос их в натуре. Последнее, а также определение объемов работ, количества материала в объемной мере и решение других практических вопросов требуют изображения тел, принимаемых за многогранники, и решения с ними некоторых геометрических задач.

В проекциях с числовыми отметками многогранники задаются проекциями их ребер с обозначением на них отметок. Имея отметки точек на ребрах многогранников, можно провести через точки с одинаковыми отметками ряд горизонтальных плоскостей. Сечения последних с гранями многогранников дают прямые, являющиеся горизонталями этих граней.

Контур многогранника в пересечении с поверхностью земли сводится к построению плоского сечения многогранника. Таким образом, геометрические задачи на многогранники, решаемые в проекции с числовыми отметками, сводятся к градуированию прямых, изображению горизонталями совокупности плоскостей и построению линий пересечения плоскостей, т. е. к решениям ранее рассмотренных задач. Особенности решения задач на многогранники применительно к отдельным вопросам горной геометрии будут рассмотрены в соответствующих разделах курса.

§ 5. О поверхностях

Всякую поверхность можно рассматривать как геометрическое место всех последовательных положений линии, движущейся в пространстве определенным образом. Движущаяся в пространстве линия, прямая или кривая, образующая поверхность, называется образующей поверхности, а линия, по которой движется образующая, называется направляющей.

Основу классификации поверхностей составляет вид их образующих. Поверхности, образованные движением в пространстве кривых линий, называются кривыми поверхностями. Поверхности с прямолинейными образующими носят название линейчатых поверхностей.

Свойство последних развертываться или не развертываться на плоскости без образования разрывов и складок служит основанием для подразделения линейчатых поверхностей на две группы: 1) линейчатые развертывающиеся поверхности и 2) линейчатые неразвертывающиеся, или косые, поверхности.

Применительно к задачам горной геометрии из всего разнообразия поверхностей выделим цилиндрическую, коническую и топографическую поверхности.

Цилиндрическая поверхность является поверхностью, образованной движением в пространстве прямой линии по некоторой направляющей; при этом образующая во все время своего движения остается параллельной некоторому направлению.

Образующая и направляющая не должны лежать в одной плоскости, так как при несоблюдении этого условия цилиндрическая поверхность обращается в плоскость.

Все образующие цилиндрической поверхности параллельны между собой, т. е. элементы залегания — углы простирания и падения — одинаковы для всех образующих.

Любая линия, проведенная на цилиндрической поверхности, может быть принята за направляющую. Следовательно, направляющая цилиндрической поверхности может быть плоская кривая и кривая двойкой кривизны. В решении горногеометрических задач направляющая цилиндрической поверхности выступает в форме плоского горизонтального (горизонталь поверхности) или вертикального (профиль поверхности) сечения.

Плоскость, перпендикулярная к образующим цилиндрической поверхности, пересекает последнюю по кривой, являющейся нормальным сечением цилиндрической поверхности.

Сечение цилиндрической поверхности горизонтальной плоскостью дает кривую на поверхности, называемую горизонтали. При решении горногеометрических задач в проекции с числовыми отметками цилиндрическая поверхность на плане изображается горизонтальями. Исходными данными при этом являются направляющая и элементы залегания образующей поверхности, отнесенные к определенным точкам. Градуирование образующих позволяет найти на них точки с отметками, кратными выбранному сечению. Соединение точек с одинаковыми отметками плавной кривой дает горизонтали цилиндрической поверхности.

Коническая поверхность является поверхностью, образованной движением прямой линии в пространстве по некоторой направляющей, причем один конец образующей во все время движения опирается на постоянную точку, называемую вершиной конической поверхности. Следовательно, все образующие конической поверхности пересекаются в ее вершине.

Направляющей конической поверхности, как и цилиндрической, может быть какая угодно кривая, проведенная на конической поверхности. При решении горногеометрических задач направляющая конической поверхности обычно берется в виде горизонтали или вертикального профиля этой поверхности.

В проекции с числовыми отметками коническая поверхность на плане изображается горизонтальями. Исходными данными для этого служат положения вершины конуса и направляющей поверхности. Пользуясь ими, проводят образующие конической поверхности и градуируют кратно выбранному сечению горизонталей. После этого по точкам с одинаковыми отметками строят горизонтали конической поверхности.

Особенности использования свойств цилиндрической и конической поверхностей при построении складчатых структур по данным горных и разведочных работ будут отмечены ниже при изложении соответствующего раздела курса.

Топографической называется неправильная поверхность, которая не может быть описана или выражена математической формулой. Такой поверхностью является поверхность земли. Методы изучения и изображения поверхности земли в совершенстве разработаны в топографии. В топографии нашел наиболее широкое применение метод проекции с числовыми отметками, который получил название метода изолиний.

Плодотворность использования этого метода в геометризации месторождений полезных ископаемых доказана многими работами П. К. Соболевского и опытом проведения этого рода работ.

Более детальное изложение особенностей приложения метода изолиний к решению задач геометризации месторождения будет дано ниже — в соответствующем разделе курса.

§ 6. Достоинства и недостатки метода проекций с числовыми отметками

Достоинство проекций с числовыми отметками заключается в том, что они дают возможность быстро изображать предметы, распространяющиеся на значительные расстояния, два измерения которых превосходят третье. Поэтому, хотя проекции с числовыми отметками позволяют решать все те задачи, которые обычно решаются в ортогональных проекциях на две плоскости, они применяются главным образом для изображения земной поверхности, пластов горных пород и дна водных бассейнов.

Планы и карты земной поверхности, горных пород и дна водных бассейнов, составленные в проекциях с числовыми отметками, а также исполненные по ним различного рода профили и разрезы дают возможность просто и быстро решать многочисленные и разнообразные задачи инженерной практики, относящиеся к вопросам технического проектирования сооружений на земной поверхности и в недрах земли.

Одновременно этот метод является превосходным средством выполнения отдельных промежуточных решений и построений. Получающаяся при этом точность решения задач оказывается вполне достаточной при решении как общих, так и частных вопросов, касающихся выбора тех или иных проектов. Такие задачи могут вполне решаться графически. Однако сочетание графического метода решения с числовыми расчетами нередко упрощает дело и быстрее приводит к цели.

Основным недостатком метода проекций с числовыми отметками является малая наглядность изображения, требующая значительной работы воображения для пространственного представления изображаемых объектов. В этом отношении он значительно уступает другим методам проектирования (перспектив-

ные, аксонометрические проекции, ортогональные проекции на две плоскости).

В заключение для иллюстрации прикладного значения метода проекций с числовыми отметками перечислим некоторые из многочисленных задач, решаемых с его помощью:

1. Составление планов и карт разного назначения в изолиниях.
2. Составление профилей изображаемых поверхностей по различным направлениям.
3. Построение промежуточных профилей на основании заданных (интерполирование профилей).
4. Проведение направлений с заданным (проектным) уклоном.
5. Определение границ насыпей и выемок и других сооружений. Определение объемов.
6. Определение элементов залегания пластов и жил по данным разведки.
7. Построение линий выходов залежей или геологических контактов на поверхность земли или под наносы.
8. Подсчет запасов полезного ископаемого по планам в изолиниях и др.

Решение этих горногеометрических задач в проекциях с числовыми отметками будет рассмотрено в соответствующих межах курса.

Глава II

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ И АФИННЫЕ ПРОЕКЦИИ

§ 7. Общие сведения

В комплект графической документации геологоразведочных и горных работ могут входить обзорные графики, графики, изображающие отдельные сложные узлы горных выработок или геологических структур, и схемы специального назначения. Для этих материалов наглядность имеет большее значение, чем удобоизмеримость. Поэтому в данном случае необходимо иметь графики, которые в первую очередь обеспечивают наиболее полное пространственное (объемное) представление об изображаемых объектах.

Наглядные маркшейдерские графики горных выработок, как правило, строятся по их изображению в проекциях с числовыми отметками. Для этого преимущественно пользуются погоризонтными планами.

Геологические структуры по данным геологической съемки и разведки характеризуются картой выходов пород на поверхность земли или под наносы и системой вертикальных разрезов по разведочным линиям. Кarta и разрезы являются основой для построения наглядного изображения геологической структуры, обычно называемого блок-диаграммой. Параллельное проектирование, обеспечивая получение достаточной наглядности изображения предмета, простоту построения и удовлетворения в какой-то мере требованию удобоизмеримости объемного чертежа, нашло широкое применение в маркшейдерской практике.

Разработаны разные способы использования принципа параллельного проектирования при построении объемных графиков. Широко применяют методы аксонометрии (осеизмерения) и аффинных преобразований.

Сущность аксонометрического метода лучше всего показать на примере изображения простейшего элемента — точки. При изображении любого тела дело сводится к проектированию (изображению на плоскостях) характерных его точек.

Отнесем изображаемую точку A' (рис. 17) к системе прямо-

угольных координат x' , y' , z' с началом в точке o' . Спроектируем по некоторому направлению P точку A' вместе с осями прямоугольных координат $o'x'$, $o'y'$, $o'z'$ на произвольно выбранную плоскость проекций K .

Проекцию начала координат o' обозначим буквой o , а проекции осей x' , y' , z' обозначим соответственно буквами x , y , z . Последние называются аксонометрическими осями. Проекцию точки A' обозначим буквой A . Она называется аксонометрической проекцией точки A' . Точка a_3 называется аксонометрической проекцией точки a'_3 , или вторичной горизонтальной проекцией точки A' . Аналогично могут быть получены вторичные проекции на других координатных плоскостях. Отрезки на плоскости проекций K , параллельные аксонометрическим осям x , y , z , определяющие положение точки A , есть аксонометрические координаты этой точки. На рис. 17 изображен отрезок a_3A (аксонометрическая координата z точки A).

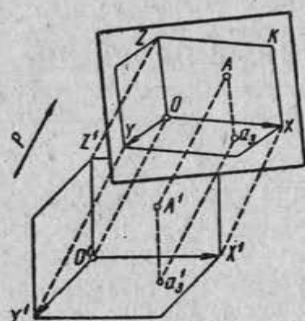


Рис. 17. Сущность аксонометрического проектирования

Из рис. 17, следует, что точка A может быть аксонометрической проекцией любой точки, лежащей на направлении $A'A$. Следовательно, одной аксонометрической проекцией положение точки не определяется. Аксонометрические координаты точки можно получить, если кроме аксонометрической проекции будет дана хотя бы одна вторичная проекция точки, например a_3 . Таким образом, в аксонометрической проекции точка вполне определяется: а) тремя аксонометрическими координатами, б) аксонометрической и вторичной проекциями и в) двумя вторичными проекциями. Всякое изменение точки A' в пространстве обязательно изменяет хотя бы одну из ее координат, а вместе с тем и изображение этой координаты, т. е. аксонометрические координаты точки будут уже иными.

Аксонометрическим проекциям присущи следующие основные свойства:

- 1) если линии в пространстве параллельны друг другу, то их аксонометрические проекции взаимно параллельны;
- 2) если отрезки прямых или углы лежат в плоскости, параллельной плоскости аксонометрических проекций, то они проектируются на последнюю не искажаясь;
- 3) если линии в пространстве пересекаются, то и аксонометрические проекции их пересекаются, причем точки пересечения их проекций являются проекцией точек пересечения самих линий в пространстве;

4) все параллельные отрезки искажаются при проектировании в одном и том же отношении. При построении объемных маркшейдерских графиков широко используются в качестве исходных материалов погоризонтные планы.

Это обстоятельство ставит в выгодное положение построения, основанные на использовании свойств аффинных преобразований, устанавливающих непосредственную проективную связь между различными горизонтальными плоскостями и плоскостью картины.

Сущность метода аффинных преобразований (аффинных проекций) заключается в следующем. Пусть в горизонтальной плоскости H (рис. 18), называемой предметной, располагается фигура Q ; пучком прямых, параллельных направлению S , каждая точка этой фигуры проектируется на картинную плоскость P , расположенную под углом ϕ к плоскости H . Соединяя полученные таким образом, точки на плоскости P , будет иметь на последней параллельную проекцию Q' фигуры Q .

При указанном проектировании каждой точке (например, точке A) плоскости H будет соответствовать единственная точка A' плоскости P и, наоборот, каждой точке плоскости P будет соответствовать единственная точка плоскости H . Таким образом, в результате параллельного проектирования между точками плоскостей H и P устанавливается взаимно однозначное соответствие, называемое родственным, или аффинно-перспективным. Линия пересечения плоскостей H и P , принимаемая при построении аффинных изображений за ось x , называется осью родства. Точки A и A' называются родственными точками.

Как следует из рис. 18, аффинная проекция Q' фигуры Q определяется взаимным положением плоскостей H и P и направлением проектирования S . Последнее преимущественно берется перпендикулярным к оси родства (оси x).

Перечисленные выше основные свойства аксонометрических проекций присущи и аффинным проекциям, так как в основе тех и других лежит один и тот же принцип параллельного проектирования.

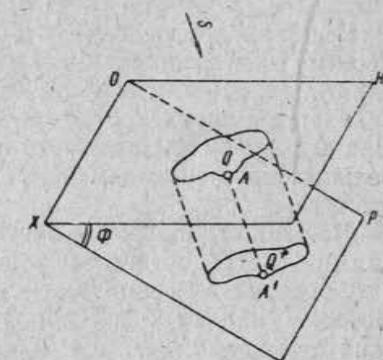


Рис. 18. Сущность метода аффинных преобразований

Ниже кратко излагаются основные вопросы использования аксонометрии и аффинных преобразований при построении наглядных маркшейдерских графиков. Подробное и систематическое их изложение читатель может найти в книге Г. А. Ушакова и И. Д. Гольдина [1, 9].

§ 8. Аксонометрические проекции

В целях обеспечения необходимой наглядности и удобоизмеримости аксонометрического изображения объекта можно задаваться любым положением плоскости проекций K и любым направлением проектирования P относительно плоскости проекций. При этом размеры предмета на чертеже в направлениях, параллельных координатным осям, искажаются в том же отношении, что и сами оси.

Лучшая удобоизмеримость аксонометрического изображения предмета достигается в том случае, если координатные оси в пространстве совпадают с основными размерами предмета. Поэтому при изображении горных выработок или геологических структур стремятся координатные оси (x' , y' , z') в пространстве брать условными и параллельными соответственно направлениям линий простирания и падения залежи и отвесной линии. При этом отношение аксонометрических координатных осей к соответствующим координатным осям в пространстве характеризует искажения основных размеров предмета на чертеже. Так, отношение $\frac{x}{x'}$ служит мерой искажения на аксонометрическом изображении в направлении, параллельном оси ox . Обозначается это отношение буквой p . Аналогичным образом выражаются отношения

$$\frac{y}{y'} = q \quad \text{и} \quad \frac{z}{z'} = r.$$

Величины p , q , r называются показателями искажения координат, так как показывают, как искажаются в проекциях линии, параллельные осям координат, или координаты какой-нибудь точки.

Отложим на осях координат в пространстве от начала o' отрезки, равные единице длины. Тогда $x'=1$, $y'=1$ и $z'=1$. Подставив их в выражения для p , q , r , найдем, что $p=x$, $q=y$, $r=z$. Таким образом, показатели искажения координат выражают длины аксонометрических проекций отрезка, равного единице и отложенного на осях координат в пространстве.

Показатели искажений координат для разных осей, вообще говоря, различны, но иногда они могут быть попарно или все

равны друг другу. На этом признаке основана классификация аксонометрических проекций.

Если показатели искажений вдоль всех трех осей координат различны ($p \neq q \neq r$), то проекции называются триметрическими.

Проекции называются диметрическими, если показатели искажений координат вдоль двух каких-нибудь осей одинаковы, например $p=q$, $p=r$ или $q=r$.

Проекции называются изометрическими, если все показатели искажений координат равны друг другу.

Для того чтобы иметь возможность судить о расположении координатных осей, определяя по чертежу размеры предмета, параллельные осям, около изображения дается система аксонометрических осей, проградуированных в соответствии с принятым численным масштабом, и указываются показатели искажений координат (рис. 19). Подобная система аксонометрических осей с соответствующими тремя линейными масштабами называется аксонометрическим масштабом. Пследний характеризует условия принятого аксонометрического проектирования.

Направление проектирования P по отношению к плоскости проекций K может быть косоугольным или прямоугольным. В первом случае аксонометрические проекции называются косоугольными и являются общим видом параллельного проектирования, во втором случае — прямоугольными.

Для косоугольных аксонометрических проекций основой являются теорема Польке: «Три произвольные прямые на плоскости чертежа, пересекающиеся в одной точке, могут быть приняты за аксонометрические проекции данных прямоугольных координатных осей в пространстве, а три произвольные конечные числа p , q , r могут быть приняты показателями искажений» и выражение

$$p^2 + q^2 + r^2 = 2 + \operatorname{ctg}^2 \sigma, \quad (\text{II}, 1)$$

где p , q , r — показатели искажений координат;

σ — угол между направлением проектирования и плоскостью проекций.

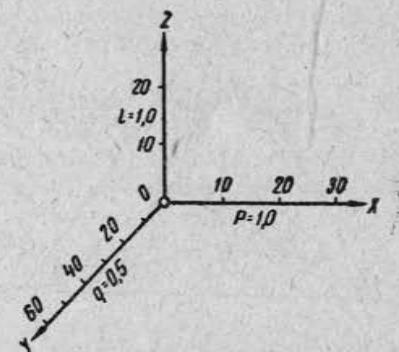


Рис. 19. Аксонометрический масштаб

На рис. 20 изображены пространственные координатные оси $o'x$, $o'y$, $o'z$ и плоскость аксонометрических проекций x y z .

При проектировании начала пространственных координат o' по нормали $o' o_2$ к плоскости проекций на последней изображаются аксонометрические координаты o_2x , o_2y , o_2z (прямоугольное проектирование).

Если возьмем произвольное направление проектирования $o'o$, образующее с плоскостью проекций угол, отличный от прямого, то на ней изображаются аксонометрические координаты ox , oy , oz (косоугольное проектирование). Здесь угол $o'oo_2$ является углом σ .

При прямоугольном проектировании выражение (II, 1) принимает вид:

$$p^2 + q^2 + r^2 = 2, \quad (\text{II}, 2)$$

при котором можно задаваться значениями показателей искажений в пределах, определяемых формулой (II, 2').

Углы (S , T , U) между аксонометрическими осями при прямоугольном проектировании находятся в зависимости от принятых значений p , q , r по известным из курсов начертательной геометрии формулам

$$\left. \begin{aligned} \cos S &= -\frac{1}{2qr} \sqrt{(p^2 + q^2 - r^2)(p^2 - q^2 + r^2)} \\ \cos T &= -\frac{1}{2pr} \sqrt{(p^2 + q^2 - r^2)(-p^2 + q^2 + r^2)} \\ \cos U &= -\frac{1}{2pq} \sqrt{(p^2 - q^2 + r^2)(-p^2 + q^2 + r^2)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II}, 2')$$

или таблицам.

В выражении (II, 2') по сравнению с аналогичными формулами первого и второго изданий книги внесены исправления в соответствии с замечаниями, сделанными В. М. Зубовым.

Из изложенного следует, что косоугольные проекции дают большую свободу в выборе условий проектирования. При этом можно задаваться аксонометрическими осями под произвольными углами друг к другу и выбирать наиболее удобные показатели искажений.

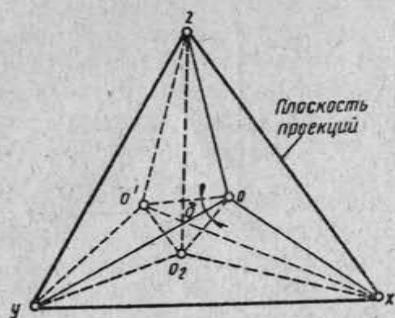


Рис. 20. Косоугольная и прямоугольная проекции пространственных координатных осей $o'x$, $o'y$, $o'z$

В практике получила признание косоугольная аксонометрическая проекция с показателями: $p=r=1$, $q=0,5$ и $\angle xoy=135^\circ$, обеспечивающая при изображении горных выработок простоту построения, хорошую наглядность и подходящие метрические свойства графика.

Объект любой сложной формы, с точки зрения изображения его на чертеже, представляет собой комплекс характерных точек. Поэтому порядок построения аксонометрического изображения объекта по его плану в проекции с числовыми отметками целесообразно проследить на примере изображения точки.

Пусть на рис. 21, а дана ортогональная проекция m'_1 точки M' . Ее положение в пространстве относительно условного начала o' определяется величинами $\Delta x'$, $\Delta y'$ и отметкой 16. На рис. 21, б построен аксонометрический масштаб косоугольной диметрической проекции для заданного численного масштаба.

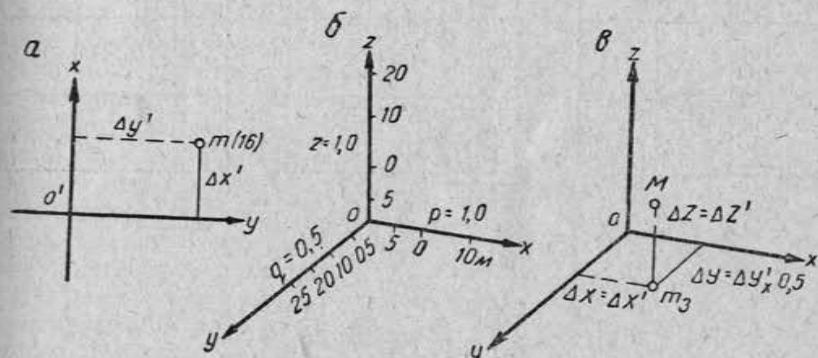


Рис. 21. Аксонометрическое изображение точки

Пользуясь данными, указанными на рис. 21, в, сначала строят горизонтальную вторичную проекцию m_3 , а затем и аксонометрическую проекцию M точки M' , отстоящую в масштабе построения от m_3 на величину отметки.

Аксонометрическое изображение прямой, плоскости или других элементов объекта, заданных комплексом точек, будет производиться аналогично рассмотренному. Для этого все характерные точки предмета, изображенные на плане в проекциях с числовыми отметками, строят в аксонометрической проекции и соединяют между собой линиями так же, как они соединены в натуре.

Построение аксонометрических изображений горных выработок обычно производят по погоризонтным маркшейдерским планам в следующем порядке.

Пусть на рис. 22, а изображены горизонты —30 м, —230 м и —335 м части рудника.

Выбирают начало условных координат, направление координатных осей и коэффициенты искажений по этим осям. Начало координат целесообразно приурочивать к характерной точ-

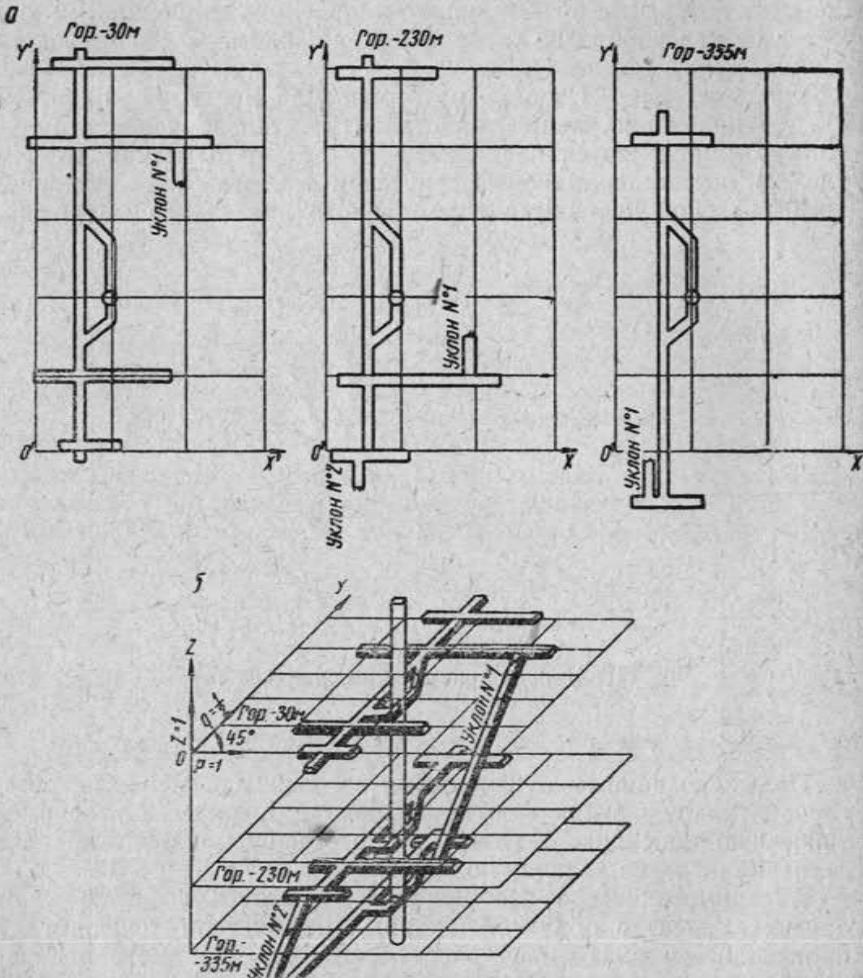


Рис. 22 Построение плана в аксонометрической проекции (по Г. А. Ушакову):
а — погоризонтные планы горных выработок, б — аксонометрическое изображение горных выработок

ке, имеющейся на всех погоризонтных планах, например оси вертикальной выработки. Направления координатных осей x' и y' берут совпадающими с направлениями основных выработок. Коэффициенты выбирают такими, чтобы они не нарушали наглядности и были удобными при построении.

В рассматриваемом примере аксонометрический масштаб характеризуется следующими данными: $p=r=1$, $q=0,5$ и ось y располагается под углом 45° к оси x .

Для каждого горизонта на кальке строят аксонометрическую координатную сетку с учетом принятых направлений осей и показателей искажений.

Далее на кальку наносят контуры горных выработок. В рассматриваемом примере размеры, параллельные осям x , берутся без искажений, а параллельные оси y уменьшаются вдвое.

Для получения изображения объекта кальки отдельных горизонтов монтируют на ватмане в общий график, ориентируясь при этом по координатным сеткам. Относительные положения отдельных горизонтов по оси z определяются их высотами и показателем искажения r . Изображения горизонтов с кальк переносят на ватман. Соединяют между собой выработки смежных горизонтов. Наносят недостающие линии и тени, делающие изображение выработок объемным (рис. 22, б).

По мере продвижения горных работ графики пополняют.

При построении наглядных маркшейдерских графиков для условий со сложными контурами горных выработок иногда применяется так называемая плановая аксонометрия.

При этом погоризонтные маркшейдерские планы в аксонометрическое изображение выработок входят без искажений,

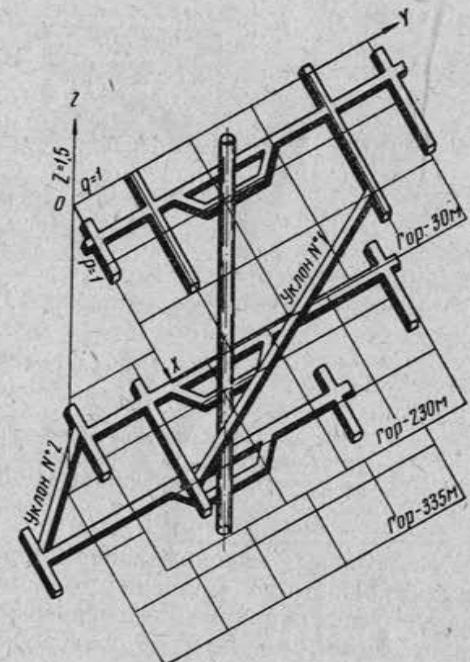


Рис. 23. Изображение горных выработок рис. 22 в плановой аксонометрии (по Г. А. Ушакову)

получая в соответствии с высотами, направлением проектирования и показателем искажения r некоторые сдвиги по оси z .

На рис. 23 изображены в плановой аксонометрии горные выработки, представленные на рис. 22. Построение и пополнение этого графика значительно упрощается. Однако сравнение рисунков 22, б и 23 свидетельствует о лучшей наглядности первого и более высоких метрических качествах второго.

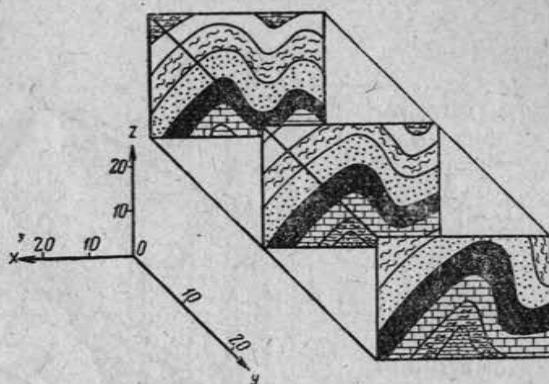


Рис. 24. Изображение блок-диаграммы геологической структуры в косоугольной аксонометрической проекции (по И. Д. Гольдину)

Косоугольные аксонометрические проекции удобно применять при построении блок-диаграмм геологических структур с использованием вертикальных геологических разрезов по заданным направлениям, например по разведочным линиям.

Для простоты построения на блок-диаграммах направления координатных осей принимают совпадающими с направлениями основных размеров структуры, т. е. с высотой, простиранием и направлением вкrest простириания. Лучшие метрические свойства изображения структуры при обеспечении его наглядности достигаются, когда показатели искажения по осям равны единице. Аксонометрические координатные оси, в плоскости которых располагаются вертикальные, параллельные или близкие к ним поперечные разрезы, должны быть перпендикулярны друг другу и иметь показатели искажения, равные единице. При этом указанные разрезы перенесутся на блок-диаграмму без искажений.

При значительных высотах структур или малых расстояниях между вертикальными разрезами в целях уменьшения перекрытий в соседних сечениях показатели искажения по оси, совпадающей с простирианием структуры, увеличиваются в неко-

тором кратном отношении к единице, например в два раза, или делается соответствующая разрядка вертикальных разрезов.

На рис. 24 построена блок-диаграмма геологической структуры участка в пределах трех геологических разрезов.

Расположенный слева аксонометрический масштаб свидетельствует о том, что вертикальные геологические разрезы на блок-диаграмму перенесены без искажений. Во избежание значительных перекрытий показатель искажения q здесь взят равным двум. Ось y делит угол xoz пополам.

Приведенные примеры составления наглядных маркшейдерских графиков иллюстрируют большие возможности использования метода аксонометрии для этих целей.

§ 9. Аффинные проекции

Использование аффинных преобразований при построении наглядных графиков требует установления зависимости между координатами соответствующих точек картинной и предметной плоскостей. Координаты точек картинной плоскости называются аффинными координатами.

При изображении наглядных графиков пространственных тел приходится иметь дело с точками, лежащими на разных горизонтах, т. е. не только в предметной плоскости, но и в предметном октанте, заключенном между координатными плоскостями.

На рис. 25 изображена плоскость плана (предметная плоскость) H и картинная плоскость P . Угол между ними обозначим буквой Φ . Возьмем в предметной плоскости H точку $B(x_0y_0z_0)$ и в предметном октанте — точку $A(x_0y_0z_0)$. Примем линию пересечения плоскостей H и P (ось родства) за ось x , линию, ей перпендикулярную и лежащую в плоскости H , — за ось y ; ось z вертикальна. Пусть направление проектирования S составляет с осями координат углы, косинусы которых обозначим через a , b , c , тогда точки $B'(x_2y_2z_2)$ и $A'(x_1y_1z_1)$, лежащие в картинной плоскости P , будут соответственно родственны точкам B и A .

Из теории аффинных проекций известно, что аффинные координаты любой точки, лежащей в предметном октанте, для

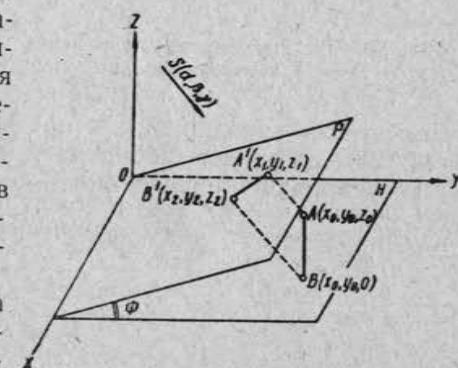


Рис. 25. Аффинные координаты (общий случай проектирования)

общего случая проектирования (см. рис. 25) найдутся из выражений [9]:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = x_0 - \alpha \frac{my_0 + nz_0}{m\beta + n\gamma}; \\ y_1 = n \frac{\gamma y_0 - \beta z_0}{m\beta + n\gamma}; \\ z_1 = m \frac{\beta z_0 - \gamma y_0}{m\beta + n\gamma}. \end{array} \right\} \quad (\text{II}, 3)$$

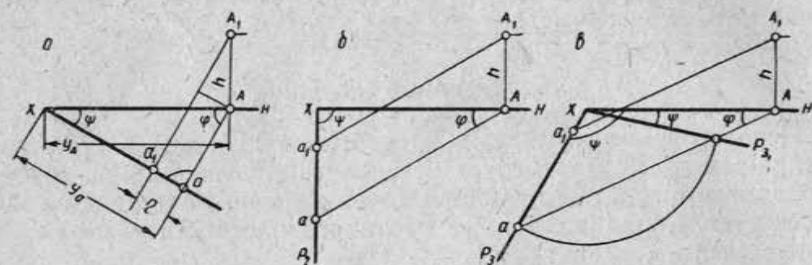


Рис. 26. Частные случаи применения аффинных преобразований к построению наглядных изображений

Для точки, находящейся в предметной плоскости (точка В на рис. 25), аффинные координаты для рассматриваемых условий проектирования определяются формулами:

$$\left. \begin{array}{l} x_2 = x_0 - \alpha \frac{my_0}{m\beta + n\gamma}; \\ y_2 = n \frac{\gamma y_0}{m\beta + n\gamma}; \\ z_2 = -m \frac{\gamma y_0}{m\beta + n\gamma}. \end{array} \right\} \quad (\text{II}, 4)$$

отличающимися от (II, 3) тем, что здесь $z=0$.

Формулы (II, 3) и (II, 4) показывают, что аффинные координаты зависят от координат проектируемой точки (x_0, y_0, z_0) и от условий проектирования ($\alpha, \beta, \gamma, m, n$). Здесь m и n определяются углом Φ и численно равны: $m = \sin \Phi$ и $n = \cos \Phi$.

Применительно к конкретным условиям графического построения наглядных изображений берут частные случаи проектирования. Обычно направление S проектирующих лучей берется перпендикулярным к оси родства (оси x). При этом картина плоскости P к плоскости плана H может располагаться под любым углом (рис. 26), а проектирование по отношению к

плоскости P может быть прямоугольным (рис. 26, а) или косоугольным (рис. 26, б и в). Как следует из рис. 26, для рассматриваемых условий проектирования важной величиной, определяющей направление проектирующих лучей, является угол наклона их φ к горизонту.

В качестве иллюстрации применения аффинных преобразований при построении наглядных маркшейдерских графиков рассмотрим частный случай прямоугольного проектирования (см. рис. 26, а), при котором проектирующие лучи, будучи перпендикулярны осям родства и плоскости P_1 , образуют с плоскостью H угол φ .

Для рассматриваемых условий аффинные координаты точки, лежащей в плоскости плана H , определяются выражениями:

$$\left. \begin{array}{l} x_a = x_A; \\ y_a = y_A \sin \varphi. \end{array} \right\} \quad (\text{II}, 5)$$

Если бы изображаемая точка находилась в предметном октанте (точка A_1 на рис. 26, а) и имела превышение h над плоскостью H , то в картинной плоскости она заняла бы положение a_1 , т. е. переместилась относительно точки a на величину

$$\eta = h \cos \varphi. \quad (\text{II}, 6)$$

Формулы (II, 5) и (II, 6) получены для заданных условий проектирования из формул (II, 3) и (II, 4). Формула (II, 6) дает простое выражение для обработки высот точек. Ось z по проекции совпадает с аффинной ординатой y_a ; легко видеть, что для условий рис. 26, б $\eta = h$ и для рис. 26, в $\eta > h$.

На рис. 27 показан план горных выработок. Требуется графически построить аффинное их изображение при указанных выше условиях проектирования. Выбранное направление проектирования должно обеспечить объемное представление о расположении выработок в пространстве и исключить нежелательные перекрытия на аффинном изображении.

На плане перпендикулярно выбранному направлению проектирования проводят родственную ось. Чтобы меньше загро-

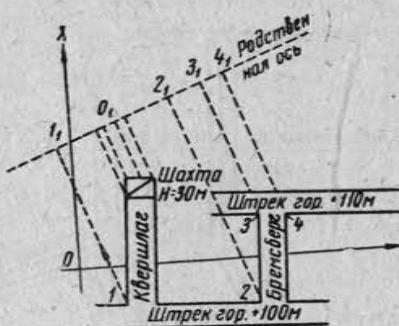


Рис. 27. План горных выработок

мождать чертеж, удобнее ее проводить вне изображаемого комплекса.

На родственную ось перпендикулярно проектируют характерные точки 1, 2, 3, 4 и т. д. плана, подлежащие перенесению графическим путем на аффинное изображение. Таким образом, на родственной оси получаются соответственно точки 1₁, 2₁, 3₁, 4₁ и т. д. Одна из них, например точка 0₁, принимается за начальную, относительно которой определяют положения на родственной оси всех других точек, представляющие собой абсциссы изображаемых точек. Отрезки 1—1₁, 2—2₁ и т. д. являются ординатами y_a этих точек на плане (см. рис. 27).

Далее на чистом листе бумаги, на котором строится аффинное изображение, проводят родственную ось для начального горизонта, например для горизонта 100, с таким расчетом, чтобы весь чертеж на листе разместился желательным образом (рис. 28). На ней отмечают начальную точку 0₁ и с рис. 27 без изменений, согласно выражению (II, 5), переносят абсциссы 0₁—1₁, 0₁—2₁ и т. д. всех характерных точек горизонта 100. Это будут отрезки на родственной оси 0₁—1₁, 0₁—2₁ и т. д. (см. рис. 28).

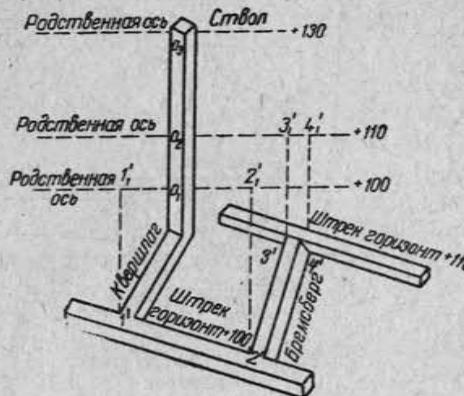
Рис. 28. Аффинное изображение горных выработок

горизонта, например для горизонта 100, с таким расчетом, чтобы весь чертеж на листе разместился желательным образом (рис. 28). На ней отмечают начальную точку 0₁ и с рис. 27 без изменений, согласно выражению (II, 5), переносят абсциссы 0₁—1₁, 0₁—2₁ и т. д. всех характерных точек горизонта 100. Это будут отрезки на родственной оси 0₁—1₁, 0₁—2₁ и т. д. (см. рис. 28).

Из полученных таким образом точек 1₁, 2₁ и т. д. перпендикулярно родственной оси проводят ординаты y_a . Величина их находится графически или вычисляется по формуле (II, 5); это будут отрезки 1₁—1', 2₁—2' и др. Точки 1', 2' и т. д. являются аффинными изображениями соответственных точек плана.

После этого точки 1', 2' и другие горизонта 100 соединяют прямыми в том же порядке, что и в натуре, производят необходимую дорисовку и накладку теней, обеспечивающие наглядное изображение горных выработок этого горизонта.

Точки следующего горизонта 110 строят аналогично. Для этого на рис. 28 проводят вторую родственную ось, отстоящую от первой, согласно формуле (II, 6), на расстоянии $\eta = 10 \cos \varphi$. На нее переносят перпендикулярно начальную точку 0₁ первой



родственной оси. От полученной таким образом нулевой точки 0₂ откладывают абсциссы 0₂—3', 0₂—4' и др., равные соответственно абсциссам плана 0₁—3₁, 0₁—4₁ и т. д. Из точек 3', 4' и др. проводят ординаты y_a —3'—3'', 4'—4''' и др., дающие точки 3'', 4''' и т. д. аффинного изображения. Соединяя их между собой и с точками соседнего горизонта, строят наглядное изображение выработок двух горизонтов.

Указанным способом строится аффинное изображение тел любой сложности.

Все пунктирные линии рис. 27 и 28 вычерчивают только в карандаше как вспомогательные и впоследствии стирают.

Из изложенного выше следует, что графические методы построения наглядных изображений являются довольно трудоемкими, так как требуют обработки большого количества точек и линий.

Для упрощения и ускорения построений, особенно при изображении сложных объектов, применяют специальные чертежные приборы, отвечающие требованиям того или иного способа построения наглядного графика.

В разное время было предложено много чертежных приборов для механического воспроизведения объемных изображений. Однако все они не получили такого широкого распространения, как, например, планиметры и пантографы. Это косвенным образом характеризует место и значение наглядных изображений в инженерной графике.

В качестве иллюстрации приведем здесь аффинограф А-2 И. Д. Гольдина, доведенный до заводского исполнения. Опытные его образцы изготовлены Харьковским заводом маркшейдерских инструментов.

Напомним, что приборы, при помощи которых механически получается аффинное преобразование ортогональных проекций, называются аффинографами. Все типы аффинографов делятся на два класса — пространственные и плоские. Первые не получили достаточного распространения. Плоские аффинографы конструктивно проще пространственных и достаточно эффективно обеспечивают получение аффинных преобразований, поэтому они пользуются большим признанием.

В плоских аффинографах все элементы конструкции движутся в плоскостях, параллельных предметной плоскости. С этой же плоскостью совмещена и картинная плоскость, на которой вычерчивается аффинное изображение.

Схема аффинографа А-2 представлена на рис. 29. Как следует из этого рисунка, кинематическая схема прибора основана на шарнирных параллелограммах. По направляющей штанге 4, прикрепленной кронштейнами 3 к верхнему краю чертежной

доски или стола, перемещаются две каретки 5, к которым присоединен плоский шарнирно-рычажный механизм, представляющий собой сочетание пантографа и транслятора, в виде двух спаренных параллелограммов. Штанги 2 являются общими для пантографа и транслятора. На пересечении коротких штанг 13 пантографа помещено обводное остряе 12. К штанге 11 транслятора на кронштейне 15 прикреплена линейка 8 с продольной

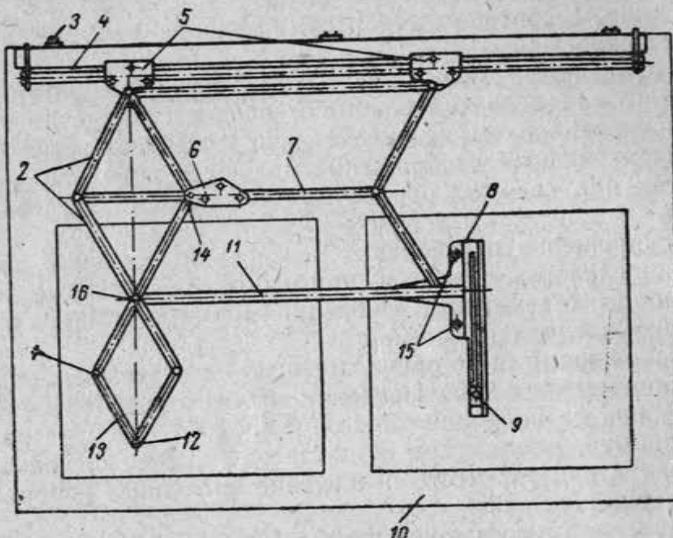


Рис. 29. Схема аффинографа А-2 И. Д. Гольдина

ной прорезью для перемещения пишущего остряя 9. Средняя штанга 7 транслятора служит направляющей для каретки 6, прикрепленной к шарниру 14.

Вся система прибора опирается на три поворотных ролика и может легко перемещаться по ним. Кроме того, она может поворачиваться около направляющей 4 при поднятии системы над чертежом.

Перемещение обводного остряя 12 перпендикулярно направляющей 4, расположенной вдоль оси родства, вызовет соответствующее преобразованное перемещение среднего шарнира 16 пантографа в том же направлении. Коэффициент преобразования зависит от соотношения длины сторон пантографа. В рассматриваемом приборе он равен 0,58. Пишущий штифт 9, вынесенный в приборе вправо, копирует все движение центрального шарнира 16.

Как следует из рис. 29, в приборе достигнуто удобное для

работы расположение исходного и получаемого изображения слева и справа от исполнителя.

Для обеспечения аффинных преобразований в направлении, перпендикулярном оси родства, использована в качестве ограничителя направляющая 7, расположенная поперек направления преобразования. При этом гарантируется устойчивость направляющей, которая, являясь стороной шарнирного параллелограмма, всегда будет параллельна оси родства.

Во всех положениях прибора шарниры 12 и 16 размещаются на одном перпендикуляре к оси родства. Следовательно, пишущее остряе 9, связанное с шарниром 16, будет осуществлять преобразование в направлении, перпендикулярном к родственной оси.

При перемещении обводного остряя параллельно оси родства вся система скользит на каретках 5 по основной направляющей 4 и пишущее остряе 9 изображает прямую, равную по величине и направлению данной.

Все остальные направления перемещения обводного и пишущего остряя складываются из этих двух перемещений.

Перемещение пишущего остряя 9 по продольной прорези линейки 8 на величину η соответствует перемещению изображаемого горизонта на величину h .

Точность построения аффинографом соответствует точности построений, выполняемых пантографом, т. е. отвечает требованиям графического решения технических задач.

Механическое выполнение наглядного графика особенно желательно при изображении сложных контуров и сложных скрытых или условных поверхностей, с которыми приходится иметь дело при составлении структурных и качественных графиков месторождений полезных ископаемых.

Наглядность изображения сложной поверхности значительно улучшается, если участок ее ограничить четким и простым контуром. Тогда изображение получается в виде блока, похожего на пространственный макет. При этом контур участка лучше брать прямоугольной формы со сторонами, параллельными средним направлениям простирания и падения.

В заключение следует напомнить, что наглядные графики имеют назначение дать объемное представление о сложных узлах того или иного объекта. Решение по ним метрических задач целесообразно производить только при приближенных предварительных расчетах. При этом задачи сводятся главным образом к определению расстояний между заданными точками и к нахождению по объемному графику углов между направлениями. Решение их чаще выполняется графическим методом.

Точные технические расчеты проще производятся на чертежах в проекциях с числовыми отметками.

4 и. Н. Ушаков

Глава III

ЛИНЕЙНЫЕ И СТЕРЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

§ 10. Общие сведения

В горной геометрии часто приходится решать задачи, связанные с определением угловых величин (нахождение элементов залегания, определение истинных углов между направлениями и плоскостями и др.).

Указанные задачи удобно решать при помощи метода центрального проектирования. Для этого все заданные в пространстве линии и плоскости переносят параллельно самим себе в одну точку, около которой описывают сферу радиусом R . Пересечений указанных линий и плоскостей со сферой проектируют с помощью пучка лучей на плоскость. Полученные проекции точек и линий пересечения позволяют определять углы между заданными направлениями и плоскостями.

В зависимости от характера расположения центра проектирования (точки зрения) и плоскости проекций относительно сферы получаются разные проекции.

Если центр проектирования находится в центре сферы, а горизонтальная плоскость проекций является касательной к поверхности сферы в точке z (рис. 30), то проекция называется линейной. При этом проекции направлений и плоскостей представляются в виде легко вычерчиваемых образов — точек и прямых. Расстояние их от постоянной точки z на плоскости проекций зависит от углов наклона δ направлений и плоскостей к горизонту и определяется выражением

$$zm = R \operatorname{ctg} \delta = R \operatorname{tg}(90^\circ - \delta). \quad (\text{III}, 1)$$

Угол $(90^\circ - \delta)$ называется зенитным углом.

Недостатком линейной проекции является то, что по мере

уменьшения угла δ или увеличения зенитного угла проекции линий и плоскостей быстро удаляются за пределы чертежа. В самом деле, чем меньше δ , тем дальше располагается линейная проекция направления или плоскости от главной точки z проекции.

Если центр проектирования располагается в точке надира z' сферы, а горизонтальная плоскость проекции проходит через центр сферы (рис. 31), то проекция называется стереогра-

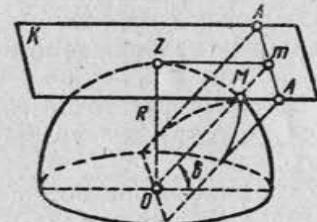


Рис. 30. Линейная проекция

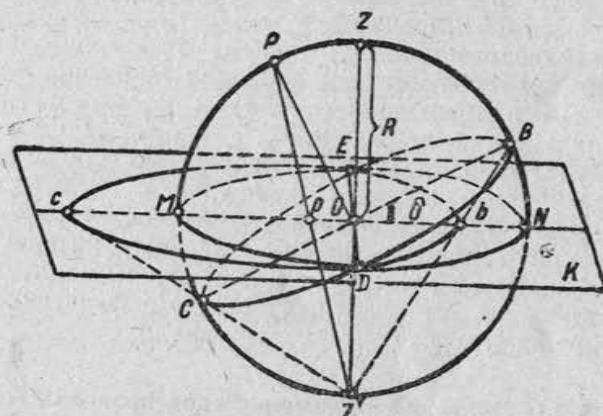


Рис. 31. Стереографическая проекция

фической. Здесь проекции линий и плоскостей в пересечении со сферой дают точки и сферические линии, которые, будучи спроектированы из точки z' на плоскость K проекций, соответственно изображаются на ней в виде точек, прямых и дуг окружности. Так, например, линия BC изобразится в стереографической проекции отрезком bc . Так как по условиям проектирования все линии проходят через центр сферы — точку O , то линия BC вполне будет определяться положением на проекции точки b .

Плоскость, проходящая через линию BC , дает на сфере большой круг $CEBD$, стереографическая проекция которого на плоскости K представится, как это будет доказано ниже, окружностью $cEbD$. В пределах круга горизонта (сечения сферы плоскостью K) стереографическая проекция плоскости $CEBD$ изобразится дугой EbD этой окружности.

Прямая ED , являющаяся линией пересечения наклонной плоскости $CEBD$ с плоскостью K , будет линией ее простириания. Отрезок bO — проекция прямой BO . Если последняя — линия падения плоскости $CEBD$, то bO — стереографическая проекция этой линии.

Из рис. 31 следует, что углы наклона плоскости $CEBD$ и прямой BC характеризуются величиной отрезка Ob из следующего выражения:

$$Ob = R \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ - \delta}{2} \right). \quad (\text{III}, 2)$$

Нормаль к плоскости $CEBD$ в точке O в пересечении со сферой даст точку P , называемую полюсом. Ее стереографическая проекция — точка p — называется гномостереографической проекцией плоскости $CEBD$.

Стереографическая проекция лишена отмеченного выше недостатка линейной проекции. В пределах круга проекций изображаются все направления (линии) и плоскости, имеющие углы падения в диапазоне от 0 до 90° .

Из формул (III, 1) и (III, 2) следует, что для определения отрезков zt и Ob или для нахождения зенитных углов ($90^\circ - \delta$) и углов падения δ линий и плоскостей удобно пользоваться шкалой тангенсов. Величина углового интервала шкалы при этом берется в зависимости от величины радиуса сферы. Так, например, на стандартных стереографических сетках Вульфа величина углового интервала равна 2° .

§ 11. Линейная и гномоническая проекции

Линейная и гномоническая проекции направлений и плоскостей

Точка z на плоскости K линейной проекции (см. рис. 30) называется главной точкой. Через нее проводится исходное направление — ось x .

Выше мы видели, что направления и плоскости, имеющие углы падения меньше 45° , дают линейные проекции, далеко отстоящие от главной точки z . Чтобы обеспечить все построения в пределах чертежа, вводится вспомогательная проекция — гномоническая, позволяющая делать взаимный переход от направления к перпендикулярной к нему плоскости и, наоборот, — от плоскости к перпендикулярному к ней направлению.

Линейная проекция плоскости, перпендикулярной к данному направлению, является гномонической проекцией этого направления, а линейная проекция направления, перпендикулярного к данной плоскости, является гномонической проекцией последней. Следовательно, линейной проекцией направления будет точка, а гномонической проекцией — прямая линия. Наоборот, линейной проекцией плоскости будет прямая линия и гномонической проекцией — точка.

Обозначим большими буквами первой половины алфавита линейные проекции направлений и плоскостей, а малыми буквами той же части алфавита — их гномонические проекции. При этом направления на проекции будем обозначать одной буквой, а проекции плоскостей — двумя одинаковыми буквами.

Линейная и гномоническая проекции одного и того же элемента обозначаются одинаковыми буквами. Так, например, гномоническая проекция плоскости AA обозначается буквой a , а гномоническая проекция направления B — буквами bb .

С помощью линейных и гномонических проекций решаются горногеометрические задачи следующих типов;

- 1) по заданным элементам залегания направлений и плоскостей строятся их линейные или гномонические проекции;
- 2) по проекциям направлений и плоскостей определяются их элементы залегания;
- 3) определяются углы между направлениями и плоскостями.

Рассмотрим решения этих задач.

Пусть даны элементы залегания плоскости (a, δ) и направления (ao, δ_0). Требуется построить их линейные и гномонические проекции. Ход построения показан на рис. 32. Здесь x — положительное направление оси абсцисс, а z — главная точка проекций.

Из рис. 30 следует, что заданные плоскость и направление падают к главной точке z . При построении линейной проекции плоскости совместим треугольник ztO , лежащий в вертикальной плоскости, путем вращения около стороны zt с плоскостью проекций. Этот прием совмещения позволяет уяснить построение линейной проекции плоскости.

По заданному простиранию a плоскости через точку z проводят прямую, вдоль которой откладывают радиус R сферы (рис. 32). Перпендикулярно прочерченному простиранию через точку z проводят линию восстания плоскости. Затем при точке O_1 от прямой O_1z в сторону восстания плоскости строят угол, равный зенитному углу ($90^\circ - \delta$) плоскости. Пересечение стороны этого угла с линией восстания плоскости дает точку t , лежащую в плоскости проекций. Прямая AA , проходящая через точку t и параллельная zo_1 , является искомой линейной проекцией плоскости и одновременно линией простирания плоскости. Направление простирания указано стрелкой.

Построим гномоническую проекцию данной плоскости. Из изложенного следует, что последняя строится как линейная проекция направления, перпендикулярного плоскости. Поэтому при точке O_1 от стороны O_1t в сторону падения плоскости строят прямой угол. Построенная таким образом сторона прямого угла в пересечении с продолжением линии падения tz плоско-

сти дает точку a — искомую гномоническую проекцию плоскости.

При построении линейной проекции данного направления BO через главную точку z проекции проводят под углом α_0 прямую. Перпендикулярно к ней в точке z строят прямую $zO_2=R$. При точке O_2 строят угол $(90^\circ - \delta_0)$, сторона которого в пересечении с прямой в точке B дает линейную проекцию заданного направления. Таким образом, здесь, так же как и при построении линейной проекции плоскости, используется вертикальный треугольник zOm (рис. 30), совмещенный с плоскостью проекций.

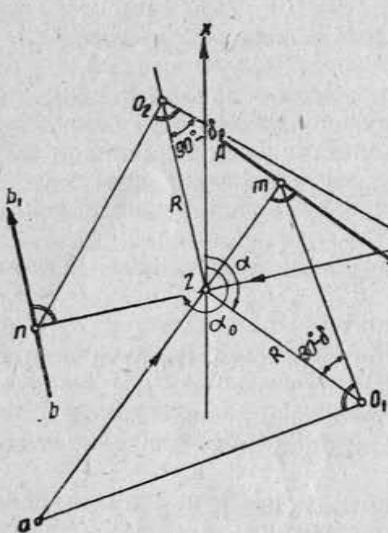


Рис. 32. Линейная и гномоническая проекции плоскости и направления

Пряная bb_1 — искомая гномоническая проекция направления BO .

Необходимость перехода от линейной проекции к гномонической или обратного перехода вызывается требуемой точностью построений. Последняя определяется значениями углов наклона к горизонту задаваемых направлений и плоскостей. При $\delta(\delta_0) < 45^\circ$ рекомендуется пользоваться гномонической проекцией, а при всех других значениях — линейной проекцией.

Так как построение линейной и гномонической проекций производится одинаково и разница заключается лишь в замене направления плоскостью или в обратной замене, то ниже решение задач рассматривается только в линейной проекции.

Остановимся на обратной задаче, рассмотренной выше, — на определении элементов залегания направления или плоскости по их линейной проекции. Пусть на плоскости проекций (см. рис. 32) имеется линейная проекция AA плоскости. Простирание плоскости AA найдется измерением угла между положительным направлением оси x и линией AA . Падение плоскости

направлено к главной точке z проекции. Для определения величины падения угла δ опустим перпендикуляр из точки z на линию AA . Проведем zO_1 перпендикулярно zt , точку O_1 соединим с точкой t . Угол O_1tz будет искомым углом падения плоскости. Последний может быть найден с помощью линейной шкалы тангенсов по величине отрезка zt .

Теперь по линейной проекции направления OB определим его элементы залегания. Соединим точки B и z прямой и из точки z проводим перпендикуляр $zO_2=R$ сферы. Точку O_2 соединим прямой с точкой B . Угол zBO_2 — искомый.

Часто встречающаяся горногеометрическая задача — определение элементов залегания плоскости, заданной двумя направлениями (задача «на пересекающиеся шнуры»), — легко решается с помощью линейной проекции.

Пусть два направления, лежащие в плоскости, заданы элементами залегания. Требуется найти элементы залегания этой плоскости. По заданным элементам залегания направлений строят их линейные проекции — A и B (рис. 33). Последние, одновременно находясь в данной плоскости и плоскости проекций, имеют одинаковые отметки; следовательно, они лежат на линии простирания плоскости. Проведя через точку z направление zC , параллельное прямой AB , получим искомое простирание a плоскости.

Для определения угла падения δ плоскости восстановим перпендикуляр zt к прямой AB и на линии zC отложим радиус R сферы. Точку O соединим прямой с точкой t . Угол $Otz = \delta$ — искомый угол падения плоскости.

Удобнее решать данную задачу с помощью сетки линейной проекции, представляющей собой проекцию градусной сети сферы через определенный угловой интервал. При этом проекции меридианов — радиально расходящиеся из точки z прямые, а проекции параллелей — концентрические окружности около точки z радиуса, определяемого формулой (III, 1).

Определение углов между направлениями (прямыми)

Теорема. Чтобы построить на чертеже истинный угол β между направлениями (прямыми) OA и OB , линейные проекции которых A и B даны, надо провести прямую AB и восстановить к ней перпендикуляр zt (рис. 34, а); к последнему пер-

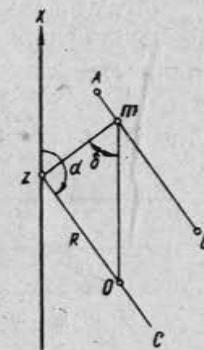


Рис. 33. Определение элементов залегания плоскости по двум направлениям с помощью линейной проекции

пендикулярно провести $\overline{zO}=R$ и точку O соединить с точкой m ; затем при точке O от стороны \overline{mO} построить прямой угол mOP ; разделить угол $P Oz$ пополам и полученную точку S соединить с линейными проекциями направлений — точками A и B . Угол $ASB=\beta$.

Доказательство. $\overline{AB} \perp m z$ по построению. Прямая \overline{zO} перпендикулярна к плоскости проекции и, следовательно, — к линии AB , лежащей в этой плоскости. Поэтому плоскость Ozm ,

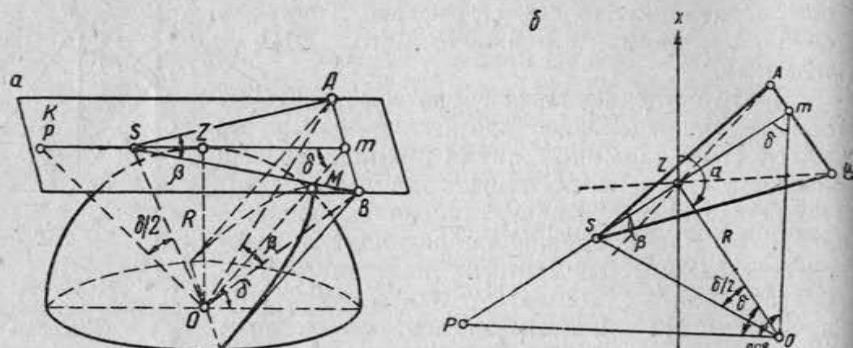


Рис. 34. Определение угла между направлениями:
а — к доказательству теоремы, б — к решению задачи

перпендикулярная AB , перпендикулярна плоскости AOB , т. е. углы AmO и BmO — прямые.

Для нахождения точки S построением в плоскости SOm к линии \overline{mO} восстанавливаем перпендикуляр OP , а угол $P Oz$ делим пополам биссектрисой OS . В треугольнике mSO углы при SO равны между собой, так как $\angle zSO=90^\circ-\frac{\delta}{2}$ (из прямоугольного треугольника OzS), а $\angle SOM=\angle POm-\frac{\delta}{2}=90^\circ-\frac{\delta}{2}$.

Далее рассмотрим две пары треугольников: ΔSmA , ΔOmA и ΔSmB , ΔOmB ; $\Delta SmA=\Delta OmA$ (катет Am — общий, $Sm=Om$); $\Delta SmB=\Delta OmB$ (катет Bm — общий, $Sm=Om$); следовательно, $SA=OA$ и $SB=OB$. Поэтому $\angle ASB=\angle AOB=\angle \beta$, что и требовалось доказать.

На рис. 34,б дано определение истинного угла β между двумя направлениями, заданными их линейными проекциями — точками A и B . Ход построений пояснений не требует.

Определение угла между плоскостями

Теорема. Чтобы построить на чертеже истинный угол γ между двумя плоскостями, линейные проекции которых $\overline{AA'}$ и $\overline{BB'}$ даны (рис. 35, а), нужно точку пересечения проекций m соединить с главной точкой проекций z ; перпендикулярно к \overline{zm} провести линию \overline{zO} , равную радиусу сферы R , и точку O соеди-

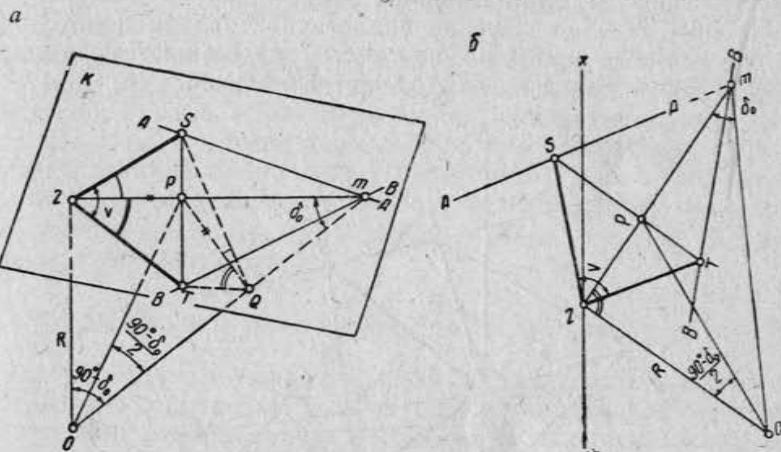


Рис. 35. Определение угла между плоскостями:
а — к доказательству теоремы, б — к решению задачи

нить с точкой m ; угол zOm разделить пополам биссектрисой OP ; в точке P восставить перпендикуляр к линии zm до пересечения его с проекциями плоскостей в точках S и T ; полученные точки S и T соединить с точкой z . Угол SzT — искомый.

Доказательство. Прямая mz является проекцией линии пересечения плоскостей $\overline{mz} \perp \overline{ST}$ по построению. Треугольник Ozm по условиям построения лежит в отвесной плоскости. Перпендикуляр \overline{PQ} к линии пересечения \overline{Om} лежит также в отвесной плоскости. Следовательно, $\overline{PQ} \perp \overline{ST}$, а треугольники SPQ и TPQ (дающие при точке Q линейный угол двугранного угла между данными плоскостями) являются прямоугольными. $\triangle OzP=\triangle OQP$, так как оба прямоугольны; гипотенуза \overline{OP} — общая и острые углы равны. Следовательно, $\overline{zP}=\overline{PQ}$. Далее $\triangle SPz=\triangle SPQ$ и $\triangle TPz=\triangle TPQ$ по двум катетам; следовательно,

$$\angle SzP = \angle SQP$$

и

$$\angle TzP = \angle TQP,$$

откуда

$$\angle SzT = \angle TQS = v,$$

что и требовалось доказать.

На рис. 35, б в соответствии с изложенным выполнено определение истинного угла v между двумя плоскостями. Ход построения понятен без пояснений.

На рис. 36 дано решение аналогичной задачи для условий, когда линейные проекции плоскостей пересекаются за пределами чертежа. Рассмотрим этот частный случай.

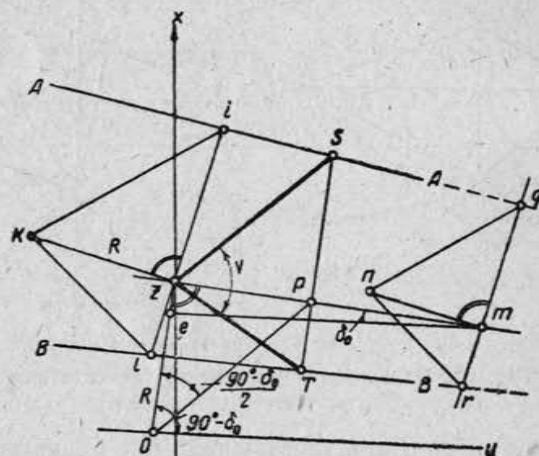


Рис. 36. Определение угла между плоскостями (линейные проекции плоскостей пересекаются вне чертежа)

Пусть на рис. 36 точка z — главная точка проекции и прямые $\overline{AA'}$ и $\overline{BB'}$ — линейные проекции плоскостей при радиусе сферы, равном R . Для определения истинного угла v между плоскостями здесь, так же как и при решении предыдущей задачи, необходимо построить линию пересечения и найти угол наклона ее к горизонту. При этом следует использовать принцип пропорциональности и подобия. Возьмем два вертикальных параллельных сечения по линиям il и qr , причем первое из них проходит через точку z . В совмещенном с плоскостью плана положении оно представлено на рис. 36 контуром ikl . Точка k , лежащая на линии пересечения, отстоит по высоте от точки z на расстоянии, равном радиусу сферы R .

Вертикальное сечение по линии qr представлено на фигуре контуром qnr ; точка n , также лежащая на линии пересечения, отстоит по высоте от точки m (плоскости плана) на расстоя-

ни mn . Точки z и m , являясь проекциями точек k и n , характеризуют положение линии пересечения плоскостей в плане. Разность же высот точек k и n ($zk - mn = ze$) относительно плоскости плана характеризует угол δ_0 наклона линии пересечения к горизонту. Линия $\overline{Ou} \parallel em$ дает совмещенное с плоскостью плана положение линии пересечения. Далее, пользуясь $\angle zOu = 90^\circ - \delta_0$, находят точку P и угол v так же, как это сделано в общей задаче.

Более частным случаем, чем только что рассмотренный, будет такой, когда линейные проекции плоскостей параллельны между собой. Здесь линия пересечения плоскостей в плане пойдет через точку z и будет параллельна проекциям их, т. е. будет горизонтальна. Совмещенное с плоскостью плана положение линии пересечения будет также параллельно проекциям плоскостей. Следовательно, $\overline{zP} = \overline{zO} = R$, откуда просто найдется точка P и построится угол v .

Определение угла между прямой и плоскостью

Для решения этой задачи можно воспользоваться выводами относительно определения угла между направлениями. Пространственное представление о геометрических отношениях элементов, входящих в задачу, дает рис. 37, а. Здесь даны пло-

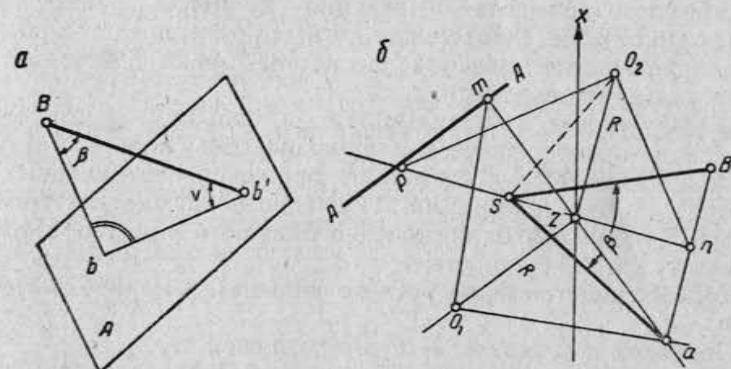


Рис. 37. Определение угла между прямой и плоскостью

скость A и прямая Bb' . Требуется определить угол v между прямой и плоскостью. Как видно из рис. 37, а, искомый угол v образован данной прямой и ее прямоугольной проекцией bb' на плоскость A . Этот угол равен дополнению до 90° к углу β при точке B , составленному данной прямой и нормалью Bb' к плоскости A . Следовательно, решение этой задачи сводится к ре-

шению уже известной задачи, а именно к определению угла $b'Bb = \beta$ между прямыми Bb' и Bb , после чего искомый угол найдется из выражения

$$\nu = 90^\circ - \beta. \quad (\text{III}, 3)$$

Решим задачу в линейной проекции.

По данным элементам залегания прямой и плоскости строим их линейные проекции — точку B и прямую AA . Они изображены на рис. 37, б. Линейная проекция нормали к плоскости A или гномоническая проекция этой плоскости представится точкой a . Таким образом, мы имеем линейные проекции двух направлений — данной прямой (точку B) и нормали к плоскости A (точку a). Далее уже известным приемом определяем угол между этими направлениями, равный β . Вычитая его из 90° , получаем искомый угол ν .

§ 12. Стереографические проекции

Основные свойства и теоремы

Основными свойствами стереографических проекций являются:

1. Внутри основного круга (сечение сферы с плоскостью проекций) может быть изображена вся верхняя полусфера.

2. Стереографическая проекция является равноугольной (конформной), т. е. углы между дугами круга, представляющими стереографические проекции плоскостей, равны действительным углам между плоскостями.

3. Окружности как малых, так и больших кругов изображаются в стереографической проекции окружностями (дугами их) и в частном случае (при изображении вертикальных плоскостей) прямыми линиями. Последние для общности можно считать дугами кругов бесконечно большого радиуса. Проекция плоскости есть окружность.

Первое свойство было уяснено раньше — в начале настоящей главы.

Перейдем к доказательству второго свойства.

Угол между кривыми линиями в пространстве измеряется углом между касательными к ним в точке пересечения этих кривых. Пусть в точке A сферы (рис. 38) пересекаются два больших круга сферы. Пусть прямые AB и AC являются касательными к указанным сферическим линиям (не показанным на фигуре). При этом точки B и C — точки пересечения касательных с плоскостью проекций K . Тогда угол $BAC = \beta$ будет мерой угла между сферическими линиями. Точка a — проекция точки A сферы. Прямые aB и aC — проекции прямых AB и AC .

Так как проекции касательных к кривым — сами касательные к проекциям кривых, то угол $BaC = \beta_1$ является мерой криволинейного угла — проекции угла между кривыми при точке A . Для доказательства теоремы достаточно обнаружить, что $\beta = \beta_1$.

Прямые AB и AC , касательные к некоторым кривым на сфере, касательны к последней. Продолжим их до пересечения в точках B' и C' с плоскостью H . Последняя касается поверхности сферы в точке z' . Соединим точки z' , B' , C' и A , B , C прямыми и обозначим угол $B'z'C'$ буквой β' . Стороны треугольников aBC и $z'B'C'$ соответственно параллельны друг другу, как образованные линиями пересечения плоскостей $AC'B'$, $AB'z'$ и $Az'C'$ с двумя параллельными между собой плоскостями K и H . Следовательно, $aB \parallel z'B'$, $aC \parallel z'C'$ и $\angle \beta' = \angle \beta_1$, как углы с параллельными сторонами. Остается доказать, что $\angle \beta' = \angle \beta$. Треугольники $C'B'A$ и $C'B'z'$ равны, так как сторона $C'B$ — общая для обоих треугольников, а $C'z' = C'A$, $B'z' = B'A$, как касательные к сфере, выходящие попарно из общих точек C' и B' . Таким образом, $\triangle C'B'A = \triangle C'B'z'$; отсюда равны между собой и соответственные им углы, в том числе углы β и β' , т. е. $\angle \beta' = \angle \beta$.

Но так как $\angle \beta' = \angle \beta_1$, то

$$\angle \beta_1 = \angle \beta, \quad (\text{III}, 4)$$

что и требовалось доказать.

Докажем третье свойство.

Доказательство проведем применительно к плоскостям, дающим в сечении со сферой малые круги, и полученные выводы распространим на большие круги.

Пусть дана нам окружность малого круга DME (см. рис. 38).

Опишем вокруг сферы конус, касающийся ее по окружности DME . Возьмем горизонтальную плоскость H_1 , проходящую через вершину F указанного конуса. Точка f — стереографическая

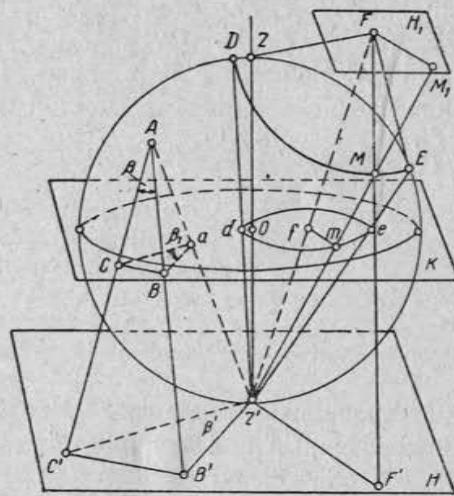


Рис. 38. Основные свойства стереографических проекций

проекция точки F . Точка M — произвольно выбранная точка на окружности DME . Ее стереографическая проекция представлена точкой m . Требуется доказать, что длина отрезка \overline{fm} не зависит от положения точки M на окружности.

Проведем через точку F в плоскости H_1 и через точку z' в плоскости H прямые FM_1 и $z'F'$, параллельные отрезку \overline{fm} , лежащему в плоскости K . Далее продолжим прямую FM до пересечения с прямой $z'F'$ в точке F' и прямую $z'm$ до пересечения с прямой $F'M$ в точке M_1 . По построению все эти линии лежат в одной плоскости. По построению же $FM_1 \parallel fm \parallel z'F'$.

Поэтому

$$\frac{\overline{fm}}{\overline{FM}_1} = \frac{\overline{z'f}}{\overline{z'F}}.$$

откуда

$$\overline{fm} = \overline{FM}_1 \cdot \frac{\overline{z'f}}{\overline{z'F}}. \quad (\text{III}, 5)$$

Треугольники MFM_1 и $z'F'M$ подобны. Кроме того, $\Delta z'F'M$ — равнобедренный при вершине F' , так как $\overline{F'z'} = \overline{F'M}$, как касательные к сфере, выходящие из одной точки F' . На этом основании ΔMFM_1 также равнобедренный при вершине F . Поэтому $\overline{FM} = \overline{FM}_1$. Подставляя в формулу (III, 5) FM вместо FM_1 , будем иметь

$$\overline{fm} = \overline{FM} \cdot \frac{\overline{z'f}}{\overline{z'F}}. \quad (\text{III}, 6)$$

Величины \overline{FM} , $\overline{z'f}$, $\overline{z'F}$, входящие в правую часть выражения (III, 6), не зависят от положения точки M на окружности DME . В самом деле, \overline{FM} как образующая конуса есть величина постоянная, не зависящая от положения точки M на окружности, а $\overline{z'f}$ и $\overline{z'F}$ не связаны с точкой M и постоянны для данного положения малого круга. Следовательно, \overline{fm} — величина постоянная, не зависящая от положения точки M на окружности, и поэтому внутри замкнутой кривой dem есть точка f , от которой все точки этой кривой находятся на одинаковом расстоянии. Это значит, что кривая dme , являющаяся стереографической проекцией малого круга DME , есть окружность, что и требовалось доказать.

Если мы наклонную плоскость возьмем проходящей через центр сферы, т. е. вместо малого круга возьмем большой круг, то точка центра проектирования в этом случае будет находиться в бесконечности. Таким образом, приведенное доказательство пря-

мо распространить на большой круг нельзя. Но так как всякий большой круг есть предельное (частное) положение малого круга, то доказанная теорема будет справедлива и для него. В самом деле, если мы параллельно большому кругу проведем от него на бесконечно малом расстоянии малый круг, то для него полученный вывод будет справедлив. При дальнейшем сближении этих кругов их стереографические проекции в пределе совпадут. При этом точки проекции малого круга, в совокупности дающие окружность, будут неограниченно приближаться к соседним точкам проекции большого круга.

Построение стереографических проекций плоскостей

При построении стереографической проекции плоскости по заданным элементам ее залегания встает вопрос об определении радиуса и центра стереографической проекции.

На рис. 39, а изображена сфера, плоскость проекций K , наклонная плоскость $BDCE$, заданная элементами залегания — простиранием ED и углом наклона к горизонту δ ; стереографическая проекция этой плоскости — окружность $bDcE$ и основной круг проекций — $MDNE$. Рис. 39, б представляет собой вертикальный разрез сферы рис. 39, а по линии Mc .

Из этого разреза следует, что $\angle Cz'B$ — прямой, как опирающийся на диаметр \overline{BC} , поэтому $\Delta cz'b$ — прямоугольный. Половина его гипotenузы $ub = uc = uz' = r$ есть радиус окружности, являющейся стереографической проекцией заданной наклонной плоскости. Из рис. 39, б следует также, что центр окружности (стереографической проекции плоскости) точка u располагается на продолжении прямой \overline{bO} . Определим расстояние до точки u от центра сферы точки O и искомый радиус r стереографической проекции в зависимости от радиуса R сферы и угла падения δ заданной плоскости.

Треугольник $z'ub$ — равнобедренный, поэтому $\angle uz'b = \angle z'bu$. Угол $z'bu$, как известно, равен

$$\frac{\angle BM + \angle z'N}{2} = \frac{90^\circ + \delta}{2}.$$

Угол $uz'b$ измеряется половиной дуги QB . Но $\angle QB = \angle QP + 90^\circ$. Поэтому

$$\angle uz'b = \frac{\angle QP + 90^\circ}{2} = \frac{90^\circ + \delta}{2}.$$

Следовательно, $\angle QP = \delta$. Но так как $\angle POz = \delta$, то $Qz = 2\delta$, или $\angle uz'O = \delta$.

При этом расстояние uO , определяющее центр стереографической проекции относительно центра сферы — точки O , легко найдется из прямоугольного треугольника $uz'0$, а именно,

$$uO = R \operatorname{tg} \delta. \quad (\text{III}, 7)$$

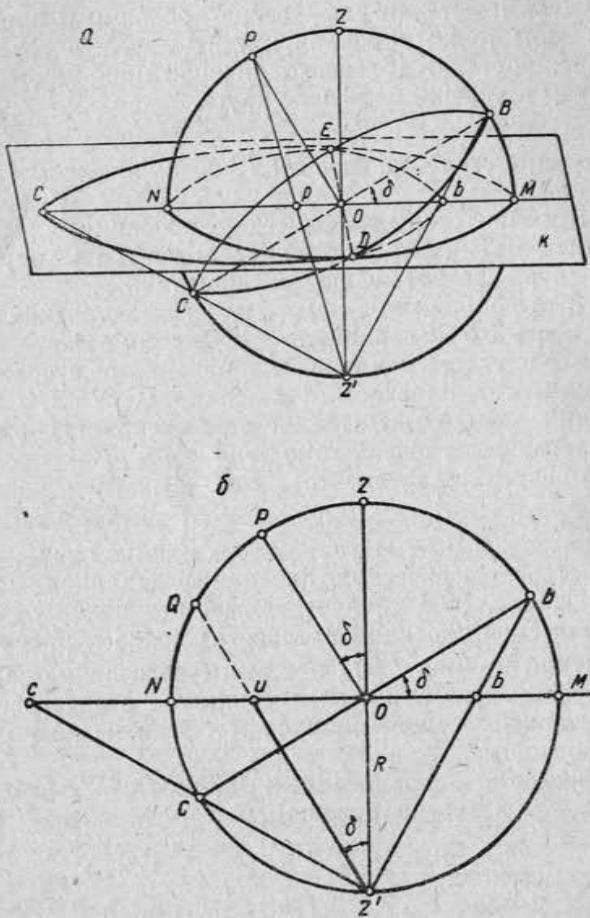


Рис. 39. Стереографическая проекция плоскости:
а — изображение на плане, б — вертикальное сечение

Таким образом, расстояние центра стереографической проекции некоторой плоскости от центра круга проекций равно радиусу сферы, умноженному на тангенс угла наклона этой плоскости.

Из этого же прямоугольного треугольника определим радиус стереографической проекции:

$$r = R \sec \delta, \quad (\text{III}, 8)$$

где R — радиус сферы, берется произвольной величины и часто принимается равным 10 см.

Построим стереографическую проекцию плоскости P , заданной элементами залегания — углом простирания a и углом падения δ . По a от положительного направления оси x (рис. 40) на круге проекции из точки O проводим линию простирания ED заданной плоскости. При точке D или E в сторону падения плоскости строим угол δ , сторону Du которого проводим до пересечения с линией падения плоскости в точке u . Последняя является центром дуги стереографической проекции плоскости, а стороны Du — ее радиусом. Величины Ou и Du можно получить также вычислением из выражений (III, 7) и (III, 8). Из точки u радиусом r проводится дуга DE , стягиваемая хордой — диаметром ED круга проекции. В пределах последнего дуга DE и является стереографической проекцией плоскости.

Обратная задача — по стереографической проекции плоскости определить ее элементы залегания.

Пусть в пределах круга проекции мы имеем стереографическую проекцию плоскости — дугу ED (см. рис. 40). Ее хорда будет являться линией простирания плоскости. Угол между положительным направлением оси x и направлением простирания плоскости будет искомой величиной a . Из центра круга проекций точки O проведем прямую, перпендикулярную ED , до пересечения с проекцией плоскости в точке b . Точку b соединим прямой линией с точкой D . Угол ODb , как это следует из рис. 39, равен $\frac{90^\circ - \delta}{2}$, так как $\angle ODb = \angle Ozb$. Отсюда легко находится угол падения плоскости δ .

5 И. Н. Ушаков

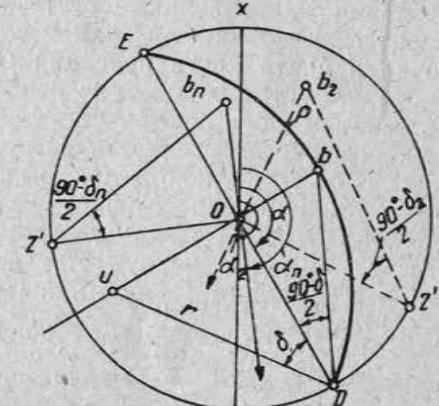


Рис. 40. Построение стереографической проекции плоскости и направления. Определение элементов залегания

Стереографическая проекция прямой (направления)

Пусть нам дана прямая BC в пространстве (см. рис. 39). Ее стереографической проекцией является прямая \bar{bc} . Но так как она проходит через центр сферы (круга проекций) — точку O и последняя всегда является отправным пунктом построения, то стереографическая проекция участка BO заданной прямой — прямая $\bar{b}O$ — определяет положение в пространстве всей прямой BC . Таким образом, для построения стереографической проекции направления достаточно построить проекцию одной точки пересечения этой прямой со сферой — точку b . Указанная точка и центр круга проекций O вполне определяют положение прямой в пространстве; поэтому говорят, что стереографическая проекция прямой есть точка. Направление отрезка bo (см. рис. 39) определяет простирание прямой BC , а его длина зависит от угла наклона прямой к горизонту.

Пусть нам даны $\alpha_{\text{п}}$ и $\delta_{\text{п}}$ — элементы залегания некоторой прямой $B_{\text{п}}C_{\text{п}}$. По $\alpha_{\text{п}}$ через точку O проводим прямую (см. рис. 40), отмеченную стрелкой. Перпендикулярно к ней из точки O проводим прямую Oz' . Построив при точке z' угол, равный $\frac{90^\circ - \delta_{\text{п}}}{2}$ и проведя его сторону $z'b_{\text{п}}$ до пересечения с направлением, обратным простиранию прямой в точке $b_{\text{п}}$, мы получим стереографическую проекцию прямой $B_{\text{п}}C_{\text{п}}$ — точку $b_{\text{п}}$.

Обратная задача — определение элементов залегания прямой по ее стереографической проекции — решается следующим образом. Пусть точка b_2 есть стереографическая проекция прямой B_2C_2 . Соединим прямой точку b_2 с точкой O и продолжим ее далее, как это показано пунктирной линией со стрелкой. Угол α_2 будет простиранием данной прямой. Восстановим из точки O перпендикуляр Oz' к Ob_2 . Соединим прямой точку z' с точкой b_2 .

Угол

$$Oz'b_2 = \frac{90^\circ - \delta_2}{2},$$

откуда легко найти δ_2 .

Определение углов между плоскостями и направлениями

Определение угла между плоскостями. Пусть даны элементы залегания двух плоскостей P_1 и P_2 ($\alpha_1\delta_1$; $\alpha_2\delta_2$). Требуется определить истинную величину угла v между ними. Изобразим круг проекций радиуса R . Через точку O проведем ось x (рис. 41). Пользуясь заданными значениями α_1 и α_2 , строим линии простирания плоскостей P_1 и P_2 , изображающиеся в пределах

круга проекций диаметрами E_1D_1 и E_2D_2 . Перпендикулярно к ним из точки O проводим линии падения плоскостей (тонкие линии со стрелкой). При точках D_1 и D_2 строим соответственно углы падения δ_1 и δ_2 плоскостей P_1 и P_2 . Стороны этих углов продолжаем до пересечения с линиями падения плоскостей в точках u_1 и u_2 . Последние являются центрами, из которых радиусами r_1 и r_2 на хордах E_1D_1 и E_2D_2 проводим соответственно дуги, представляющие собой в пределах круга горизонта стереографические проекции плоскостей P_1 и P_2 .

Точку пересечения этих дуг обозначим буквой A . По свойству конформности проекции угол при точке A между дугами D_1AE_1 и D_2AE_2 выражает истинную величину угла v между плоскостями. Этот угол может быть получен как угол между касательными к дугам в точке их пересечения или как угол между радиусами r_1 и r_2 , проведенными к точке A .

На рис. 41 угол v получен путем проведения радиусов к точке A . При крутых углах падения задаваемых плоскостей центры стереографических проекций удаляются за пределы чертежа, что является недостатком стереографической проекции. В этих случаях следует пользоваться гномостереографической или линейной проекцией.

Определение угла между прямыми (направлениями). Можно свести к определению угла между плоскостями, пользуясь положением, что угол v между нормалями к плоскостям равен углу между плоскостями. Заданные направления при этом следует представить нормалями к соответствующим плоскостям, явившимся в данном случае вспомогательными, и искомый угол v между направлениями найти в зависимости от угла v между этими плоскостями. Элементы залегания плоскостей определяются по элементам залегания направлений из выражений:

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 + 90^\circ; \\ \delta &= 90^\circ - \delta_0, \end{aligned} \quad \text{(III, 9)}$$

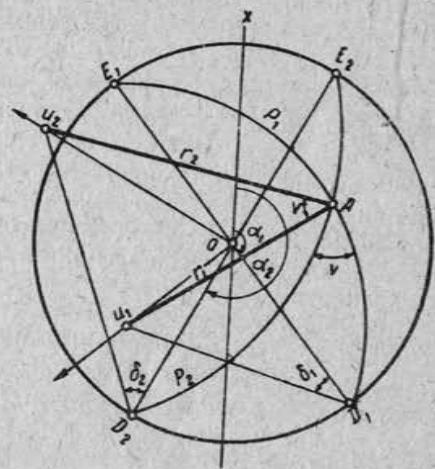


Рис. 41. Определение угла между плоскостями

где α_0, δ_0 — простижение и падение данного направления;
 α, δ — простижение и падение вспомогательной (перпендикулярной данному направлению) плоскости.

Определение угла между плоскостью и направлением можно свести к задаче определения угла между плоскостями. По общей схеме угол между прямой и плоскостью находится как дополнение до 90° к углу между этой прямой и нормалью к плоскости, т. е. задача по существу сводится к предыдущей — определению угла между направлениями.

Определение угловых величин при решении горногеометрических задач с помощью сеток

В практике графического определения угловых величин при решении горногеометрических задач широко пользуются картографическими сетками, которые очень упрощают и облегчают построения. Картографической сеткой называется изображение плоскости координатных линий (градусной сети) сферы.

При изображении сферической поверхности на плоскости неизбежны искажения изображения. Характер искажений зависит от особенностей выбранной проекции, а величина их различна в разных частях проекции.

Та из картографических сеток, присущих данной проекции, которая имеет наиболее простой вид, называется нормальной (полярной) сеткой этой проекции.

Среди проекций для горной геометрии интерес представляют азимутальные проекции, параллели нормальной сетки которых изображаются концентрическими окружностями, меридианы — радиусами этих окружностей, а углы между меридианами сетки равны соответствующим углам на сфере.

При выборе проекций исходят из соображений точности построений с целью определения искомых величин, близости между контурами на сфере и на проекции и простоты оценки симметрии рисунка на сфере по его изображению на проекции.

Из теории картографических проекций следует, что стереографическая проекция, обладая ценными для решения задач сферической геометрии свойствами конформности, дает наибольшие искажения площадей, равноплощадная — наибольшее искажение углов и направлений. Равнопромежуточная же проекция, одинаково искажая как площади, так и направления, обладает рядом преимуществ перед стереографической и равноплощадной проекциями.

Для решения горногеометрических задач с помощью сетки важной является точность построений.

Если Δ — наибольшая ошибка нанесения точки на сетку (на практике в рядовых построениях она не меньше 0,2—0,3 мм),

то величина ошибки построения δ зависит от отношения наименьшего масштаба m , встречающегося при изображении на плоскости проекций полушария, к наибольшей ошибке Δ [3]

$$\delta = \frac{\Delta}{m}. \quad (\text{III}, 10)$$

Таким образом, со стороны точности построений наивыгоднейшей проекцией является проекция, имеющая наименьший масштаб, больше наименьшего масштаба всех других проекций.

Величина ошибки построения δ достигает минимума в равнопромежуточной проекции. Так, в стереографической проекции масштаб в центре в два раза меньше, чем на круге проекций. Следовательно, здесь определение углов в центре будет менее точным, чем на периферии сетки.

Равнопромежуточная проекция обеспечивает одинаковую точность построений по всей сетке.

Из изложенного следует, что при горногеометрических расчетах удобнее пользоваться сетками в стереографической и равнопромежуточной проекциях.

В практике пользуются полярной (нормальной) и экваториальной (поперечной) сетками азимутальных проекций. Экваториальные сетки, как обеспечивающие графическое решение максимального числа геометрических задач, получили наибольшее признание.

Стереографической полярной сеткой называется проекция градусной сети сферы на плоскость экватора с расположением центра проектирования в точке надира сферы.

В экваториальной (поперечной) стереографической проекции точка зрения располагается в какой-нибудь точке экватора, а плоскостью проекций служит плоскость меридиана, отстоящего от точки зрения на 90° .

Для построения полярной стереографической сетки с заданным угловым интервалом, например равным 10° , окружность радиуса разбивают на 36 равных частей (рис. 42). Через полученные точки проводят диаметры круга проекции, представляющие собой стереографические проекции меридианов. Они являются основой для азимутальных измерений. Круги высот на сетке изображаются системой концентрических окружностей, для проведения которых достаточно на горизонтальном радиусе круга проекций получить радиусы построением шкал тангенсов (стереографической шкалы) с заданным угловым интервалом. Вспомогательные линии при построении изображены на рис. 42 пунктиром.

При построении экваториальной стереографической сетки с заданным угловым интервалом окружность радиуса R указан-

ным интервалом разбивается на равные части (рис. 43). Полученные точки служат основой для азимутальных измерений. На рассматриваемой сетке строят на меридиональную плоскость стереографические проекции меридианов и параллелей сферы. Для этого на вертикальном и горизонтальном диаметрах строят с заданным угловым интервалом (на рис. 43— 30°) стереографические шкалы.

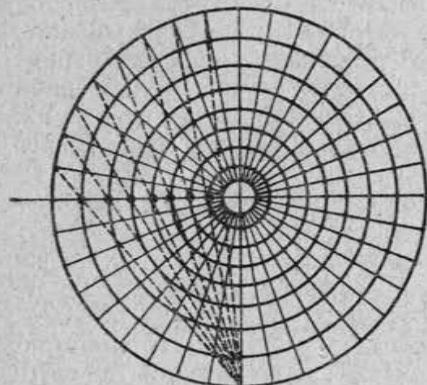


Рис. 42. Построение полярной стереографической сетки

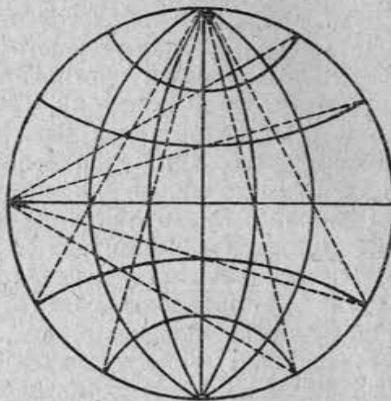


Рис. 43. Построение экваториальной стереографической сетки

Через одноименные точки шкал и круга проекции проводят окружности, являющиеся стереографическими проекциями меридианов и параллелей.

В практике решения задач широко используется стандартная экваториальная (поперечная) стереографическая сетка, предложенная Г. В. Вульфом и носящая его имя. Угловой интервал сетки равен 2° (рис. 44).

Экваториальная сетка равнопромежуточной проекции предложена В. В. Каврайским для графического решения астрономических задач. Сетка Каврайского строится по точкам пересечения меридианов и параллелей, наносимым по полярным координатам α и r и вычисляемым по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin \lambda \operatorname{ctg} \varphi; \quad (\text{III}, 11)$$

$$r = R\varepsilon = m^\circ; \quad (\text{III}, 12)$$

ε находится по формуле

$$\cos \varepsilon = \cos \lambda \cos \varphi, \quad (\text{III}, 13)$$

где α — азимут простирания;
 ε — зенитное расстояние;
 ε° — число градусов зенитного расстояния;
 λ, φ — долгота и широта данной точки пересечения;
 R — радиус сферы;
 m — длина дуги в 1° сетки.

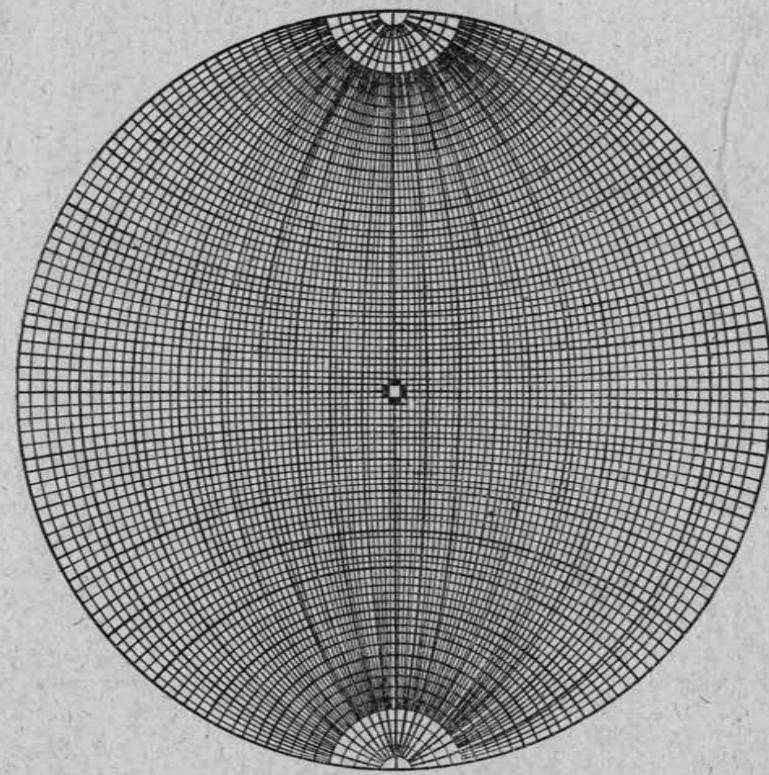


Рис. 44. Сетка Вульфа

На рис. 45 представлена экваториальная сетка равнопромежуточной проекции (сетка Каврайского). На стандартной сетке угловой интервал круга проекций берется равным 1° , а интервал шкал на вертикальном и горизонтальном диаметрах — $0^\circ,5$. Поэтому построения с помощью этой сетки можно вести с высокой графической точностью.

Решение задач с помощью сетки Каврайского производится точно таким же образом, как и с помощью сетки Вульфа.

Типовые горногеометрические задачи по определению угло-

вых величин путем построений без сеток нами рассмотрены выше.

Рассмотрим решение некоторых из них с помощью сетки Каврайского, приведя здесь известные из литературы [1, 6] примеры.

При решении сеткой пользуются как основой. Все постро-

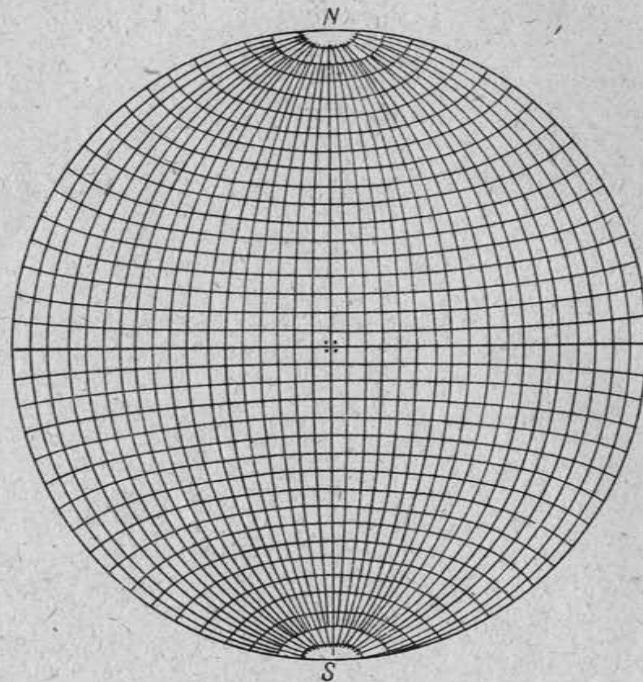


Рис. 45. Сетка Каврайского

ния производятся не на самой сетке, а на наложенной на нее кальке, на которой наносится центр сетки O и штрихом отмечается верхний конец вертикального диаметра сетки, обозначаемый буквой x . Далее для краткости будем называть его индексом. Центр сетки и индекс фиксируют на кальке исходное направление.

Пример 1. Даны два направления элементами их залегания ($\alpha_1=140^\circ$, $\delta_1=30^\circ$; $\alpha_2=260^\circ$, $\delta_2=40^\circ$). Азимуты направлений даны в сторону их восстания. Требуется: а) построить проекции направлений; б) определить угол между ними; в) построить проекцию плоскости, в которой лежат заданные направления; г) найти элементы залегания этой плоскости.

Для решения задачи калька накладывается на сетку, центрируется и ориентируется по вертикальному диаметру сетки с помощью точки O и ин-

дексом x . Далее при вращении кальки на сетке около точки O против часовой стрелки на величину α_1 индекс x по кругу проекции описывает соответствующую дугу относительно верхнего конца вертикального диаметра сетки. Тогда направление на кальке, совпадающее с верхним концом вертикального диаметра сетки, будет фиксировать взятое направление. Отсчитав на нем от периферии к точке O число градусов угла наклона δ_1 направления, на восковке получим проекцию направления — отрезок Oa (рис. 46, а). Аналогично строится проекция второго направления Oa_1 .

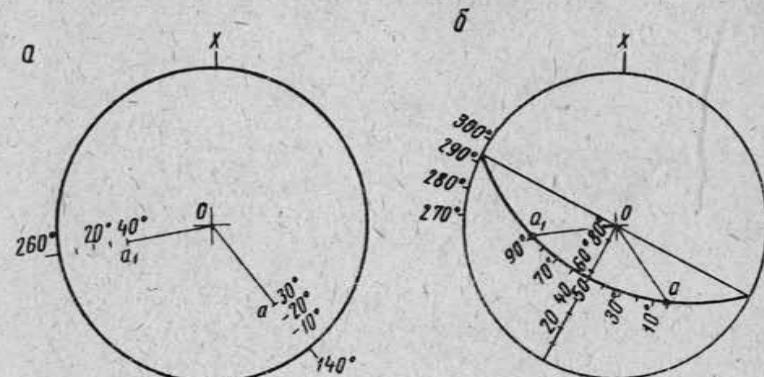


Рис. 46. Определение элементов залегания:
а — построение проекций направлений Oa , Oa_1 , б — определение угла между направлениями, построение плоскости по заданным направлениям и определение элементов залегания этой плоскости

Для определения угла между направлениями вращением кальки точки a и a_1 выводят на дугу меридиана сетки. Величина дуги aa_1 фиксирует величину искомого угла в градусах, отсчитываемых по сетке. В нашем примере этот угол равен 90° . Сама дуга меридиана представляет проекцию плоскости, в которой лежат заданные направления, а стягивающая ее хорда (вертикальный диаметр сетки) является линией простирации этой плоскости. Угол падения последней отсчитывается по горизонтальному диаметру сетки от ее периферии к точке O . Он равен 55° .

Азимут линии простирации плоскости определяют, отсчитывая по направлению часовой стрелки на круге проекций число градусов, заключенных между северным полюсом сетки и направлением простирации плоскости, предварительно установив вращением кальки в исходное положение (рис. 46, б).

Пример 2. Плоскость задана элементами залегания a и b . Построить проекции плоскости и нормали к ней.

После центрирования и ориентирования кальки на сетке последнюю врашают влево на величину азимута простирации a плоскости и на ней изображают вертикальный диаметр сетки, являющийся линией простирации плоскости. По углу падения δ плоскости на кальке строят слева от линии ее простирации дугу меридиана — проекцию плоскости. Отсчитав вправо от дуги по горизонтальному диаметру сетки 90° , на кальке получат положение проекции точки пересечения нормали к плоскости со сферой — точку p . На рис. 47 построена проекция заданной плоскости и нормали к ней.

Пример 3. Построить две пересекающиеся плоскости P и Q по их элементам залегания, найти элементы залегания линии пересечения плоскостей и угол между плоскостями. Провести плоскость, делящую этот угол пополам и найти элементы ее залегания.

Проекции плоскостей P и Q строят каждую в отдельности так, как это было выполнено в примере 2. Линия, соединяющая точку пересечения p дуги (проекцией плоскости P и Q) с центром O (рис. 48), является линией пересечения этих плоскостей. Продолжение ее до пересечения с кругом проекций, при совмещенном положении индекса x кальки с верхним полюсом сетки, позволит на этом круге отсчитать азимут простирания линии pO в сторону ее падения. Затем концентрическим вращением кальки точку пересечения p переводят на горизонтальный диаметр сетки, по которому от периферии к центру со стороны восстания отсчитывают угол наклона линии пересечения плоскостей к горизонту.

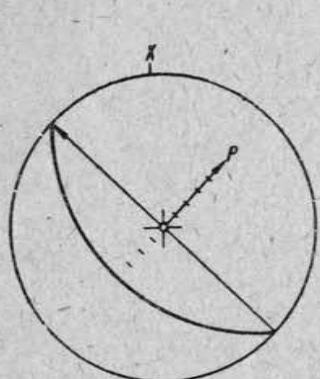


Рис. 47. Построение проекции плоскости и ее полюса по элементам залегания плоскости

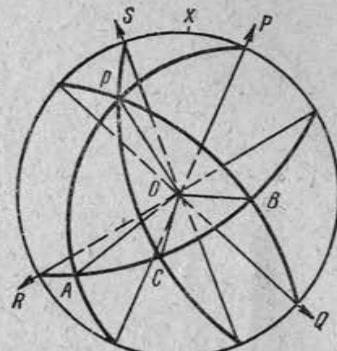


Рис. 48. Определение линии пересечения плоскостей, угла между ними и элементов залегания плоскости, делящей этот угол пополам

Для определения угла между пересекающимися плоскостями от точки p по горизонтальному диаметру отсчитывают 90° и проводят дугу меридiana, представляющую собой плоскость R , перпендикулярную к линии пересечения pO . Эта дуга пересекает проекции плоскостей P и Q в точках A и B (рис. 48). Дуга AB является мерой искомого угла, образованного пересекающимися плоскостями P и Q , и по ней отсчитывается число градусов, заключенных между точками A и B .

Точка C находится в середине дуги AB . Плоскость S , делящая угол, образованный плоскостями P и Q пополам, проходит через точку C и линию пересечения pO . Поэтому выведенные вращением кальки на дугу меридiana сетки точки C , p позволяют построить проекцию искомой плоскости путем изображения дуги этого меридiana на кальке (рис. 48).

Для определения элементов залегания плоскости по горизонтальному диаметру сетки отсчитывают угол падения плоскости, а после приведения кальки в исходное положение по кругу проекций отсчитывают азимут простирания плоскости.

Рассмотренная задача часто решается при определении угловых параметров складок и разрывных структур.

ЛИТЕРАТУРА К I РАЗДЕЛУ

1. Алифонов Н. Е. Проекции с числовыми отметками. Изд. «Руда», 1932.
2. Бауман В. И. Курс маркшейдерского искусства, ч. I. СПб., 1908.
3. Вистелиус А. В. Структурные диаграммы. Изд. АН СССР, 1958.
4. Казаковский Д. А. Маркшейдерское дело и геометризация недр. Углехимиздат, 1948.
5. Рыжов П. А. Геометрия недр. Углехимиздат, 1952.
6. Рыжов П. А. Проекции, применяемые в геолого-маркшейдерском деле. Углехимиздат, 1951.
7. Рыжов П. А., Букринский В. А. Горная геометрия. Углехимиздат, 1958.
8. Соболевский П. К. Современная горная геометрия. «Соц. реконструкция и наука», 1932, № 7.
9. Ушаков Г. А., Гольдин И. Д. Наглядные маркшейдерские графики. Металлургиздат, 1959.
10. Ушаков И. Н. Горная геометрия. Углехимиздат, 1951.
- Каврайский В. В. Графическое решение астрономических задач. Избранные труды т. I. Изд. гидрографической службы ВМФ, 1956.

ГЕОМЕТРИЯ ЗАЛЕЖИ И ЗАДАНИЯ ВЫРАБОТОК**A. ПЛОСКОСТНАЯ И СКЛАДЧАТАЯ ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ****Глава IV
ПЛОСКОСТНАЯ ФОРМА ЗАЛЕГАНИЯ****§ 13. Геометрические параметры залежи**

При разработке месторождений полезных ископаемых важное значение имеет определение формы залежей и их условий залегания. Последнее входит в задачу геометризации структуры месторождений полезных ископаемых.

Геометризация структуры в процессе разведки и разработки в части графических построений базируется на решении ряда горногеометрических задач.

Эти задачи сводятся к определению элементов залегания пород и других геометрических параметров, а также к заданию выработок на отдельных участках залежи.

Плоскостные формы залегания на отдельных участках дают распространенный вид геологических тел — пластов и жил, носящих общее название **плитообразных**.

Пласт представляет собой плитообразное тело осадочного происхождения, отделенное от других пород плоскостями напластования.

Пласти могут иметь длину, измеряемую километрами и десятками километров, и столь же большую ширину. Третье измерение — мощность пластов — может измеряться величинами от метра до сотен метров, т. е. мало сравнительно с двумя первыми измерениями.

Жилой принято называть минеральную массу, заполнившую трещину в каких-либо горных породах.

Жила, как плитообразное тело, имеет простирание и падение, которые могут изменяться, но и могут выдерживаться на всем протяжении жилы.

Размеры жил могут быть самыми разнообразными. В большинстве случаев длина их измеряется десятками или сотнями метров, а мощность — первыми единицами или десятыми долями метра. Но встречаются жилы, имеющие длину, измеряющую километрами, и мощность — десятками метров.

Мощность жилы может изменяться как по простиранию, так и по падению.

Пластовые месторождения являются более простыми в геометрическом отношении. Поэтому в методическом отношении правильнее начинать рассмотрение данного вопроса именно с пластовых месторождений полезных ископаемых.

Особенности других, более сложных форм месторождений будут отмечаться в соответствующих местах.

На слабодислоцированных участках пласти имеют спокойное пологое или наклонное залегание, при котором на значительных площадях изучаемые геологические контакты с достаточной степенью точности можно принимать за плоскости.

При интенсивной дислокации пласти принимают более сложные формы. Но и в этих случаях всегда можно выделить площадки таких размеров, на которых поверхности контактов можно принимать за плоскости. При этом допущении кривая поверхность заменяется поверхностью многогранника.

Каждая плоская площадка этого многогранника есть плоскость, касательная в данной точке поверхности. Представление о сложной поверхности залежи составляется из суммы представлений об отдельных плоских площадках.

Умение получить измерительные, вычислительные и графические данные о плоском залегании пласта является неизбежным этапом изучения любой формы залежи. Следовательно, решение горногеометрических задач применительно к плоскостным формам залегания будет постоянно сопутствовать разведке и разработке месторождений полезных ископаемых.

Линейные и угловые величины, установленные в отдельных точках или участках залежи и в совокупности позволяющие составить наглядное представление о форме залежи, а также об условиях ее залегания, называются **геометрическими параметрами**.

К ним относятся:

- 1) простирание и угол падения поверхности;
- 2) мощность залежи;
- 3) глубина залегания
- 4) положение в пространстве элементов симметрии изучаемой структуры.

Положение пласта в пространстве хорошо характеризуется двумя направлениями в плоскости пласта — линией простирания и линией падения, относимыми к определенной точке виляячего или лежачего бока залежи и называемыми элементами залегания.

Линией простирации пласта называется горизонтальная линия в плоскости того или иного бока пласта. Совокупность линий простирации позволяет изображать форму пласта изолиниями равных высот — изогипсами и решать с их помощью ряд практических задач.

Линия падения пласта перпендикулярна к линии простирации и фиксирует собой направление наибольшего ската в плоскости висячего или лежачего бока пласта. Ее наклон к горизонту называется углом падения пласта. Азимут линии падения и угол падения в данной точке пласта вполне определяют его положение.

Для однозначности за направление линии простирации пласта берется такое направление, от которого падение пласта располагается вправо. Это направление в плане определяется углом, отсчитываемым от положительного направления оси x по ходу часовой стрелки, называемым простиранием пласта и обозначаемым буквой a . Простирание линии падения обозначается символом a_p . Угол падения пласта принято в горной геометрии обозначать буквой δ .

Важной характеристикой залежи является ее мощность, т. е. расстояние между кровлей и почвой пласта по заданному направлению. Если не оговаривается направление, по которому берется мощность, то подразумевается расстояние между кровлей и почвой залежи по нормали. В этом случае мощность называется нормальной и обозначается буквой m .

Положение пласта или отдельных его частей в недрах определяется глубиной залегания. Последняя чаще всего берется как расстояние пласта от земной поверхности по вертикали и обозначается в этом случае буквой H . Иногда при характеристике положения горных выработок, пройденных по залежи, пользуются наклонной глубиной, понимая под ней расстояния от земной поверхности по направлению линии падения залежи. Линия, во всех точках которой глубина залегания H пласта равна нулю или мощности наносов, называется соответственно линией выхода пласта на земную поверхность или под наносы.

Элементами симметрии структуры, используемыми при решении горногеометрических задач, являются оси и осевые плоскости складок или залежей. Положение первых определяется азимутом a_0 и углом наклона δ_0 к горизонту. Так как направление оси складки a_0 берется в сторону ее погружения, то величины a_0 и δ_0 называются элементами залегания погружения оси складки.

Положение осевой плоскости складки или залежи определяется, как положение любой плоскости, простираием и углом падения.

К элементам залегания относятся склонение и «ныряние»рудных тел, широко используемые геологами при характеристике условий их залегания.

Определение элементов залегания осуществляется при составлении геологической документации разведочных и горных выработок. Последнее же входит в задачу шахтной геологии

и поэтому здесь не рассматривается. Но определение элементов залегания в отдельных точках и их использование при решении горногеометрических задач и составлении маркшейдерских планов непосредственно относится к сфере деятельности маркшейдера.

Элементы залегания пласта определяются разными способами. В том случае, когда элементы залегания наблюдателю представляются непосредственно в натуре, они на месте измеряются с помощью соответствующих приборов. Но очень часто на месте их определить затруднительно или невозможно. Тогда в натуре путем измерений определяют ряд доступных величин, с которыми искомые находятся в определенной зависимости, после чего путем соответствующей обработки полученных наблюдений находят значения элементов залегания. Указанная обработка полученных данных производится либо по формулам аналитической геометрии (аналитический способ), либо графически.

§ 14. Инклинометрическая съемка скважин

Геологическая документация месторождений полезных ископаемых в отдельных точках, в том числе и определение элементов залегания, составляется по данным геологической съемки. В зависимости от условий работы и требуемой точности результата нахождение положения указанных точек производится схематически, глазомерно, полуинструментально и инструментально. Сущность каждого из перечисленных способов читателю известна из курсов геодезии и маркшейдерского дела.

При решении горногеометрических задач приходится пользоваться результатами инклинометрической съемки скважин, в связи с чем ниже приводятся необходимые для этого сведения по данному вопросу.

Как известно, скважины бурят по заданному направлению — по вертикали или наклонно, иногда горизонтально. Однако по ряду причин геологического и технического характера скважина в процессе бурения отклоняется от требуемого положения, т. е. искривляется.

Искривление буровых скважин сопутствует всем методам бурения. Поэтому в процессе бурения необходимо все время контролировать положение оси скважины — измерять ее искривление. В противном случае могут быть допущены грубые ошибки в геологических выводах и заключениях, касающихся представлений о залежи и возможных методах ее разработки.

Измерения, связанные с замером искривлений скважин, носят название «инклинометрическая съемка скважин», происходящее от общего названия применяемых при этом приборов — инклинометров.

Инклинометром называется прибор, служащий для определения угла и азимута искривления буровой скважины и контроля за правильностью ее проходки.

По точности измерений самым слабым звеном при исследовании искривлений скважин является определение угловых величин.

При замерах искривлений скважин определению подлежат следующие величины:

- угол отклонения скважины от отвесного направления, называемый зенитным углом Θ (рис. 49);
- горизонтальный угол α , называемый азимутом, характеризующий простижение скважины относительно некоторого исходного или ориентирного направления ON ;
- длина в участке скважины, к которому относятся измеренные угловые величины Θ и α .

Рис. 49. Величины, определяемые при замерах искривления скважины

Направление ON может быть направлением магнитного меридиана или некоторым условным направлением. Отсчет угла α производится от ON по направлению движения часовой стрелки.

При инклинометрической съемке величины Θ и α измеряются в ряде точек скважины, обычно расположенных друг от друга на приблизительно равных расстояниях (интервалах).

Точность их измерения в основном определяется возможностями применяемого прибора.

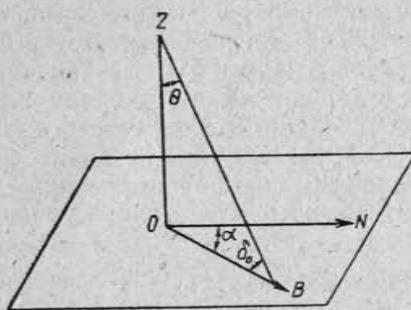
Приборы для измерения искривления скважин можно разделить на две группы:

а) приборы для измерения только угла отклонения оси скважины от вертикали;

б) приборы для измерения угла и азимута отклонения оси скважины. Последние, как более универсальные, пользуются большим распространением.

Среди приборов последней группы следует выделить инклинометры, определяющие углы и азимуты искривления скважины при помощи электрических измерений на поверхности, фотонклинометры, определяющие кривизну скважины по фотоснимкам соответствующих указателей, и гироинклинометры, использующие при определении направления гироэффект.

В последние годы широко используются инклинометры, разработанные И. В. Шевченко (ИШ-2, ИШ-3 и ИШ-4).



Инклинометр ИШ предназначен для измерения угла и азимута искривления необсаженных буровых скважин и в условиях отсутствия магнитных аномалий. Прибор позволяет производить отсчет измеряемых углов непосредственно по шкале на панели (пульте) управления.

Приведем основные технические данные для одной из последних моделей инклинометра (ИШ-4):

точность измерения угла $\Theta \pm 30'$;
 точность измерения азимута ± 4 для углов $\Theta > 3^\circ$;
 максимальный измеряемый угол отклонения от вертикали 50° ;
 максимальная допустимая для работы прибора температура в скважине 100°C ;
 максимальное допустимое наружное давление на кожух 500 кг/см^2 ;
 питание инклинометра осуществляется от источника постоянного тока напряжением 90 в , максимальный потребляемый ток $0,3 \text{ а}$ (ток переключения);
 размеры глубинной части инклинометра — диаметр 65 мм , длина 2075 мм ; размеры панели (пульта) управления — $344 \times 212 \times 197 \text{ мм}$;
 вес комплекта 46 кг .

На рис. 50,а изображен прибор ИШ-4 в сечении, совпадающем с главной плоскостью рамки, а на рис. 50,б — в сечении, перпендикулярном главной плоскости рамки. Рамка 1 несет на себе указатели азимута и угла отклонения. Ось вращения рамки совпадает с главной осью прибора. При спуске прибора в скважину его ось параллельна оси скважины.

Измерительная часть инклинометра содержит чувствительные элементы — отвес угла наклона и магнитную систему, которые связаны с реохордами угла и азимута таким образом, что в момент измерения положение отвеса и магнитной системы фиксируется (замыкая накоротко) на дуговом реохорде определенной его частью.

Таким образом, каждому положению прибора соответствуют два омических сопротивления, которые определяют угол и азимут участка скважины и через жилы кабеля передаются на поверхность, где с помощью измерительного моста, смонтированного в панели управления, измеряются.

Из рис. 50 видно, что в верху глубинного прибора размещается магнитная система, а внизу — отвес.

Указатель азимута (буссоль) состоит из магнитной стрелки 2, насаженной на острие, и расположенной под ней колодки с круговым азимутальным реохордом 3 и токоподводящим кольцом 4. Азимутальный реохорд представляет собой разорванное в одном месте кольцо из проволоки с высоким удельным сопротивлением (мангандин). В месте разрыва реохорд включен в измерительную схему. Указатель азимута установлен

6 И. Н. Ушаков

лен на двух закрепленных в рамке полуосях. Он всегда занимает положение, при котором острие, несущее магнитную стрелку, устанавливается вертикально, а колодка с реохордом — горизонтально. При измерении магнитная стрелка уста-

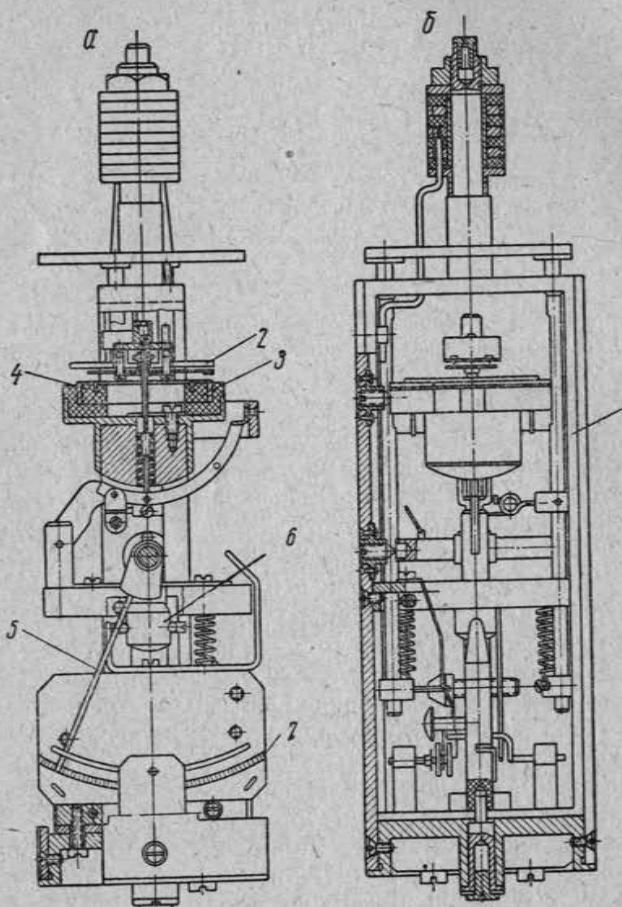


Рис. 50. Измерительная часть инклинометра ИШ-4

новленными на ней пружинными контактами соединяет токоподводящее кольцо с одной из точек реохорда.

Основной частью указателя угла отклонения от вертикали является отвес — грузик (маятник) 6, скрепленный в плоскости рамки осью и стрелкой 5. Грузик и стрелка располагаются в плоскости искривления. Параллельно кривой, по которой пе-

ремещается конец стрелки, установлен угловой реохорд 7, представляющий собой расположенную по дуге круга проволочку из материала с большим удельным сопротивлением. При измерении конец стрелки соединяет одну из точек реохорда с токоподводящей пружиной.

Фиксация положения отвеса и магнитной системы относительно своих реохордов осуществляется специальным приспособлением — переключающим механизмом. При подаче напряжения на жилу кабеля срабатывает электромагнит переключающего механизма. Последний позволяет измерительной части инклинометра придавать положения, необходимые для включения, выключения прибора, взятия отсчетов, а также для контроля условий измерения.

Инклинометрическую съемку ведут специальные каротажные отряды, выполняющие ряд других измерений в скважинах.

Маркшейдер производит привязку скважин и использует в своих построениях результаты инклинометрической съемки их. Поэтому нет необходимости в более детальном описании прибора и работы с ним. Интересующиеся могут обратиться к специальным пособиям.

Для большей уверенности в результатах инклинометрической съемки скважин основные измерения, производимые при спуске глубинного прибора, сопровождаются контрольными измерениями, выполняемыми по более редкой сети точек при подъеме прибора.

Более объективную оценку результатов инклинометрической съемки скважин дает измерение двумя приборами.

При использовании геологических наблюдений в скважинах ставится задача определения координат точек наблюдений.

Координаты любой точки на оси искривленной скважины, в том числе и координаты точки встречи скважины с пластом (x_K, y_K, z_K), вычисляются по известным формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_K &= x_{\text{устья}} + \sum_{i=1}^{i=n} l \sin \Theta_i \cos \alpha_i; \\ y_K &= y_{\text{устья}} + \sum_{i=1}^{i=n} l \sin \Theta_i \sin \alpha_i; \\ z_K &= z_{\text{устья}} - \sum_{i=1}^{i=n} l \cos \Theta_i, \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV}, 1)$$

где l — интервал между точками измерений; часто $l = 20$ м;
 Θ_i — зенитный угол оси скважины в точке измерения;

α_i — дирекционный угол (азимут) оси скважины в точке измерения.

Из всех измерений при инклинометрической съемке более удовлетворительно осуществляется измерение глубины скважины. Пренебрегая погрешностью измерения глубины скважины, пользуясь выражением (IV, 1) и применяя известную из теории ошибок формулу погрешности функции общего вида, погрешность планового положения точки K на оси искривленной скважины выражим в виде

$$M_K = l \sqrt{\sum \left(\frac{m_{\theta_i}^2}{\rho^2} \cos^2 \Theta_i + \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \sin^2 \Theta_i \right)}. \quad (\text{IV, 2})$$

Здесь каждая из ошибок m_{θ_i} и m_{α_i} состоит из погрешности измерения и погрешности обобщения. Появление последней вызывается тем, что вместо криволинейного участка l при определении координат этот интервал берется прямолинейным, определяемым в пространстве углами Θ и α .

Таким образом, вопрос о точности определения точки встречи скважин с пластом решается путем выявления случайных и систематических погрешностей измерения, а также погрешности обобщения. Нетрудно представить, что последняя при небольших l (например, при $l=20$ м) незначительна и будет очень мало влиять на величину погрешности угла Θ .

Экспериментальные работы ВНИМИ позволили по разностям двойных измерений и сгущенных наблюдений установить значения случайной и систематической ошибок измерений, соответственно равных 18 и 7'. Ошибка обобщения получена равной 8'. Следовательно, общая ошибка угла Θ будет около 20'.

Принимая в качестве предельной ошибки измерения двойную среднюю, можно с большой вероятностью (до 0,95) ожидать, что погрешность угла не будет превышать 35—40'. Такой допуск может иметь место при условии исключения из измерений как грубых, так и систематических ошибок.

Результаты экспериментальных работ по достаточно представительному числу двойных измерений позволили выявить значения ошибки m_α измерения азимута α и характер их зависимости от величины зенитного угла Θ скважины. m_α представляют собой непрерывную функцию от значения Θ , и только при $\Theta > 15^\circ$ ошибка измерения азимута становится постоянной и равна 5—5,5°.

Нетрудно представить, что значительные по величине m_α при малых Θ не влекут за собой значительных линейных ошибок в плановом положении забоя скважины.

Кроме того, экспериментальными работами подтверждена

равноценность моделей инклинометров типа ИШ с точки зрения точности измерения ими угловых величин.

Систематическая ошибка инклинометрических измерений вызывается в основном эталонированием прибора. Величина ее определяется допусками, установленными при исследовании приборов, и обычно дается в паспорте инклинометра.

Систематическая ошибка σ планового положения точки скважины, вызываемая систематическими ошибками измерений азимута ν и зенитного угла λ , определяется из выражения

$$\sigma = \frac{l}{\rho} \sqrt{\lambda^2 [\Sigma \cos \Theta_i \cos(\alpha_i - \Delta)]^2 + \nu^2 [\Sigma \sin \Theta_i \cos(\alpha_i - \Delta)]^2}, \quad (\text{IV, 3})$$

где Δ — азимут линии, соединяющей устье скважины с интересующей нас точкой на оси скважины (азимут замыкающей).

Для скважины с выдержаным направлением искривления формула (IV, 3) может быть упрощена:

$$\sigma = \frac{l}{\rho} \sqrt{\lambda^2 (\Sigma \cos \Theta_i)^2 + \nu^2 (\Sigma \sin \Theta_i)^2}. \quad (\text{IV, 4})$$

Из приведенных сведений о замерах искривления скважины следует, что измерение азимутов является самым слабым звеном в съемке скважины.

Поскольку в наиболее распространенных инклинометрах для измерения азимутов используется в качестве чувствительного элемента магнитная система, то точность съемки находится на уровне точности буссольной съемки.

Недостатком измерения азимутов при замерах искривления скважин буссолю является и то обстоятельство, что эти измерения можно проводить только в условиях нормального магнитного поля.

Достоинством существующих инклинометров являются быстрая измерения азимутов и независимость измерений. При указанных особенностях прибора большая густота точек измерений, проведение повторных контрольных измерений представляют собой хорошее средство улучшения результатов съемки.

Радикальное улучшение инклинометрической съемки скважин должно осуществляться путем разработки гироинклинометров для съемки разведочных буровых скважин. Проводимые работы по созданию гироскопических систем для съемок технических скважин позволяют рассчитывать на большие возможности этого типа инклинометров.

Определение положения точки на оси искривленной скважины сводится к нахождению координат точки пересечения

скважины с поверхностью пласта или с поверхностью того или иного геологического контакта.

Аналитическое решение этой задачи обычно выполняется по формулам (IV, 1). При этом следует иметь в виду приближенный характер формул (IV, 1). Более детальный математический анализ (без исследования инструментальных ошибок) данной задачи читатель может найти в работе А. М. Журавского [II, 10], в которой на основании допущения сферичности кривой даются выражения для приближенного вычисления координат искривленной скважины по измеренным интервалам l и направлениям касательных.

Точность результатов инклинометрической съемки допускает широкое использование графического способа определения положения любой точки на оси искривленной скважины. Графический способ сводится к построению профиля и плана искривленной скважины и нахождению по ним координат исключенных точек, лежащих на оси скважины.

Построение профиля и плана искривленной скважины выполняется по мере прохождения скважины и выполнения инклинометрической съемки, т. е. входит в задачу документации разведочной скважины.

Пусть даны координаты устья скважины A (x_A, y_A, z_A) и результаты инклинометрической съемки этой скважины в форме табл. 1.

Таблица 1

Точки замера искривления скважины	Глубина по скважине до точек замера, м	Интервалы между точками измерения θ и α , м	Измеренные значения θ и α		Средние значения θ и α	
			θ°	α°	$\theta_i' = \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2}$	$\alpha_i' = \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2}$
A	0	$l_1 = h_1$	θ_0	α_0	θ_1'	α_1'
I	h_1	$l_2 = h_2 - h_1$	θ_1	α_1	θ_2'	α_2'
2	h_2	$l_3 = h_3 - h_2$	θ_2	α_2	θ_2'	α_3'
3	h_3	$l_4 = h_4 - h_3$	θ_3	α_3	θ_4'	α_4'
4	h_4		θ_4	α_4		
.

Требуется построить профиль и план скважины A , а также определить координаты точки K (x_K, y_K, z_K) встречи скважи-

ны A с поверхностью кровли пласта m_2 . Точка K расположена в интервале l_4 .

Выбрав масштаб построения, сначала строим профиль скважины (рис. 51, а) по средним значениям зенитных углов и по величинам интервалов. Нетрудно видеть, что интервалы профиля скважины лежат не в одной, а в разных вертикальных плоскостях, определяемых соответственными азимутами. По

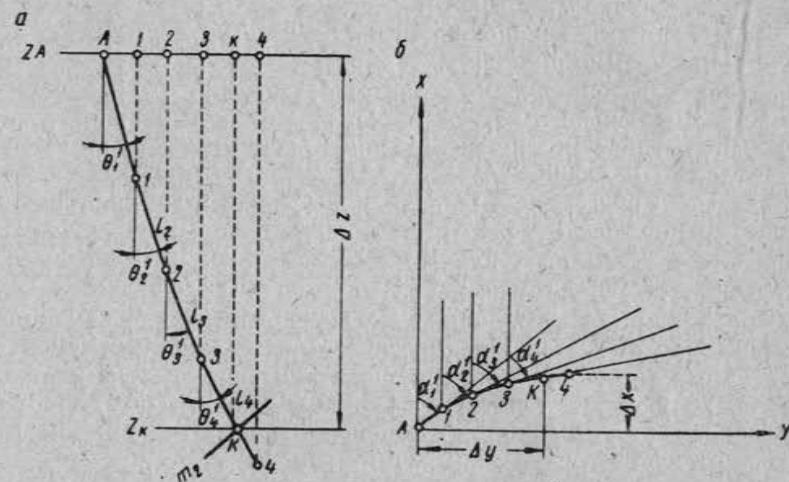


Рис. 51. Профиль и план наклонной искривленной скважины

положению точки K в интервале l_4 она наносится на профиле скважины A . Ее отметка z_K берется равной разности $z_A - \Delta z$ или по вертикальной шкале профиля.

Для построения плана скважины точки $1, 2, 3, 4$ и точка K профиля проектируются на горизонт z_A устья и по азимутам соответствующих интервалов скважины переносятся на план (рис. 51, б). Здесь ломаная линия $A-1-2-3-K-4$ — план скважины. Ломаная линия может быть заменена плавной кривой, проходящей через точки $A, 1, 2, 3, K, 4$.

Координаты точки K берутся с плана непосредственно или находятся вычислением из выражений $x_K = x_A + \Delta x$ и $y_K = y_A + \Delta y$, где Δx и Δy берутся с плана.

Построение искривленной буревой скважины в виде ломаной линии бывает в большинстве случаев достаточным.

§ 15. Определение элементов залегания

Непосредственное определение простирания и падения пласта

Непосредственное определение простирания и падения пласта производится в плоскости контакта кровли или почвы пласта с вмещающими породами в естественных или искусственных обнажениях. По роду своей работы маркшейдер имеет дело главным образом с искусственными обнажениями в горных или разведочных выработках.

Выработки по отношению к пласту могут быть секущими или пройденными по пласту. При этом в первых определение простирания и падения пласта может быть как непосредственным, так и косвенным. В выработках, пройденных по пласту, определение простирания и падения пласта производится главным образом непосредственно.

При непосредственном определении простирания и падения пласта используется горный компас, в отдельных случаях — подвесная бусоль с полукругом.

Устройство горного компаса и подвесной буссоли с полукругом, поверка и работа с ними известны читателю из курсов общей геологии и маркшейдерского дела. Однако, учитывая необходимость умелого обращения с компасом в самых разнообразных и неблагоприятных для наблюдения условиях, отметим основные требования к измерению азимутов простирания и углов падения горным компасом.

Горный компас должен быть постоянным спутником в работе маркшейдера, так как необходимость измерений им в шахте может возникнуть в любой момент при производстве маркшейдерских съемок или замеров, например при определении в той или иной точке элементов залегания пласта, смесятеля, трещины, штриховки и т. д. Горный компас должен быть исправным и выверенным.

Площадка контакта, элементы залегания которого должны измеряться горным компасом, надлежащим образом очищается. При этом выбор ее должен обеспечить уверенность, что она является характерной для данного обнажения и представляет собой часть изучаемого контакта, неискаженную какой-нибудь ложной поверхностью.

Если поверхность обнажения контакта шероховата или волниста, то на нее накладывается полевая книжка или специальная тонкая дощечка и на последней горным компасом измеряют азимут линии простирания (или падения) и угол падения.

В практике работы известны два способа измерения азимута контакта. При первом способе вначале определяют линию падения и угол падения, а затем — азимут линии падения или

простирания. При втором способе наблюдения производятся в обратном порядке.

Первый способ применяют преимущественно при наклонном и крутом падении изучаемых плоскостей. В этом случае компас устанавливают в вертикальное положение, прикладывая к обнаженной площадке длинный край пластинки. При этом магнитная стрелка предварительно должна быть закреплена.

Далее, слегка постукивая по компасу и поворачивая его, находят такое положение компаса, при котором отвес показывает максимальный отсчет по полукругу, и прочерчивают линию вдоль длинного ребра пластинки. В этом положении указанное ребро пластинки компаса совпадает с линией падения плоскости обнаженного контакта, а отсчет по полукругу показывает угол падения плоскости.

Затем компас, не сдвигая с прочерченной линии, поворачивают вокруг нее до совмещения с плоскостью обнажения и прочерчивают по короткой стороне пластинки линию простирания плоскости.

Для определения азимута линии падения горный компас вращением около линии простирания приводят в горизонтальное положение. При этом нулевое деление лимба должно быть направлено по линии падения. Освободив магнитную стрелку, берут отсчет по северному концу стрелки, фиксирующей магнитный азимут линии падения.

Азимут линии простирания плоскости находится или путем вычитания из азимута линии падения 90° , или непосредственным измерением путем прикладывания горизонтально расположенного горного компаса длинной стороной пластинки к линии простирания плоскости. При этом нулевое деление лимба направляется в сторону простирания плоскости. Иногда в условиях стесненности бывает удобнее по простиранию плоскости направить отсчет 180° . В этом случае магнитный азимут отсчитывается по южному концу стрелки.

При пологом падении плоскости обнажения сначала определяется простирание, так как проще найти положение компаса при отвесе, показывающем по полукругу нулевой отсчет, чем искать его положение, отвечающее наибольшему отсчету. Чтобы найти в плоскости положение горизонтальной линии (линия простирания), компас устанавливают на обнажении длинной стороной пластинки, приводят в вертикальное положение и поворотом в ту или другую сторону достигают совпадения отвеса с нулевым отсчетом полукруга. Прочерчивают по длинному ребру пластинки линию простирания плоскости и перпендикулярную к ней линию падения и измеряют азимуты простирания указанных линий и угол падения.

При измерении углов наклона отвес должен висеть свобод-

но, при отсчете — лежать на лимбе. При измерении азимутов необходимо избегать влияния магнитных масс на показания магнитной стрелки.

В ряде случаев требуется измерение азимута и угла наклона направлений в плоскости обнажения, например при определении элементов залегания штриховки на зеркалах скольжения. При этом угол наклона направления отсчитывается по полуокругу после установления компаса длинной стороной пластинки вдоль этого направления, а азимут направления — после прикладывания компаса в горизонтальном положении к вертикальной плоскости (например, полевой книжки), проходящей через заданное направление.

При повторных измерениях простирания и угла падения и наличии допустимых расхождений за окончательный результат берется среднее из наблюдений.

Для использования измеренных магнитных азимутов в построениях в их значения должна вводиться с соответствующим знаком поправка за разность между магнитным азимутом и дирекционным углом направления. Эту разность целесообразно устанавливать во время работ на стороне с известным дирекционным углом. Здесь и далее для краткости простирание будем обозначать одинаково буквой α независимо от того, магнитный это азимут или дирекционный угол.

Непосредственное измерение α и δ пласта подвесной буссолью с полукругом обычно производится в секущих выработках. При этом с помощью указанных подвесных инструментов натягивают в плоскости контакта кровли или почвы пласта с вмещающими породами шнуры по направлению простирания и падения плоскости и теми же инструментами измеряют магнитный азимут простирания и угол падения пласта.

Точность определения простирания и падения пласта горным компасом невелика; при тщательной работе и благоприятных условиях она не превышает $2-2.5^\circ$.

Учитывая независимость измерений друг от друга, уточнение представлений достигаем увеличением числа наблюдений. Чем гуще сеть точек, где сделаны указанные измерения, тем достовернее представление о залегании пласта.

Точность измерения α и δ пласта подвесной буссолью с полукругом в несколько раз выше точности измерения их горным компасом, так как выше точность отсчитывания и больше площадь обнажения пласта, для которой определяются его простиранье и угол падения.

Косвенное определение простирания и падения пласта

Косвенное определение простирания α и падения δ пласта чаще всего применяется при обнажении пласта в секущих вы-

работках или при определении среднего значения α и δ пласта для некоторого участка залежи.

Существует ряд способов косвенного определения α и δ пласта. При этом используются направления или точки, лежащие в плоскости пласта на рассматриваемом участке. Применение того или иного способа определяется условиями измерений и характером произведенных наблюдений в натуре. Рассмотрим наиболее распространенные способы, обратив при этом основное внимание на графические приемы определения искомых величин по исходным данным.

Определение α и δ пласта способом пересекающихся шнурков

Применяется при обнажении пласта или контакта в секущих горных выработках. Сущность способа сводится к тому, что в плоскости обнажения пласта (контакта) измеряются элементы залегания двух или трех направлений и по ним находятся α и δ пласта.

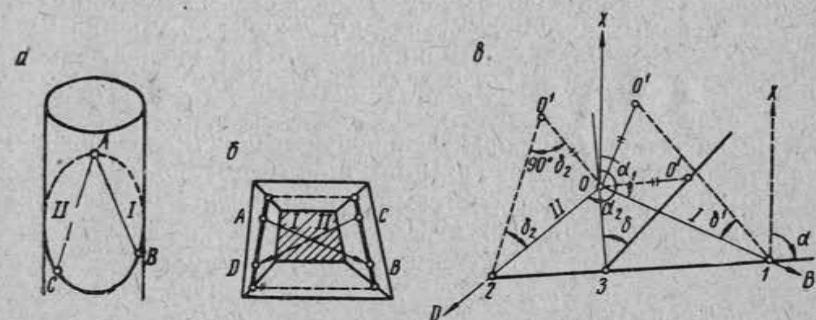


Рис. 52. Определение α и δ пласта способом пересекающихся шнурков

В этом случае удобно и целесообразно применять висячую буссоль с полукругом. При значительной площади обнажения представляется возможным более точное определение элементов залегания направлений в плоскости кровли или почвы пласта с помощью указанного прибора. Косвенное определение α и δ пласта обязывает иметь более точное измерение исходных величин.

При их измерении направления в плоскости пласта обычно берутся пересекающиеся и фиксируются шнурами. Отсюда появилось название способа. Пусть на рис. 52, а изображено обнажение пласта в дудке. В плоскости обнажения взяты два направления (I и II) AB и AC . Подвесной буссолью с полукругом измерены элементы залегания указанных направлений.

На рис. 52,б изображено обнажение пласта в стенках квершлажной выработки. Между точками A , B , C , D , лежащими в плоскости кровли пласта, осуществлены при помощи шнурков два (I и II) направления — AB и CD .

Измеренные элементы залегания направлений обозначим соответственно I ($a_1\delta_1$) и II ($a_2\delta_2$). Найти α и δ пласта по указанным исходным данным. Очевидно, что способ определения для обоих случаев будет одинаков.

На рис. 52,в по измеренным азимутам a_1 и a_2 в плане из точки O проводятся I и II направления. При произвольно взятой точке 1 на линии OB строится угол δ_1 , позволяющий найти величину превышения точки O над точкой 1 , равную отрезку OO' . Отложив этот отрезок на перпендикуляре к направлению OD , построенному в точке O , и взяв при точке O' угол $90^\circ - \delta_2$, мы получим при точке 2 угол δ_2 — угол наклона направления II . Как следует из построения, точки 1 и 2 , лежащие в плоскости обнажения пласта, имеют одинаковую высоту, т. е. линия, их соединяющая, является линией простирации пласта. Угол между положительным направлением оси x и прямой $2-1$ является искомым углом α . Перпендикулярная к прямой $2-1$ линия $O-3$ — есть линия падения пласта. Превышение точки O над точкой 3 равно отрезку OO' , а угол OZO' — искомый угол падения δ пласта.

При аналитическом определении α и δ пласта, в плоскости которого даны направления I ($a_1\delta_1$) и II ($a_2\delta_2$), пользуются известными из аналитической геометрии уравнениями простирания и угла падения плоскости:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{-M}{N}; \quad (IV, 5)$$

$$\cos \delta = \frac{P}{\sqrt{M^2 + N^2 + P^2}}. \quad (IV, 6)$$

или для малых углов

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{P}. \quad (IV, 7)$$

Знак у корня берется положительный, так как угол δ острый. Здесь значения M , N и P находятся из уравнения плоскости, заданной двумя пересекающимися прямыми. Выразим это уравнение в форме определителя:

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ \cos \delta_1 \cos \alpha_1 & \cos \delta_1 \sin \alpha_1 - \sin \delta_1 & 0 \\ \cos \delta_2 \cos \alpha_2 & \cos \delta_2 \sin \alpha_2 - \sin \delta_2 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

Разложив его по минорам, получим необходимые коэффициенты при x , y и z уравнения плоскости $Mx + Ny + Nz = 0$:

$$\left. \begin{aligned} M &= \cos \delta_2 \sin \alpha_2 \sin \delta_1 - \cos \delta_1 \sin \alpha_1 \sin \delta_2; \\ N &= -(\cos \delta_2 \cos \alpha_2 \sin \delta_1 - \cos \delta_1 \cos \alpha_1 \sin \delta_2); \\ P &= \cos \delta_1 \cos \alpha_1 \cos \delta_2 \sin \alpha_2 - \cos \delta_2 \cos \alpha_2 \cos \delta_1 \sin \alpha_1. \end{aligned} \right\} (IV, 8)$$

Обычно определение α и δ по приведенным формулам выполняется на логарифмической линейке. Точность исходных данных допускает использование логарифмической линейки, а быстрота определения оправдывает ее применение.

Предпочтительность применения способа пересекающихся шнурков при определении α и δ пласта в секущих выработках вызывается удобством измерения элементов залегания фиксированных направлений (шнурков) в плоскости обнажения.

Для контроля рекомендуется измерять элементы залегания трех направлений, из которых можно дважды получить искомые величины.

Одним из приемов определения α и δ пласта по измеренным элементам залегания двух направлений в плоскости пласта является способ косвенного определения указанных величин по вертикальным сечениям.

Пусть на рис. 53,а изображен план вертикальной выработки круглого сечения, в которой обнажен пласт. Требуется найти α и δ пласта. Возьмем два вертикальных сечения. Одно из них (ab) по результатам привязки имеет дирекционный угол a_1 , а второе (cd) — a_2 .

На рис. 53,б в масштабе плана представлены указанные сечения, в которых по замерам на стенах выработок в точках a , b , c , d вертикальных расстояний h_a , h_b , h_c , h_d от устья до

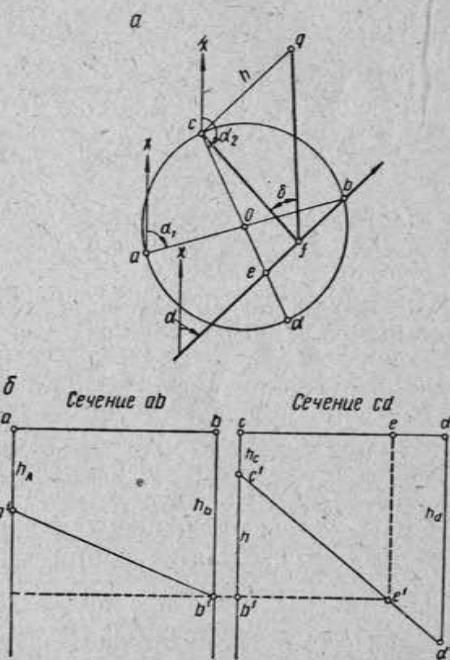


Рис. 53. Определение α и δ пласта по вертикальным сечениям

кровли пласта построены профили $a'b'$ и $c'd'$ указанного контакта.

Так как прямые $a'b'$ и $c'd'$ лежат в плоскости пласта, то справедливо равенство $(h_a + h_b) = (h_c + h_d)$, которое может быть использовано в качестве контроля при измерении рулеткой расстояний h_a, h_b, h_c, h_d .

Отметим на профиле $c'd'$ точку e' , расположенную на уровне точки b' профиля $a'b'$. На плане (рис. 53, а) эта точка представится точкой e . Линия, соединяющая точки e и b , имеющие одинаковые отметки, является линией простирания пласта. Следовательно, α — искомое простиранье пласта. Опустим из точки c , наиболее удаленной в плане от прямой eb , перпендикуляр cf на линию простирания пласта. Прямая cf — линия падения пласта. Разность отметок точек c и f равна $c'b_1 = cq = h$. Угол δ — искомый угол падения пласта.

Определение α и δ пласта по координатам трех точек («по трем скважинам»)

Данный способ применяется при определении средних значений α и δ пласта по маркшейдерским планам в пределах выделенного блока в случае подсчета запаса или экстраполирования α и δ пласта с действующего на проектируемый горизонт горных работ. Используется при определении α и δ пласта по данным разведочного бурения, где также сводится к определению среднего значения α и δ пласта на площади треугольника, ограниченного точками пересечения скважин с пластом.

Предварительно по плану или по данным инклинометрической съемки скважин находят координаты точек, ограничивающих контур, в пределах которого определяют α и δ пласта.

Пусть точки $1(x_1, y_1, z_1)$, $2(x_2, y_2, z_2)$ и $3(x_3, y_3, z_3)$ являются соответственно точками пересечения скважин A , B и C с кровлей пласта; при этом $z_1=420$, $z_2=235$ и $z_3=-45$ (рис. 54). Найти по координатам этих трех точек простиранье и падение пласта.

Точки $1, 2, 3$ на плане выделяют площадь пласта в форме треугольника, построенного пунктирными линиями.

Для нахождения простирания пласта построим в треугольнике $1-2-3$ горизонтальную линию — изогипсу пласта с отметкой $z_2=235$. Для этого достаточно на линии, соединяющей точки $1(420)$ и $3(-45)$, найти точку с отметкой $z_2=235$ и полученную точку соединить с точкой $2(235)$. Точка $1(420)$ выше точки $2(235)$ на 185 м. Отложим эту разность, равную отрезку $1-1'$, в масштабе плана в точке 1 перпендикулярно прямой $1-3$. Аналогично по разности строится отрезок $3-3'$. Со-

единив точки $1'$ и $3'$ прямой, получим в пересечении ее с прямой $1-3$ точку 4 , имеющую, как это следует из подобия треугольников $4-1-1'$ и $4-3-3'$, отметку 235. Прямая $4-2$ — горизонтальная линия в плоскости кровли пласта, т. е. является линией простирания последнего. Следовательно, горизонтальный угол α между осью x и этой прямой есть простиранье пласта.

Линия $5-3$, перпендикулярная линии простирания пласта, фиксирует направление падения последнего. Угол наклона линии $5-3$ к горизонту дает искомый угол падения пласта. Для его нахождения откладываем на линии простирания отрезок $5-5'$, равный разности отметок точек 5 и 3 , и соединяем точку $5'$ с точкой 3 . Угол $5-3-5'$ равен искомому углу падения δ пласта.

Приведенный способ графического определения α и δ пласта позволяет избегать градуирования прямых, связанных с оперированием короткими отрезками, чем обеспечивает более точное определение искомых угловых величин.

Как следует из рис. 54, найденные α и δ пласта являются средними элементами залегания в пределах площади треугольника $1-2-3$.

При геологической документации скважин и при решении ряда горногеометрических задач требуется определить видимый угол падения δ' пласта, т. е. угол падения пласта в произвольном направлении, например в плоскости вертикального разреза, построенного по наклонной скважине C .

Линия этого разреза на плане фиксируется проекцией скважины C . Угол наклона к горизонту отрезка $b-3$ будет искомым видимым углом падения δ' пласта. Для его нахождения отложим перпендикулярно к прямой $b-3$ отрезок $b-b'$, равный разности z_6-z_3 , и соединим точки b' и 3 прямой. Угол $b-3-b'$ равен δ' .

Аналогично рассмотренному производится нахождение средних значений простирания и падения пласта по трем точкам, взятым в плоскости пласта по маркшейдерскому плану.

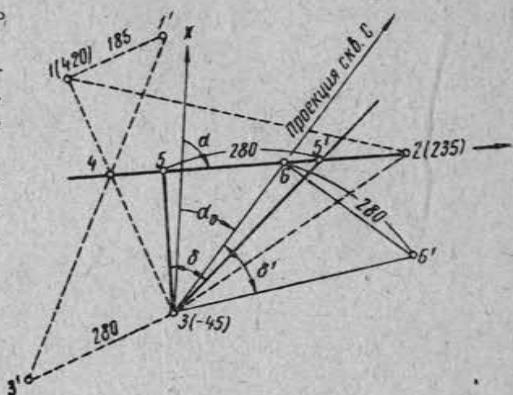


Рис. 54. Определение простирания и падения пласта «по трем скважинам»

Определение α и δ пласта по координатам трех точек легко произвести аналитическим путем, пользуясь логарифмической линейкой. Пусть 1, 2 и 3 — точки, лежащие в плоскости пласта. Возьмем одну из них, например точку 1, за начало координат, а координаты 2 и 3 точек выразим относительно точки 1 в виде:

2 ($x_2y_2z_2$), 3 ($x_3y_3z_3$). Тогда пласт на данном участке выразится уравнением

$$Mx + Ny + Pz = 0,$$

где $M = + (y_2z_3 - z_2y_3)$, $N = -(x_2z_3 - z_2x_3)$ и $P = + (x_2y_3 - y_2x_3)$.

Подставляя миоры M , N и P в уравнения (IV, 5), (VI, 6) и (IV, 7), найдем простижение α и угол падения δ .

К задаче аналитического определения α и δ пласта по координатам трех точек можно свести задачу определения их способом

пересекающихся шнурков. Для этого возьмем точку 1 — точку пересечения заданных направлений (шнурков) I и II за начало координат 0. Отложим на направлениях I и II отрезки, равные единице, получим на них точки 2 и 3 (рис. 55). Выразим координаты последних через элементы залегания заданных направлений.

Из рис. 55 видно, что при заданных условиях координаты точки 2 (x_2, y_2, z_2) соответственно будут равны:

$$x_2 = \cos \delta_1 \cos \alpha_1;$$

$$y_2 = \cos \delta_1 \sin \alpha_1;$$

$$z_2 = -\sin \delta_1.$$

Аналогично выражаются координаты точки 3 (x_3, y_3, z_3):

$$x_3 = \cos \delta_2 \cos \alpha_2;$$

$$y_3 = \cos \delta_2 \sin \alpha_2;$$

$$z_3 = -\sin \delta_2.$$

Подставляя их, найдем для заданных условий значения M , N и P , позволяющие по формулам (IV, 5), (IV, 6) и (IV, 7) вычислить α и δ пласта.

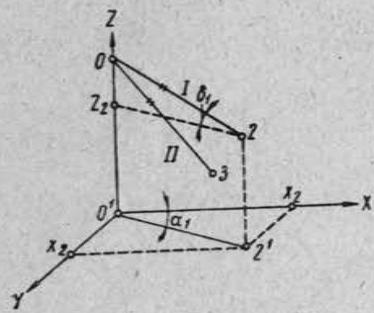


Рис. 55. Определение M , N и P при задании пласта двумя направлениями

О других элементах залегания

Положение в пространстве элементов симметрии складчатой структуры характеризуется их залеганием — простиранием и наклоном к горизонту.

Поэтому при наличии необходимых материалов определяют погружение оси складки и элементы залегания осевой плоскости.

Погружение оси складки определяется азимутом a_0 оси в сторону ее падения и углом наклона δ_0 к горизонту.

Для условий плоскостного залегания складка представляется шарнирной и погружение оси отождествляется с погружением шарнира.

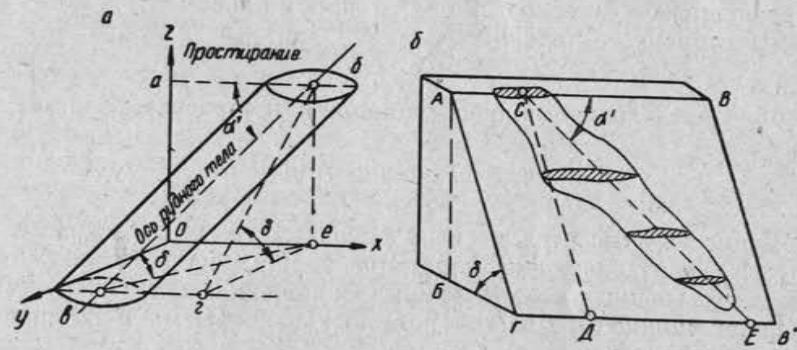


Рис. 56. Склонение и «ныряние» рудного тела

Элементы залегания последнего находятся как элементы залегания линии пересечения двух плоскостей (крыльев складки) так, как это изложено в первом разделе. Определение элементов залегания осевой плоскости шарнирной складки представляет собой нахождение элементов залегания плоскости, делящей угол между пересекающимися плоскостями пополам, т. е. является задачей, также известной читателю из первого раздела.

Дадим понятие о склонении и «нырянии» рудных тел, наблюдавшихся в линзообразных и жилообразных залежах. На рис. 56, а дано пространственное изображение кругопадающей линзы, где ab — линия простирации линзы, bg — линия ее падения и угол gbv — угол падения δ линзы.

Нередко ось bv линзы (направление наибольшей вытянутости) отходит от линии падения в ту или иную сторону, образуя острый угол abv , называемый углом склонения α' линзы и заключенный в ее плоскости между линией простирации ab и осью bv линзы. Обозначим его α' .

Угол β , образованный осью рудного тела с горизонтальной плоскостью, называется углом скатывания или ныряния δ' .

На рис. 56,б схематически изображено линзообразное рудное тело, имеющее склонение a' . Здесь — $ABB'G$ — плоскость, в которой расположено тело, AB — линия простирации, CD — линия падения, угол $AGB = \delta$ — угол падения, CE — ось рудного тела (линия наибольшей вытянутости) и угол $BCE = a'$ — угол склонения.

В процессе геологического изучения и разведки линзообразных и жилообразных рудных тел стремятся для определения положения их в недрах найти склонение a' и ныряние δ' .

Следует заметить, что для решения отдельных задач направление наибольшей вытянутости (оси) рудного тела, вероятно, удобнее было бы характеризовать не углом склонения, определяемым в плоскости тела, а простирианием этой вытянутости в сторону ее падения.

§ 16. Определение мощности пласта и построение разрезов

Определение мощности пласта

Мощность относится к числу основных геометрических элементов, характеризующих пласт или толщу пород. Поэтому во всех искусственных и естественных обнажениях систематически измеряют мощности пластов полезных ископаемых и вмещающих их горных пород.

Непосредственное измерение мощностей в доступных точках производится тесьмойной рулеткой с точностью отсчитывания до сантиметра. Измерение мощности слоев по керну производится линейкой.

В случае недостаточного выхода образцов пород, извлекаемых из скважины, для определения мощности тел полезного ископаемого применяют косвенные способы.

Главным косвенным способом определения мощности является каротаж скважин. Наиболее распространенной разновидностью каротажа, применяемого для определения мощности залежей каменного угля, нефти, газа и сульфидных руд, прорезанных буровыми скважинами, является электрический каротаж.

Задачей электрического каротажа является получение на диаграмме четкой электрической аномалии, характеризующей изучаемый пласт и отбивающей границы кровли и почвы его. Если пласт четко выявляется на каротажной диаграмме, то определение его мощности сводится к использованию ряда технических приемов, зависящих от физических свойств залежи

(высокого или низкого сопротивления), ее мощности и типа измерительной установки.

Ширина пика на диаграмме, соответствующая телу высокого сопротивления, меньше его мощности примерно на величину измерительной установки.

Определение мощности производится или по диаграмме сопротивлений, или по диаграмме естественных потенциалов, в зависимости от того, на какой из них резче выделяется исследуемая залежь, или пользуются обеими диаграммами. Значительную помощь в определении мощности оказывает диаграмма механического каротажа, определяющая твердость перебуриваемых пород, если она есть.

Для иллюстрации приведем пример определения мощности пласта высокого сопротивления по диаграмме сопротивлений, снятой потенциал-зондом М4А80В (рис. 57). Мощность пика на диаграмме будет соответствовать мощности пласта, уменьшенной на величину AM . При этом кровля пласта находится выше кровли пика на величину $\frac{AM}{2}$ и подошва — ниже подошвы пика на величину $\frac{AM}{2}$. В данном случае $AM = 0,4 \text{ м}$; следовательно, $\frac{AM}{2} = 0,2 \text{ м}$.

Искомой и исходной величиной многих горногеометрических построений является нормальная мощность. Кроме нормальной в горной геометрии используют также мощности в характеристиках или задаваемых направлениях, в частности вертикальную m_v и горизонтальную m_r мощности.

При несовпадении направления секущих выработок с характерными направлениями наибольший интерес для построений представляют горизонтальное «косое» и произвольное «косое» относительно напластования направления. Мощность пласта по первому из них будем называть горизонтальной «косой» мощностью и обозначать символом m_r' . Мощность пласта по произвольному «косому» направлению назовем косой мощ-

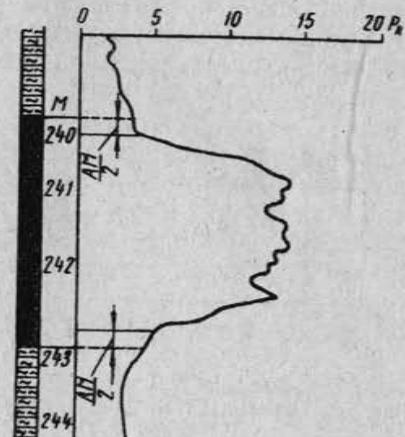


Рис. 57. Определение мощности пласта по диаграмме сопротивлений снятой потенциал-зондом

ностью и будем обозначать символом m_k . Измеренная вдоль секущей выработки мощность пласта часто называется видимой его мощностью.

Все приведенные выше понятия о мощности пласта будут справедливы для мощности толщи, свиты или другого подразделения пород.

При небольших мощностях пласта в секущих горных выработках (штольня, квершлаг, шурф, гезенк, ствол шахты) представляется возможным измерить мощности — m , m_r , m'_r и m_b .

При значительных мощностях в секущих горных выработ-

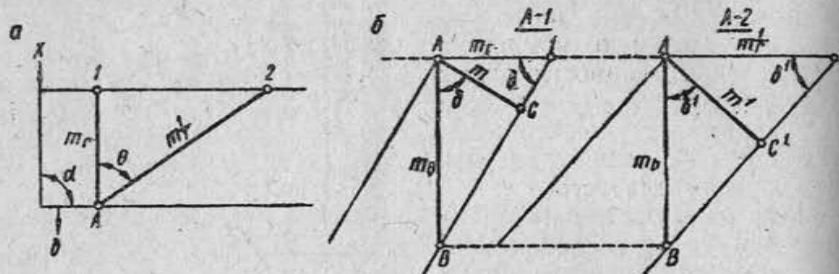


Рис. 58. Переход от мощности пласта в одном направлении к мощности пласта в другом направлении

ках удается измерить мощности в направлении оси выработок — m_r , m'_r и m_b . Решение многих задач и осуществление построений требуют перехода от измеренных (видимых) мощностей к нормальным или к мощностям по заданным направлениям.

Достигаемая и требуемая точность измерения или определения мощностей допускает, на равных основаниях, применение графических и аналитических способов определения искомых величин.

Графические приемы решения задач предпочтительнее, так как они вытекают из основ предмета и одновременно служат целям графической документации наблюдений.

Остановимся на задаче перехода от мощности в одном направлении к мощности в другом направлении. Она методически решается одинаково для пласта, пропластка, слоя, толщи или свиты пород.

На рис. 58, а изображен горизонтальный разрез пласта, имеющего элементы залегания α и δ , где $A-1$ горизонтальная мощность m_r пласта, а $A-2$ — горизонтальная косая мощность m'_r пласта. Угол $1-A-2=\theta$.

Построим два вертикальных разреза по направлениям $A-1$ и $A-2$ (рис. 58, б). Вертикальный разрез $A-1$ представляет

собой вертикальное сечение вкрест простирания пласта. Поэтому угол падения пласта на разрезе изобразится истинной его величиной δ и нормаль AC к пласту будет его истинной, или нормальной, мощностью m . Вертикаль AB равна вертикальной мощности m_b пласта в точке A .

В вертикальном разрезе $A-2$ (рис. 58, б) вертикальная мощность m_b будет та же, что и в вертикальном разрезе вкрест простирания, так как в любом вертикальном сечении m_b сохраняет свою величину. Мощности m_b и m'_r определяют здесь видимый угол падения δ' . Он меньше угла падения δ пласта.

Наоборот, видимая нормальная мощность m'_r больше нормальной мощности. При определении m это обстоятельство всегда нужно иметь в виду, чтобы не допустить ошибки.

Скважина, заданная по исходным данным вкрест простирания пласта, в точке пересечения с последним может оказаться расположенной косо относительно напластования, и вертикальный разрез по скважине в этом случае может дать видимую, а не истинную мощность пласта.

Из рис. 58 вытекают следующие простые отношения между указанными мощностями:

$$\left. \begin{aligned} m &= m_b \cos \delta; \\ m &= m_r \sin \delta; \\ m &= m'_r \cos \delta' \sin \delta. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV}, 9)$$

Рассмотрим данную задачу применительно к условиям залегания секущих выработок по произвольному косому относительно напластования направлению.

Пусть на рис. 59, а изображена в вертикальном сечении на клонная скважина C , изложенная на рис. 54 и имеющая на этом участке элементы залегания α_0 и δ_0 . На рис. 59, а точка 3 — точка входа скважины C в пласт, а точка D — точка выхода скважины из пласта. Следовательно, $3-D$ — измеренная или видимая мощность пласта m_k . Угол δ_0 — угол наклона скважины к горизонту.

Таким образом, в вертикальном разрезе по скважине C изображается сама скважина, видимая мощность m_k и линии кровли (почвы) пласта под видимым углом падения δ' . Вертикаль $3-B$ равна m_b . Отрезок $3-C'$ — видимая нормальная мощность m'_r пласта. Требуется найти нормальную мощность m пласта.

Пользуясь постоянством значения m_b в любом вертикальном сечении, проходящем через заданную точку, строим около нее вертикальный разрез вкрест простирания пласта. Здесь линии кровли и почвы пласта проходят через точки 3 и B под углом

падения пласта δ . Нормаль $3-C$ равна искомой, или нормальной, мощности пласта.

Таково графическое определение нормальной мощности пласта по измеренной или видимой его мощности.

Во избежание большой относительной ошибки графического определения искомой величины масштаб построения должен быть достаточно крупным. Во всяком случае, отрезок $3-C = m$ на графике должен быть больше 2 см. На рис. 59, б приведено

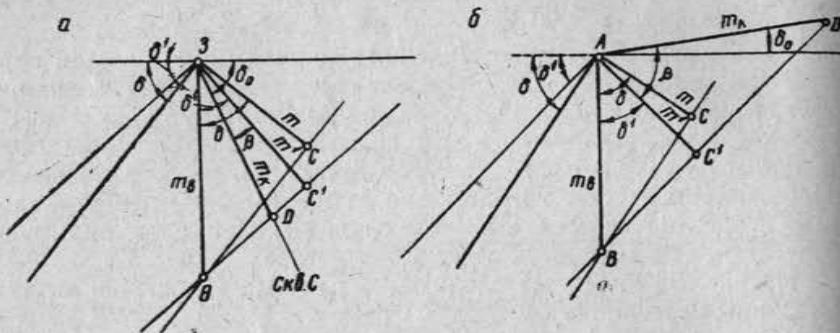


Рис. 59. Определение нормальной мощности m пласта по измеренной его мощности m_k

графическое определение нормальной мощности m пласта по видимой его мощности m_k , измеренной в направлении $A-D$. Так же как и в предыдущем случае, ось секущей выработки расположена косо относительно напластования и имеет элементы залегания α_0 и δ_0 . Аналогично рис. 59, а строят около точки A два вертикальных сечения — через выработку и вкрест простирации пласта. Оба сечения базируются на общем отрезке $AB = m_k$. В первом сечении находят видимую нормальную мощность m' , во втором сечении — нормальную мощность m пласта.

Переход от m_k к m можно осуществить и путем вычислений. Если следовать графическому способу перехода, изложенному выше, то выражение для вычисления m по m_k найдется из рис. 59. Из прямоугольного треугольника $3C'D$ или $AC'D$ сначала определяется видимая нормальная мощность m' :

$$m' = m_k \cos \beta, \quad (a)$$

где $\beta = \delta_0 - (90^\circ - \delta')$ для рис. 59, а (выработка наклонена в противоположную сторону от падения пласта) или $\beta = \delta_0 + (90^\circ - \delta')$ для рис. 59, б (выработка наклонена в сторону падения пласта). Затем из прямоугольного треугольника $3C'B$ или $AC'B$ вычисляют величину m :

$$m_k = \frac{m'}{\cos \delta'} = m' \sec \delta', \quad (b)$$

где δ' — видимый угол падения пласта в вертикальном разрезе, проходящем через секущую выработку.

Наконец, из прямоугольного треугольника $3CB$ или ACB находят искомую величину m :

$$m = m_k \cos \delta, \quad (b)$$

где δ — угол падения пласта.

Пользуясь выражениями (а), (б), (в) и выражая m через m_k , будем окончательно иметь

$$m = m_k \cos \beta \sec \delta' \cos \delta. \quad (\text{IV}, 10)$$

Обобщая решение задачи перехода от измеренной мощности $m_{\text{изм}}$ вдоль секущей выработки к нормальной мощности, можно следующим образом выразить формулу (IV, 10):

$$m = m_{\text{изм}} \cos \varphi. \quad (\text{IV}, 11)$$

Здесь $m_{\text{изм}}$ в конкретных примерах будет выражаться величинами m_k , m_r , m'_r и m_k , а $\cos \varphi$ соответственно через $\cos \delta$, $\sin \delta$, $(\sin \delta \cos \Theta)$ и $(\cos \beta \sec \delta' \cos \delta)$.

Угол φ называется углом перехода от $m_{\text{изм}}$ к m и реально представляет собой угол между осью секущей выработки и нормалью к напластованию.

Построение разрезов

При характеристике условий залегания по результатам разведки широко используется метод разрезов. Наиболее часто приходится строить вертикальные разрезы по разведочным линиям и нормальные колонки, являющиеся неотъемлемой частью любой геологической карты.

Самостоятельное значение геологические разрезы имеют при проектировании и задании вскрывающих горных выработок.

Нормальный разрез (нормальная колонка) является основой для решения многих горногеометрических задач. Поэтому прежде всего рассмотрим построение этого разреза.

Формула (IV, 11) является основой для построения нормальной колонки толщи пород того или иного участка по измеренным мощностям этих пород вдоль секущих выработок разного направления.

В качестве примера возьмем условия залегания пород (а, б), приведенные на рис. 54, и элементы залегания наклонной искошенной скважины C в точке 3 пересечения ее с пластом (α_0, δ_0).

Угол перехода φ найдется как угол между осью секущей выработки и нормалью к пласту графическим путем в проекциях с числовыми отметками с помощью сетки или вычислением.

Графическое определение угла между двумя направлениями в проекции с числовыми отметками и с помощью сетки детально рассмотрено в первом разделе, и нет необходимости здесь снова возвращаться к этому.

Для нашего примера элементы залегания нормали к напластованию будут равны

$$\alpha_n = \alpha - 90^\circ \text{ и } \delta_n = 90^\circ - \delta.$$

Угол φ вычисляется согласно формуле (VI, 10):

$$\cos \varphi = \cos \beta \sec \delta' \cos \delta. \quad (\text{IV, 12})$$

Здесь видимый угол падения δ' пласта в вертикальном разрезе по скважине C находится по известному выражению:

$$\operatorname{tg} \delta' = \operatorname{tg} \delta \sin (\alpha - \alpha_0). \quad (\text{IV, 13})$$

Угол β , заключенный между осью выработки и видимой нормальной мощностью m' пласта, для нашего примера будет равен

$$\beta = \delta_0 - (90^\circ - \delta'). \quad (\text{IV, 14})$$

Пусть данным участком скважины пересечено семь пород различного литологического состава и измерены их мощности m_i .

Найдя из условий задачи угол φ и пользуясь формулой (IV, 11), проводится отвесно нормаль к напластованию и к ней под углом φ_i ось данного участка ab скважины (рис. 60). На последнем от начальной точки a откладываются нарастающим итогом все измеренные в пределах этого участка скважины мощности m_i встреченных пород 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7. Затем они проектируются на направление нормали ab' , составляя нормальную колонку или нормальный разрез.

Следующий участок скважины проводится вниз от точки b под соответствующим его элементам залегания углом φ_{i+1} . Вдоль этого участка от точки b откладываются, так же как и на предыдущем участке, измеренные мощности m_i встреченных пород и проектируются на нормальную колонку. На рис. 60 показано построение на ней породы 8. Таким образом, последовательно используя разрезы по секущим выработкам, строят нормальный разрез на полную мощность той или иной толщи.

Имея нормальную колонку или разрез пород по секущей вы-

работке, нетрудно построить для данного участка разрез пород по заданному направлению. Практически часто ставится такая задача при проектировании вскрывающих горных выработок.

Решение ее как обратной задачи затруднений не представляет.

Здесь мы рассмотрели подразделение мощностей пласта по их направлению в пространстве и относительно напластования. Технологическое подразделение мощностей в связи с оперативными замерами будет рассмотрено в разделе «Подсчет запасов».

§ 17. Глубина залегания

Глубина залегания пласта является геометрическим элементом, с которым постоянно приходится иметь дело при решении основных вопросов горного дела. Она представляет собой расстояние по вертикали от земной поверхности до залежи. Проведение вертикальных горных выработок до залежи требует ясного представления о глубине залегания в любой точке. Выбор способа разработки, определение контура открытых работ нуждается в знании отношения мощности покрывающих пород к мощности залежи, а мощность первых представляет собой глубину залегания пласта.

В задачу разведки и маркшейдерской службы входит получение данных, характеризующих глубину залегания пласта в любой точке или в необходимом числе пунктов. Лучшее и наиболее полное представление о глубине залегания дает план изоглубин (о чем более подробно будет сказано в III разделе) или совмещение топографического плана поверхности с гипсометрическим планом висячего бока залежи. В первом случае глубина залегания в любой точке читается прямо на плане по изоглубинам. Во втором случае глубина залегания в любом пункте равна разности отметок указанных топографических поверхностей.

К числу часто встречающихся в практике задач относится определение линии выхода пласта на поверхность (или под насысы). При этом указанную задачу приходится во многих случаях решать по ограниченному числу данных, характеризующих залегание пласта. Нередко в первом приближении приходится ограничиваться представлением о пласте как плоскости и ре-

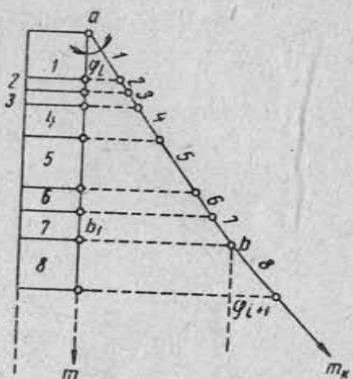


Рис. 60. Построение нормальной колонки

шать задачу построения линии пересечения этой плоскости с земной поверхностью (или с границей коренных пород и наносов). Следовательно, дело сводится к отысканию точек пересечения одноименных горизонталей пласта и земной поверхности (или поверхности контакта коренных пород и наносов, т. е. точек, где глубина залегания пласта равна нулю или мощности наносов).

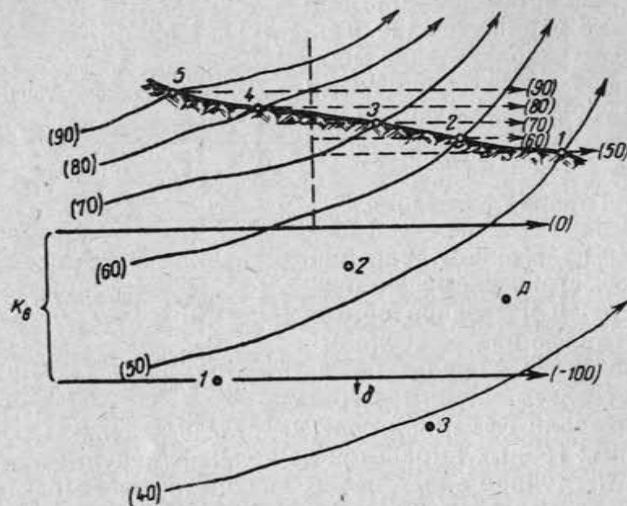


Рис. 61. Построение линии выхода пласта на поверхность

Пусть на рис. 61 изображена в горизонталях земная поверхность некоторого участка, в пределах которого по данным скважин 1, 2 и 3 построены изогипсы (горизонтали) висячего бока пласта k_6 с отметками 0 и -100 . Представление о плоском залегании пласта распространяем дальше и строим горизонтали пласта с отметками, равными отметкам горизонталей земной поверхности. Это будут горизонтали с высотами 60, 70, 80 и 90, показанные на рис. 61 пунктиром. Точки пересечения их с соответствующими горизонталью земной поверхности — точки 1, 2, 3, 4, 5 — являются искомыми, лежащими на линии выхода пласта на земную поверхность. Линия выхода пласта на земную поверхность (или под наносы) является естественной границей шахтного или рудничного поля, а при разведке она является границей, за которой нет смысла проводить разведочные работы. Линию выхода пласта на плане можно построить также методом вертикальных разрезов. В этом случае сначала строят ряд вертикальных разрезов вкрест простирации пласта. На этих разрезах по данным топографического плана участка и данным

разведочных и эксплуатационных выработок показывают профиль земной поверхности и пласта и находят точки пересечения последних. Указанные точки далее переносят на план и по ним строят проекцию линии выхода.

Исходя из принятого представления о залегании пласта, на рис. 61 в любой точке, например в точке A , легко определить глубину его залегания. В данной точке отметка земной поверхности 45, а отметка пласта — 50, следовательно, глубина залегания пласта в точке A равна 95 м. Таким образом, первое представление о залегании пласта, основанное на данных трех скважин, позволяет предвычислять глубины (длины) проектируемых вертикальных разведочных и горных выработок.

При наличии аналогичного плана можно предвычислить и наклонные глубины (длины) выработок, задаваемых с целью разведки или вскрытия пласта.

Каждая последующая разведочная или горная выработка, проведенная на залежь или по залежи, уточняет представление о залегании пласта, в том числе и о глубинах залегания. Построение линии выхода пласта под наносы (на поверхность коренных пород) производится аналогичным путем, если известно положение нижней поверхности рыхлых отложений. Еще проще строится линия выхода пласта на проектируемый горизонт. В этом случае дело сводится к построению горизонталей поверхности пласта, имеющих отметку, равную отметке проектируемого горизонта.

§ 18. Задание выработок

Данная задача возникает при составлении проектов проведения секущих выработок или выработок, проводимых по залежи.

Задание выработок при графическом способе решения сводится к решению задачи на прямую и плоскость, рассмотренных в главе I. При этом плоскость отождествляется с пластом, заданным простиранием α и падением δ , а прямая отождествляется с осью выработки, задаваемой по определенному направлению.

Элементы залегания пласта и направление выработки относятся к заданным условиями задачи точкам.

При составлении проекта проведения секущей выработки предварительному определению подлежат координаты точки пересечения выработки с пластом и длина проектируемой выработки, в последующем используемые в технических и экономических расчетах проекта.

При составлении проекта проведения выработок, проводимых по залежи, предварительно рассчитывают, исходя из усло-

вий залегания пласта, проектные угловые величины — направление выработки или угол наклона к горизонту.

В процессе осуществления проекта в натуре на основе маркшейдерских съемок расчетные величины уточняют.

Решение задач по заданию выработок преимущественно осуществляется графическим способом. При этом исходными данными являются элементы залегания пласта, установленные в тех или иных точках, и координаты пунктов, из которых задаются выработки, и направление последних, а искомыми — координаты точки пересечения выработки с пластом, длина задаваемой выработки и иногда ее направление.

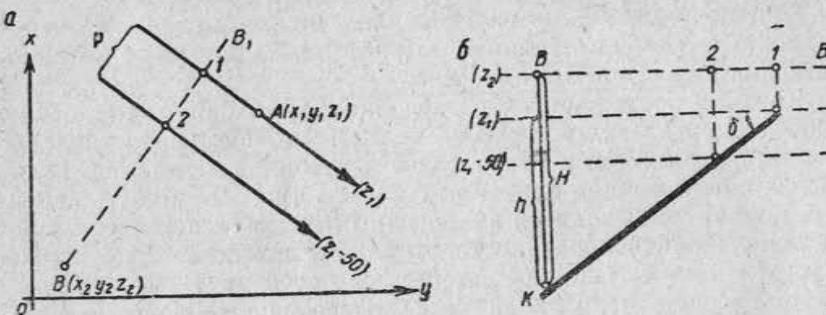


Рис. 62. Задание вертикальной секущей выработки

В геометрическом отношении задание выработок представляет собой задачи на прямую и плоскость.

При графическом их решении применительно к заданию секущих выработок строят по исходным данным геометрическую схему на плане — изображается пласт и выработка, а также вертикальный разрез по выработке. По разрезу устанавливают точку пересечения выработки с пластом и ее глубину H .

На рис. 62, а изображен двумя изогипсами по элементам залегания в точке A пласт P и устье B задаваемой вертикальной выработки. На рис. 62, б представлен вертикальный разрез по линии BB_1 вкрест простириания пласта, позволяющий определить точку K пересечения выработки с пластом и ее глубину H .

Рис. 63 иллюстрирует задание наклонной секущей выработки. Решение выполняется по схеме, изложенной выше. Здесь точка C — пересечение выработки с пластом P , а BC — искомая длина наклонной выработки. Задание горизонтальной выработки производится в таком же порядке.

Простота и определенность отношений между прямой и плоскостью в рассматриваемых задачах не исключают примене-

ния в отдельных случаях аналитического метода решения. Для этих целей используются известные из аналитической геометрии уравнения плоскости и прямой.

Зная элементы залегания пласта, можно задавать выработки по пласту. Чаще задают выработки по простирианию или до падению (восстанию) пласта.

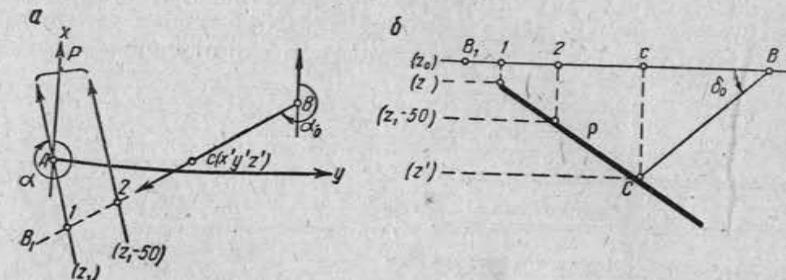


Рис. 63. Задание наклонной секущей выработки:
а — план, б — разрез

В ряде случаев, например в случае необходимости выполнения угла наклона выработки, приходится задавать ее диагонально по отношению к простирианию пласта. При этом вопрос можно решить двумя путями: 1) определить уклон выработки, заданной углом простириания; 2) определить направление выработки с заданным уклоном.

Графическое решение аналогичной задачи дано ранее.

§ 19. Изображение плоскостных форм залегания

Геометрические основы изображения плоскостных форм залегания изложены выше при рассмотрении проекций с числовыми отметками и их приложений к решению типовых задач.

Для представления о геометрических параметрах пластов и расположении связанных с ними выработок строят планы и систему разрезов.

Залежь, в которой развиты горные работы, изображается горизонтальной (иногда вертикальной) проекцией горных выработок с нанесением необходимых показателей. Там, где горные работы не развиты, на плане залежь изображается системой изогипс. Построение последних часто приурочивается к проектируемым горизонтам шахты или рудника.

На рис. 64 приведен план по пласту k_1 , где показаны основные секущие выработки и горизонтальные выработки по пласту, — ствол шахты № 10, квершлаг горизонта 170 м и основные

шгреки на горизонтах 85 и 170 м. Залегание пласта на проектируемом нижележащем горизонте 255 м характеризуется соответствующей изогипсой и показанием угла падения δ .

Один план не дает полного представления об условиях залегания и других показателях пласта, а также о положении существующих или проектируемых разведочных и горных выработок. Поэтому план обычно сопровождается разрезами, задаваемыми по разным направлениям. Обычно строят вертикальные и горизонтальные разрезы, место и направление которых

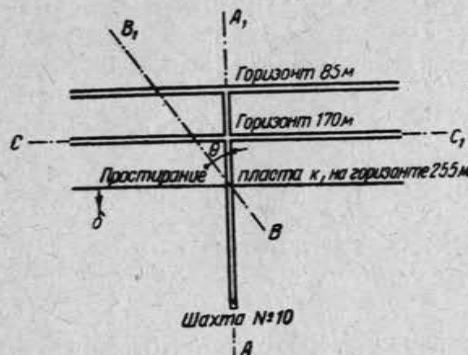


Рис. 64. План пласта

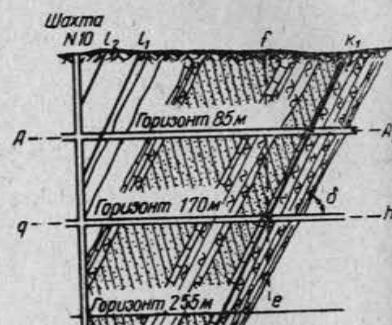


Рис. 65. Вертикальный разрез вкрест простирания пород (по линии квершлагов)

отмечается на плане соответствующими линиями. Так, на рис. 64 направления вертикальных разрезов показаны пунктирными линиями AA₁, BB₁ и CC₁. Из них первый задан вкрест простирания пород, второй — по косому направлению и третий — по простиранию пород.

При любых обстоятельствах строят вертикальные разрезы вкрест простирания пород. Вертикальные разрезы по другим направлениям строят в отдельных случаях в связи с решением тех или иных задач или особых выявившихся условий. Например, вертикальный разрез по косому направлению (BB₁) может быть необходим в связи с проектированием по этому направлению секущей разведочной или горной выработки. Значительные изменения мощностей пород или их литологического состава по простиранию могут вызвать необходимость построения вертикального разреза по простиранию (CC₁).

На рис. 65 построен вертикальный разрез вкрест простирания пород по линии AA₁. Он характеризует в этом сечении положение пластов полезного ископаемого, вмещающих пород и выработок и дает представление об углах падения залежи и

вмещающих пород, их мощностях. Он служит основой для построения других разрезов.

На рис. 66 представлен вертикальный разрез по простиранию пород вдоль линии CC₁. Здесь линия fe₁ совпадает с ли-

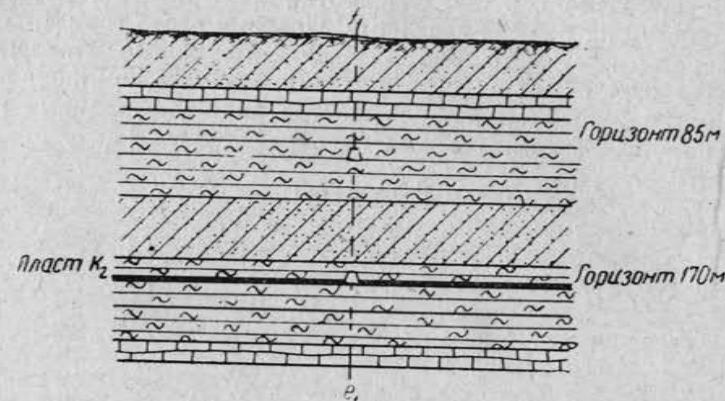


Рис. 66. Вертикальный разрез по простиранию пород

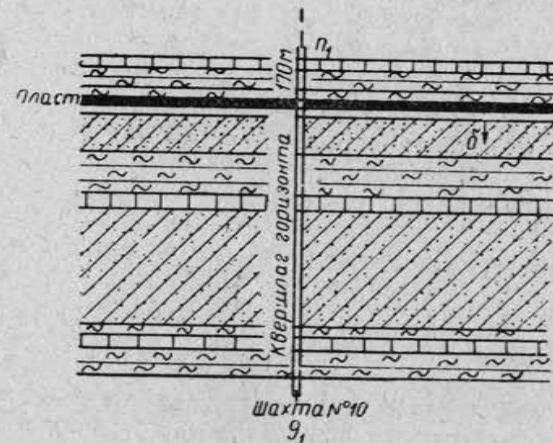


Рис. 67. Горизонтальный разрез пород (горизонт 170 м)

нией fe (см. рис. 65) и свидетельствует об использовании вертикальных разрезов вкрест простирания пород при построении вертикальных разрезов по простиранию.

Горизонтальные разрезы обычно приурочиваются к эксплуатационным или проектируемым горизонтам горных работ при разведке и разработке свиты пластов или жил. При их постро-

ний используется система вертикальных разрезов вкрест профиляния пород и документация квершлагов. На рис. 67 представлен горизонтальный разрез по действующему горизонту шахты № 10 (см. рис. 64) 170 м. На горизонтальном разрезе изображаются все секущие выработки и выработки, пройденные по пласту на данном горизонте. Поэтому часто горизонтальные разрезы называются погоризонтными планами. Последние при разработке свиты пластов или жил входят в комплект обязательных маркшейдерских документов наряду с планами горных работ по пластам (жилам).

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Геометрия

залежи

и задачи

выработок

в геометрии

залежи

и задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Геометрия

залежи

и задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

выработок

Горизонтальный
разрез

План

Сечения

Квершлаги

Пласты

Маркшайдерские

документы

Задачи

Глава V

СКЛАДЧАТАЯ ФОРМА ЗАЛЕГАНИЯ

§ 20. Общие положения

Складками называются разнообразные по форме и происхождению изгибы слоев пород, присущие слоистым толщам.

Складки разделяются на две основные разновидности — антиклинальные и синклинальные. Антиклинальными (антиклиналями) называются складки, в центральных частях которых располагаются породы относительно более древние, чем в краевых частях. Синклинальными (синклиналями) называются складки, центральные части которых сложены более молодыми породами по сравнению с породами, слагающими их периферийные части.

Накопленный при геологических исследованиях опыт свидетельствует о многообразии процессов складчатости, которые не являются следствием одной какой-либо причины, а отражают различные стороны развития земной коры.

Процессы, ведущие к образованию складок, могут быть глубинными и поверхностными. Первые приводят к полному или значительному изменению первоначального состава пород, вторые не дают заметных изменений пород.

Процессы формирования поверхностной складчатости изучены относительно полно. В зависимости от условий образования этой категории складчатости, по установившимся в настоящее время геологическим представлениям, выделяются следующие типы складок (рис. 68): регионального сдавливания, отраженные (глыбовые), гравитационного скольжения, приразрывные, связанные с внедрением интрузий и диапировые.

Наряду с генетической группировкой складок пользуются для их характеристики морфологической классификацией. Обе эти классификации дополняют друг друга. Морфологическая классификация оперирует понятиями, связанными с геометрическими элементами складок.

Складка как физическое и геометрическое тело разбивается на части, называемые элементами складки. Для их выделения

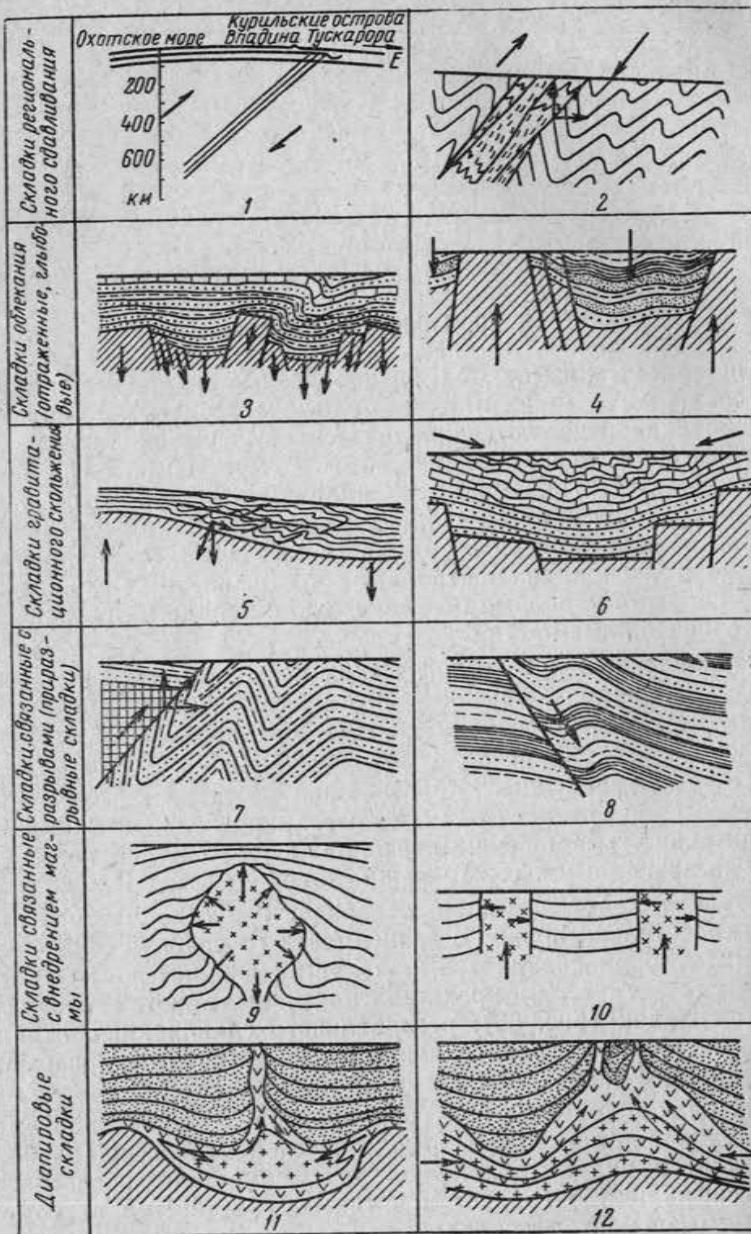


Рис. 68. Схемы образования поверхности складчатости

возьмем общий вид и вертикальный поперечный разрез простейшей по форме цилиндрической складки (рис. 69).

Из приведенного рисунка видно, что поверхность складки распадается на части: две плоские и одну криволинейную. Плоские части AB и CD (см. рис. 69) называются крыльями и складки, криволинейная часть BC , являющаяся переходом одного крыла в другое, — замком, или осевой частью, складки, а двугранный угол V , заключенный между крыльями складки (см. рис. 69), — углом складки.



Рис. 69. Элементы складки

Пространство, заключенное внутри складки, называется ее ядром. В каждом вертикальном поперечном сечении есть точка перегиба E' (см. рис. 69, a). Линия EE'_1 , соединяющая все точки перегиба данной складки, называется осью складки. В общем случае эта кривая двоякой кривизны. Для простых по форме складок или для ограниченных участков сложной складки ось может быть прямой линии. Проекция оси на горизонтальную плоскость характеризует ориентировку складки в плане.

Линия EE'_1 (см. рис. 69, a), представляющая собой пересечение продолжения крыльев складки, называется шарниром складки. Если замковая часть складки превращается в линию, шарнир совпадает с осью складки, то последняя называется шарнирной.

Плоскость $EE'_1F'_1F$, делящая угол V складки пополам, называется осевой плоскостью. В сложных складках, очевидно, это будет поверхность, называемая осевой поверхностью. Значение этого элемента складки состоит в том, что он является элементом симметрии складки и что в зоне осевой поверхности породы, собранные в складку, испытывают наибольшие напряжения и подвергаются максимальной деформации. Для геологов эта зона важна как зона возможной мине-

рализации, а для горняков — как зона со сложными условиями для проведения и поддержания выработок.

Линейные и угловые величины, характеризующие размер, форму и положение складки в пространстве, называются геометрическими параметрами складки. К ним относятся: 1) размеры складки; 2) элементы залегания крыльев складки; 3) элементы залегания оси (шарнира) складки; 4) угол складки и 5) элементы залегания осевой плоскости (поверхности).

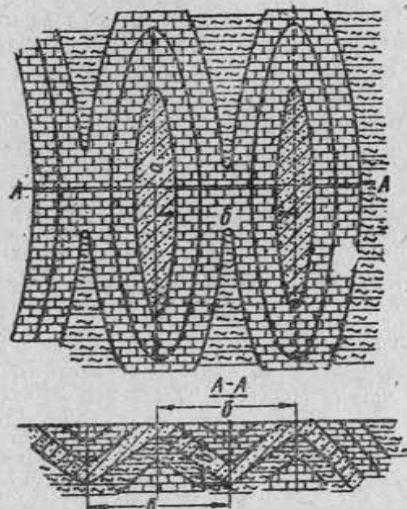


Рис. 70. Размеры складок

вертикальным размахом складки, называется расстояние по вертикали между замком антиклинали и замком смежной с ней синклинали, измеренное по одному и тому же слою.

Все другие элементы залегания складки являются угловыми величинами. Их определение по исходным данным достаточно подробно рассмотрено в предыдущих главах.

Следует отметить, что определение элементов залегания складок представляет собой решение ряда горногеометрических задач, необходимое для полной характеристики изучаемых складок. Геометрическая интерпретация результатов изучения складчатого залегания представляет собой геометризацию складок или геометризацию этой геологической структуры.

В предыдущих главах мы видели, что решение горногеометрических задач применительно к плоскостным формам залегания может осуществляться графическим и аналитическим способами. В применении к складкам, если даже поверхность их условно принимать за правильную, аналитический способ становится громоздким. Учитывая, что сложность изучаемых форм требует хорошей наглядности их изображения, а также нагляд-

ного представления об определяемых элементах залегания, приходится принимать графический метод решения задач как основной.

Использование правильных поверхностей как средства для характеристики формы складок возможно на ограниченных их участках. Более универсальным средством для характеристики формы складки будет топографическая поверхность.

Для многих геологических условий основной особенностью является линейность антиклинальных и синклинальных складок и наличие поперечных поднятий, дающих замкнутые формы складок внутри общей линейной структуры. Решение горногеометрических задач и геометризацию складок полезно связывать с принятыми геологическими понятиями о формах складок, для чего кратко приведем установившуюся [П, 18] морфологическую классификацию их. При морфологической классификации складки группируются по ряду признаков.

I. Положение осевой поверхности

А. Симметричные складки с вертикальной осевой поверхностью и одинаковыми углами падения крыльев (рис. 71).

Б. Асимметричные складки с наклонной или горизонтальной осевой поверхностью и разными углами падения крыльев (рис. 71 1, 2).

Различают асимметричные складки четырех видов.

1. Наклонные складки с падением крыльев в противоположные стороны под разными углами падения крыльев. Осевая поверхность наклонна (рис. 71, 3).

2. Опрокинутые складки с крыльями, наклоненными в одну и ту же сторону, и наклонной осевой поверхностью (рис. 71, 4). В опрокинутых складках различают нормальное и опрокинутое (подвернутое) крылья (рис. 71, 5—6). В нормальном крыле молодые породы расположены выше древних. В подвернутом крыле, наоборот, древние породы залегают выше молодых.

3. Лежачие складки с горизонтальным положением осевых поверхностей (рис. 71, 7).

4. Ныряющие складки с осевой поверхностью, изогнутой до обратного падения (рис. 71, 8).

II. Соотношение крыльев складки

1. Простые или нормальные складки с падением крыльев в разные стороны (рис. 72, а).

2. Изоклинальные складки с параллельным расположением крыльев. При вертикальном расположении крыльев изоклиналь-

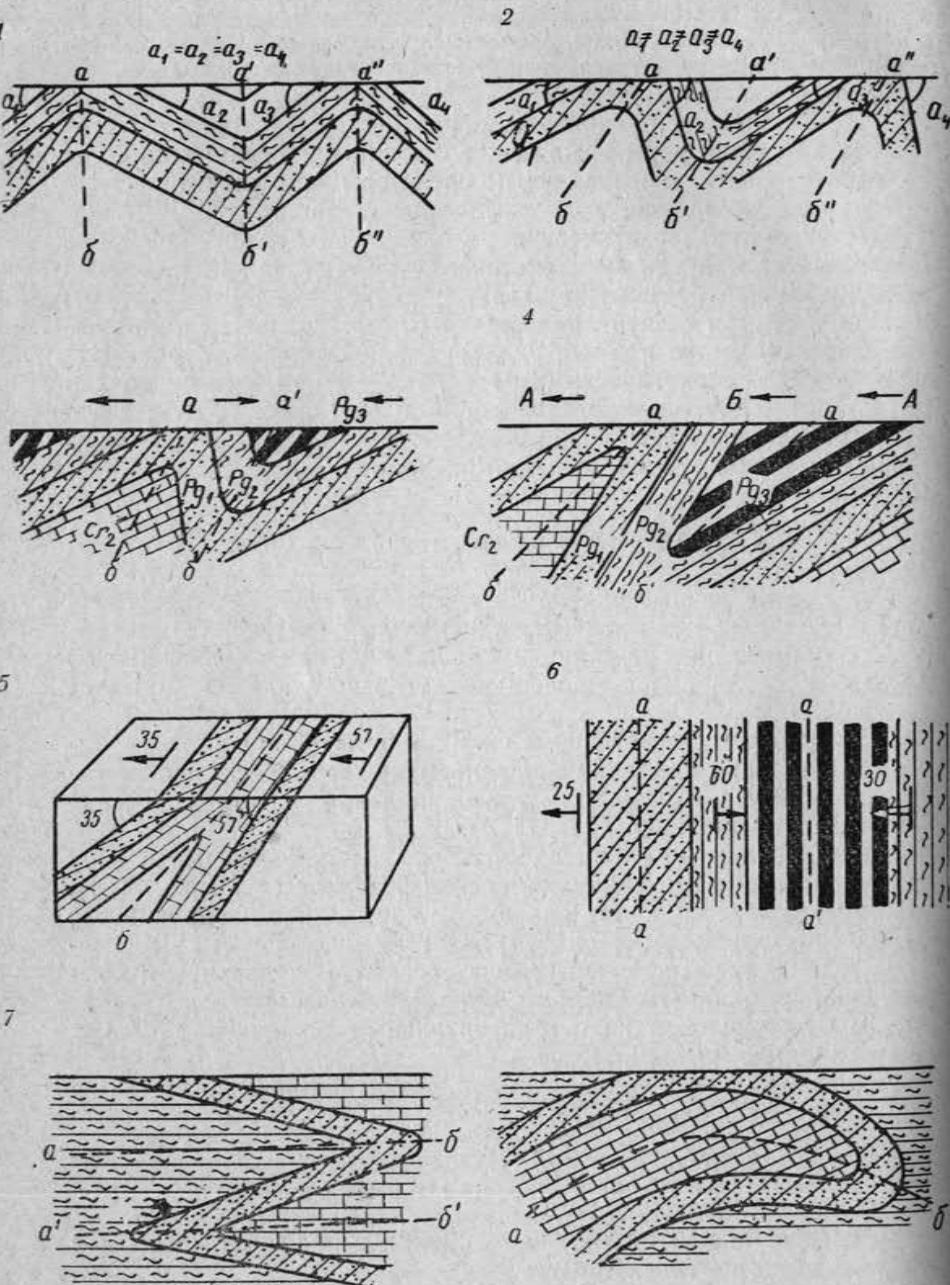


Рис. 71. Деление складок по положению осевой поверхности

ные складки называют прямыми, при наклонных крыльях — опрокинутыми (рис. 72, б, в).

3. Веерообразные складки с веерообразным расположением слоев. Ядра веерообразных складок нередко оказываются пережатыми, т. е. отделенными от остальных их частей (рис. 72, г, д).

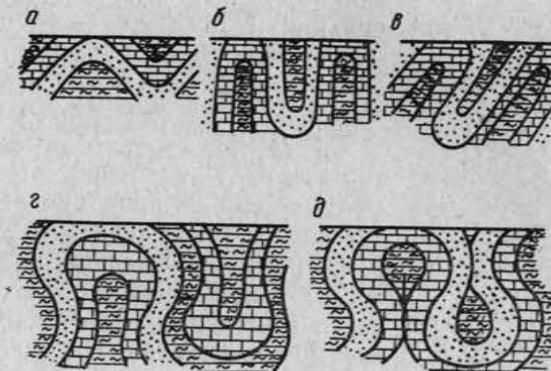


Рис. 72. Деление складок по соотношению между крыльями

III. Форма замка складки

1. Складки с крутопадающими крыльями, с углом $V < 90^\circ$ (рис. 73, а).
2. Складки с пологопадающими крыльями, с углом $V > 90^\circ$ (рис. 73, б).
3. Сундучные (коробчатые) складки с плоскими замками и крутопадающими крыльями (рис. 73, в).

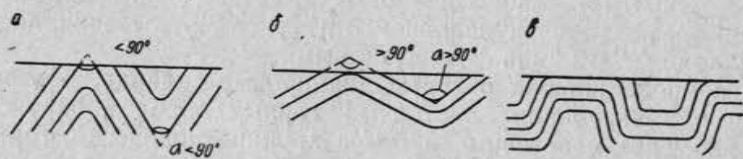


Рис. 73. Деление складок по форме замка

IV. Соотношение мощностей слоев на крыльях и сводах складок

1. Подобные складки, у которых мощность слоев на крыльях меньше мощности в сводах; форма замка не меняется с глубиной (рис. 74, а).

2. Концентрические складки с одинаковой мощностью слоев в своде и на крыльях. С глубиной радиус кривизны таких складок должен уменьшаться и антиклинали становятся более резкими, а синклинали — расплывчатыми (рис. 74, б). В природе развиты преимущественно подобные складки. Но различие в мощностях в своде и на крыльях складки часто бывает настолько незначительным, что в пределах построений складки изображаются концентрическими.

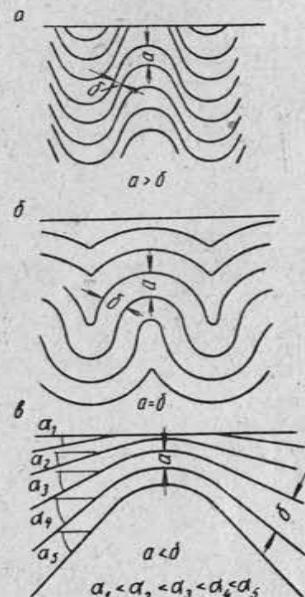


Рис. 74. Деление складок по соотношению мощности в сводах и на крыльях

3. Складки с уточщенными замками (рис. 74, в). Здесь мощность пород в сводах меньше, чем на крыльях, вследствие чего характерно увеличение углов падения крыльев с глубиной.

На предыдущих рисунках показаны на вертикальных разрезах схемы разных видов складок. На рис. 75 приведены примеры некоторых реальных форм складок.

В плане (на карте) в зависимости от формы складки делятся на линейные, брахиформные и куполовидные.

Линейными складками принято называть такие, у которых отношение длины a к ширине b больше трех (рис. 76, 1). Складки, у которых это отношение меньше трех, называются брахиформными (брахиантиклиналями и брахисинклиналями, рис. 76, 2). В одинаковых размерах складок в плане складки называются куполовидными (рис. 76, 3), синклинальные складки этого вида — чашевидными.

В природе широко развиты диапировые складки, образующиеся при внедрении пластичных горных пород в окружающие их менее пластичные и более хрупкие породы. К горным породам, обладающим высокой пластичностью, выражющейся в способности течь под влиянием внешнего давления или под действием собственного веса, относятся: соли, ангидрит, гипс и насыщенные водой глины.

Наиболее широко развиты разновидностями диапировых складок являются соляные купола и глиняные диапиры.

Весьма распространена особая форма изгиба слоистых толщ, носящая название флексуры. Для нее характерно наличие элементов: приподнятого, или верхнего, крыла, опущенного,

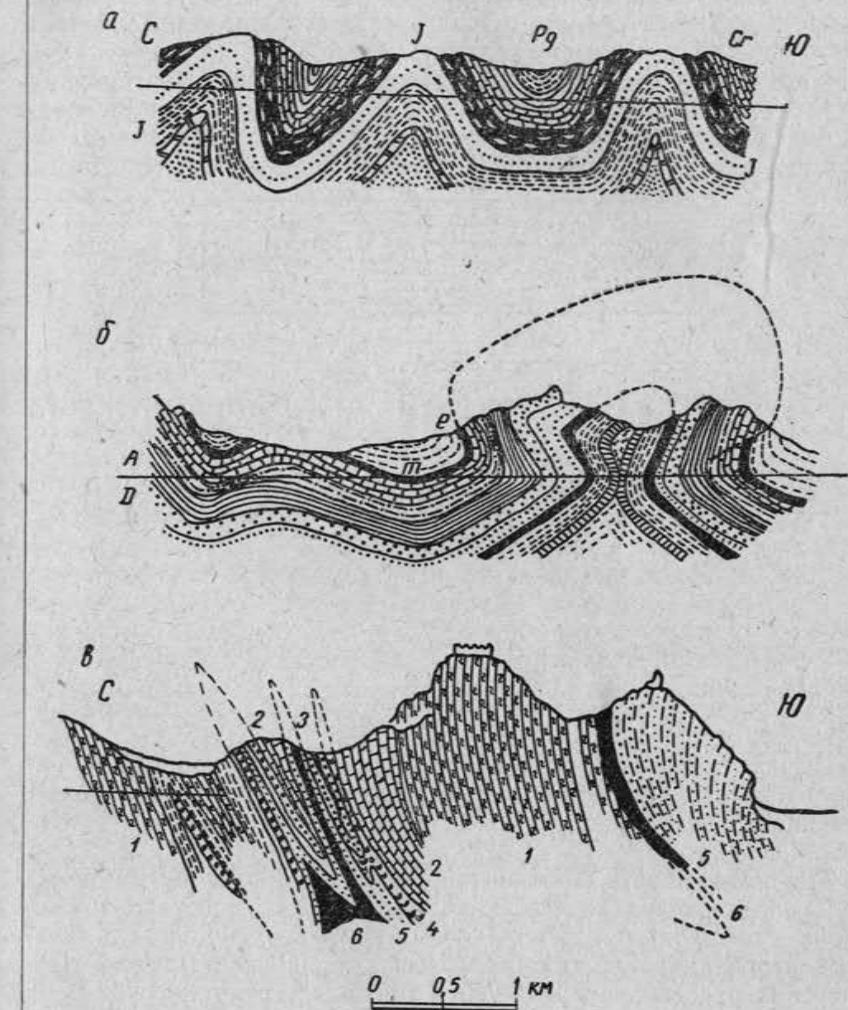


Рис. 75. Формы складок

или нижнего, крыла, среднего, смыкающего, крыла и угла падения последнего, резко отличающегося от углов падения верхнего и нижнего крыльев. Флексуры наблюдаются как в платформенных, так и в складчатых областях. Они осложняют строение крыльев складок и часто служат переходной формой от складчатой к разрывной структуре.

Из изложенного выше следует, что осадочные образования часто представлены в природе в форме складок, поэтому связанные с ними пластовые месторождения полезных ископаемых

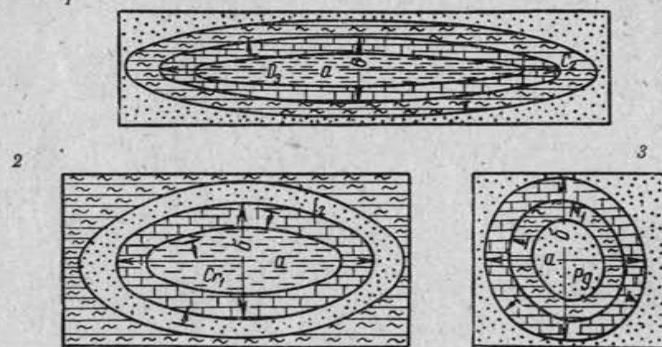


Рис. 76. Деление складок в плане

имеют складчатое залегание. При разведке и разработке этих месторождений верное представление о форме залегания пластов является необходимым условием успешной работы.

Сумма геологических и маркшейдерских наблюдений должна обеспечить получение достоверной количественной характеристики условий залегания пластов, необходимой для проектирования работ.

По совокупности наблюдений и их обработке путем решения горногеометрических задач должен быть составлен комплекс графиков, представляющий графическую модель участка. Последняя должна содержать все необходимое для технических расчетов и составления рабочих геометрических схем.

Применительно к пластовым месторождениям основным элементом такой графической модели участка является гипсометрический план пласта, сопровождаемый необходимым количеством вертикальных (и иногда горизонтальных) сечений.

Известно, что при подсчетах запасов полезного ископаемого, при проектировании шахты или при проектировании работ на отдельных ее участках в условиях пологого и наклонного

залегания пластов используется геологический паспорт шахтного поля и гипсометрические планы по рабочим пластам.

В условиях крутого залегания свиты пластов в форме сложных складок основным структурным планом является погоризонтный план, составляемый по каждому эксплуатационному горизонту.

Таким образом, структурная характеристика складчатого шахтного поля или участка осуществляется путем составления системы разрезов и изображения в изолиниях поверхности пласта в проекции на ту или иную (чаще горизонтальную) плоскость.

§ 21. Построение гипсометрического плана пласта

Масштаб плана и сечение изогипс

Планы с изогипсами пластов строят по каждому шахтному полю. Они служат основой для подсчета запасов и составления проекта разработки поля. При текущем планировании развития горных работ используют сводные маркшейдерские планы, на которые также наносят изогипсы пласта.

Масштабы геологических и сводных маркшейдерских планов регламентируются требованиями технических инструкций.

Выбор сечения h изогипс должен основываться на детальности изучения поверхности пласта и на требованиях, предъявляемых к плану. Изогипсы должны выражать характер поверхности пласта достаточно обобщенно и в то же время с необходимой детальностью, чтобы на нем можно было правильно отражать проектное положение выработок и выполнять необходимые технические расчеты.

В соответствии с установившейся практикой сечение изогипс на плане пласта должно быть кратным некоторым целым круглым значениям.

В зависимости от масштаба плана, угла падения пласта и высоты этажа они берутся равными 1, 2, 5, 10, 20, 25, 50 и 100 м.

При проектировании горных работ важно правильно установить положение откаточного штрека, так как все остальные выработки, проектируемые по пласту в пределах этажа, определяются положением этого штрека.

Это достигается интерполяцией между двумя соседними изогипсами. Следовательно, наклонная высота этажа l , рассчитываемая по ряду определенных показателей, должна служить основой для установления верхнего предела величины сечения h из выражения

$$h \leq l \sin \delta. \quad (V, 1)$$

Например, если наклонная высота l этажа равна 100 м и угол падения δ пласта равен 45° , то вертикальная высота этажа равна приблизительно 71 м. Поэтому максимальное значение сечения изогипс на плане должно быть равно ближайшему меньшему круглому (стандартному) значению, т. е. 50 м.

Минимальное значение сечения изогипс определяется усложнением поверхности пласта изгибами низших порядков относительно основной складки, т. е. средней величиной отклонения поверхности пласта от общего контура структуры первого порядка.

Величина оптимального сечения изогипс практически устанавливается анализом профилей пласта на вертикальных разрезах по разведочным линиям или по заданным направлениям вкрест простирации структуры. В результате этого учитывается необходимость отражения на гипсометрическом плане пласта заслуживающих внимания усложнений его поверхности. Оптимальное сечение должно быть кратно ближайшему меньшему круглому значению.

При указанном подходе выбор оптимального сечения изогипс на плане не отрывается от исходных разведочных и эксплуатационных данных, служащих основой для составления плана пласта, и вытекает из требований, предъявляемых к плану при его использовании.

Складки с цилиндрической и конической поверхностями

Иногда приходится строить гипсометрию пласта, собранного в складку на участках, прилегающих к разрабатываемой части шахтного поля по простиранию или падению пласта, при отсутствии или недостаточном количестве по этим участкам данных.

В этом случае подвергается анализу характер складчатой поверхности пласта в отработанной и хорошо изученной его части, и если это возможно, то поверхность пласта принимается в определенных пределах цилиндрической или конической.

Основным свойством цилиндрической поверхности является прямолинейность и параллельность ее образующих, а конической поверхности — прямолинейность и разнонаправленность образующих, пересекающихся в точке вершины конуса. Направляющей этих поверхностей может быть любая кривая, лежащая на поверхности пласта.

При построении изогипс пласта в качестве направляющих берутся изогипсы, соответствующие отметке нижележащего откаточного штрека.

Пусть на рис. 77 по данным горных работ и маркшейдерских съемок построены для двух участков изогипсы пласта 150 и 100.

Требуется построить на этих участках изогипсу пласта 50 для проектируемого горизонта с данной отметкой.

Простирание складчатой структуры в обоих случаях равно a_0 . Анализ первого участка (рис. 77, а) показывает, что с некоторым приближением образующие поверхности прямолинейны и параллельны, т. е. поверхность пласта можно считать цилиндрической. Анализ второго участка (рис. 77, б) позволяет поверхность пласта считать конической. В том и другом случае оси складок и пунктирные линии представляют собой образующие

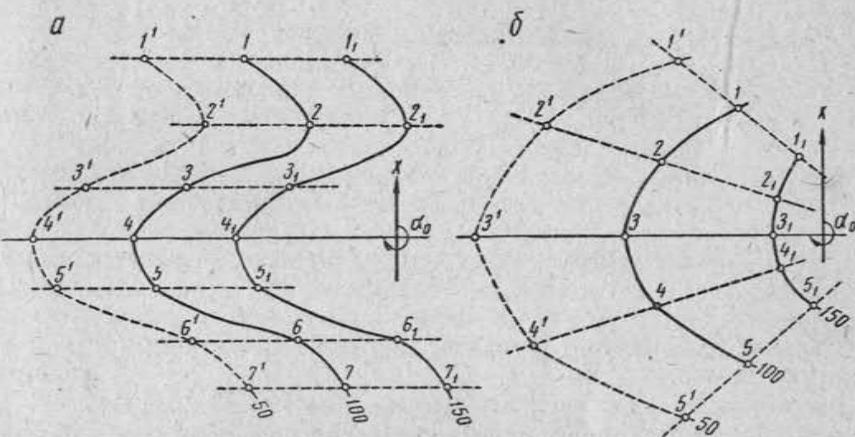


Рис. 77. Построение изогипс складчатой цилиндрической и конической поверхностей пласта для проектируемого горизонта

поверхностей. Методом прямолинейной экстраполяции на образующих находят точки с отметкой 50 и по совокупности этих точек строят для обоих участков искомую изогипсу 50 (пунктирная линия). При малой площади обнажения пласта в горных выработках о характере поверхности пласта можно судить в первом приближении по элементам его залегания в ряде точек. Пусть на рис. 78 в точках a , b , c , взятых на штреке горизонта 100, измерены элементы залегания пласта. По ним построены изогипсы 100 и 80 касательных плоскостей к поверхности пласта, дающие линии пересечения de , fg , kl . На рис. 78, а они параллельны между собой, а на рис. 78, б — пересекаются в точке B (вершина конуса). Исходя из основных свойств рассматриваемых поверхностей, можно с некоторым основанием поверхность пласта в первом случае (рис. 78, а) считать цилиндрической, а во втором (рис. 78, б) — конической.

Следует подчеркнуть, что возможность использования правильных поверхностей для характеристики складчатой поверх-

ности пласта должна базироваться на анализе характера поверхности отработанной и хорошо изученной части пласта. Одновременно при этом должно быть выявлено расстояние, на котором допустима прямолинейная экстраполяция. Последняя,

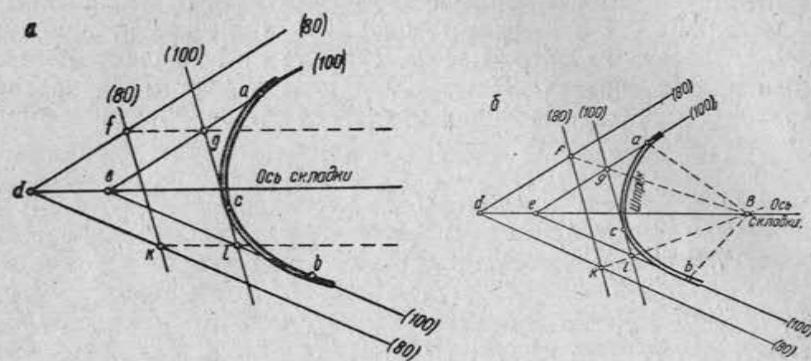


Рис. 78. К построению изогипс пласта на ограниченной площади методом правильных поверхностей

видимо, во многих случаях не должна выходить за пределы одного этажа.

Складки с топографической поверхностью

Топографическая поверхность является удобным средством для характеристики многих природных показателей, в том числе и складчатой поверхности пластов. Последняя является реально существующей, но скрытой от взора наблюдателя поверхностью. Это обстоятельство вызывает некоторые особенности в приемах ее построения на плане по сравнению с составлением топографических планов поверхности Земли.

В зависимости от геологических условий и характера исходных данных существует ряд приемов построения гипсометрических планов пластов. Приведем наиболее установившиеся и распространенные приемы.

Способ вертикальных разрезов

Построение гипсометрического плана складчатой поверхности пласта способом вертикальных разрезов или сечений носит универсальный характер.

Скрытый характер изучаемой поверхности для лучшего выявления структурных элементов и линий этой поверхности выясняется преимущественно по разведочным линиям вкrest про-

стирания складчатой структуры, по которым и составляют вертикальные разрезы.

В связи с построением профиля пласта в плоскости разреза уместно кратко остановиться на построении самого разреза по заданной линии.

Построение вертикальных геологических разрезов производится с использованием всего комплекса данных: естественных обнажений, отраженных на геологической карте, разрезов по скважинам и горным выработкам, зарисовкам выработок и т. д.

При составлении разрезов учитывают общие геологические особенности участка или района — постоянство или характер изменчивости мощностей и их отношений, характер складчатости и разрывных структур и др.

В практике признан целесообразным следующий порядок построения вертикального разреза по заданной линии. По геологической карте или листу разведки намечается линия разреза. Затем она переносится на маркшейдерские планы разрабатываемых пластов. Далее на листе бумаги, предназначенном для построения разреза, наносится высотная сетка (шкала) в масштабе разреза до требуемой глубины. Величина интервала шкалы берется равной принятому сечению на гипсометрических планах.

Построение разреза начинается с построения профиля земной поверхности. На этом профиле отмечают естественные обнажения горных пород, в которых указывают следы пластов и других геологических контактов с соответствующими углами падения. После этого на разрез наносят разведочные и горные выработки, находящиеся на линии разреза и вблизи ее, причем проектирование выработок в плоскость разреза производится только по направлению простирации пород в этом месте. В том случае, когда простирация пород в данной зоне установить нельзя или между линией разреза и выработкой проходит нарушение залегания пород, проектирование этих выработок в плоскость разреза не производится.

По результатам первичной документации — зарисовкам и разрезам, выполненным по отдельным выработкам, — наносят на разрез следы пластов и других геологических контактов с соответствующими углами их падения, после чего производят увязку состава пород по маркирующим горизонтам, а затем окончательно проводят линии контактов соответствующих пластов и нарушений залегания. Целесообразно вначале произвести построение геологического горизонта, имеющего наибольшее количество фактических данных, и после этого достраивать остальную толщу, используя имеющийся фактический материал и особенности изменения толщи.

При использовании метода нормалей требуется предварительное установление наличия или отсутствия разрывов на участке.

Окончательное оформление разреза производят в соответствии с принятым или специально оговоренными условными знаками.

Для использования вертикальных разрезов при построении гипсометрии пластов в плоскости разреза четко выделяют профили этих пластов.

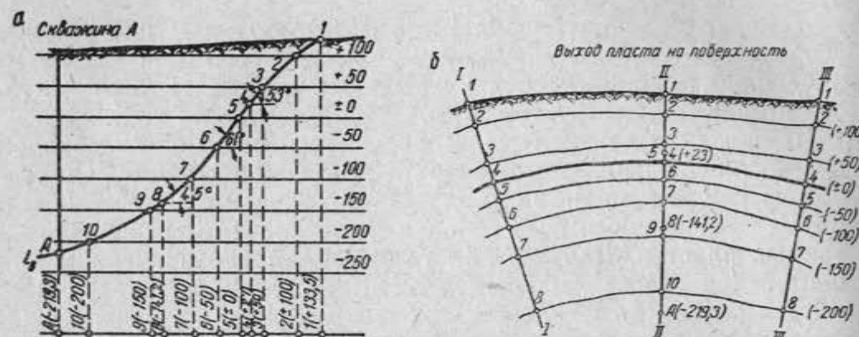


Рис. 79. Построение гипсометрического плана пласта способом вертикальных разрезов

Один из таких профилей угольного пласта I_6 построен на вертикальном разрезе по II разведочной линии (рис. 79, а). Для построения профиля пласта здесь использован весь комплекс обнажений пласта по линии — выход, обнажения в горных и разведочных выработках (точки 1, 4, 6, 8, A).

В соответствии с выбранной величиной сечения изогипс ($h = 50 \text{ м}$) в плоскости разреза проведены горизонтальные линии с отметками, кратными 50. Указанные горизонтальные линии в пересечении с пластом дают ряд точек (2, 3, 5, 6, 7, 9, 10), отметки которых кратны выбранному сечению. Спроектировав их на горизонтальную линию (в плоскость плана), мы получим положение перечисленных точек на плане вдоль II разведочной линии. Следует отметить, что при перенесении точек с профиля в плоскость плана особое внимание обращается на точки перегиба (если они есть), так как совокупность их позволяет предварительно строить на плане структурные, так называемые инвариантные, линии. Последние позволяют с помощью изогипс более правильно выражать складчатую поверхность пласта.

Горизонтальная проекция профиля со всеми точками и их отметками, построенная в масштабе плана, в соответствии с ее ориентировкой и положением переносится с рис. 79, а на

рис. 79, б. Аналогично на план наносят данные по I , III и другим разведочным линиям. Далее по совокупности точек выходов пласта строят линию выхода пласта на поверхность или под насыпи. По соответственным точкам перегиба пласта проводят инвариантные линии поверхности пласта, а затем изогипсы пласта путем соединения плавными линиями точек соседних разведочных линий с одинаковыми отметками.

Построение изогипс начинается с отработанной и хорошо изученной части пласта и продолжается далее по принципу от основного к деталям, от простого к сложному.

На гипсометрический план пласта для полноты характеристики кроме изогипс наносят другие показатели, характеризующие геологические и горнотехнические условия разработки (структурные колонки пласта, линии тектонических разрывов, размыва пласта, линии других геологических контактов, необходимые контуры горных выработок и другие данные).

Способ нормалей

При хорошо выдержаных мощностях осадочных отложений, четком расчленении толщи в нормальном стратиграфическом разрезе, наличии крупномасштабной инструментальной геологической съемки построение гипсометрического плана пласта можно выполнять способом нормалей.

На рис. 80, а представлена геологическая карта участка угольного месторождения, составленная на основе инструментальной съемки, с нормальной стратиграфической колонкой этого участка. Требуется построить гипсометрический план угольного пласта k_5 в масштабе геологической карты.

Для этого на геологической карте (рис. 80, а) проводят линии ($I-I'$, $II-II'$, $III-III'$ и т. д.) вкrest простирания пород, по которым строят вертикальные разрезы, используя нормальную стратиграфическую колонку геологической карты. В случае, если вертикальный разрез будет уклоняться на некоторый угол Θ от направления вкrest простирания пород, то тогда при построении профиля пласта в плоскости разреза необходимо пользоваться видимыми нормальными мощностями m' пород в плоскости этого разреза. Переход от m к m' можно сделать, пользуясь выражением

$$m' = \frac{m \cos \delta'}{\cos \delta}, \quad (V, 2)$$

где δ' — видимый угол падения пород в косом вертикальном разрезе.

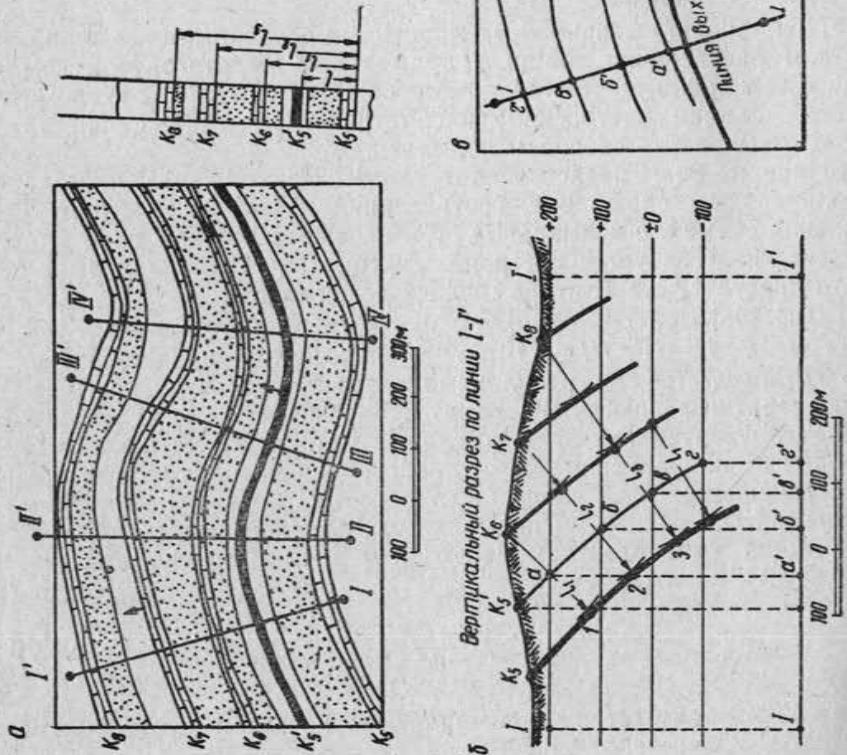


Рис. 80. Построение гипсометрического плана:
а — геологическая карта и нормальная стратиграфическая колонка участка угольного месторождения;
б — вертикальный разрез по линии I—I', в — гипсометрический план угольного пласта

При малых углах падения переход от m к m' удобнее выполнять по формуле

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \sin^2 \delta \sin^2 \theta}}. \quad (\text{V}, 3)$$

Следует отметить, что разрез, заданный на геологической карте вкрест простирания пород, на более глубоких горизонтах может оказаться расположенным под углом к простиранию. Невозможность учета этого обстоятельства и отсутствие разведочных скважин делают построение гипсометрии пласта для глубоких горизонтов приближенным.

На рис. 80, б построен вертикальный разрез участка по линии $I-I'$ и в плоскости его получен профиль пласта k_5' . Для принятого сечения изогипс на разрезе проведены горизонты с отметками h . В пересечении с ними пласта k_5' получены точки (a , b , c , d) этого пласта с отметками, также кратными h .

Проекции указанных точек (точки a' , b' , c' , d') переносятся с линии разреза $I-I'$ на план (рис. 80, в). Таким же образом переносят на план другие линии разрезов. По точкам выходов угольного пласта строят линию выхода пласта на поверхность (или под наносы), а по точкам со ступенчатыми отметками на линиях — изогипсы пласта k_5' . Сначала строят изогипсы для простых и лучше изученных участков, а затем для всех остальных.

Построение гипсометрии нижележащего пласта по гипсометрии вышележащего

Известно, что вышележащий пласт разведается лучше, чем нижележащий. При эксплуатации месторождений по условиям охраны недр пласти обычно разрабатываются в нисходящем порядке. Поэтому гипсометрия отработанного или лучше изученного разведочными и горными работами вышележащего пласта выявится значительно лучше, чем нижележащего.

В процессы складкообразования часто вовлекаются мощные толщи осадочных образований, включающие в себя группы пластов полезного ископаемого, расположенных на разных глубинах.

Общность процесса складкообразования вызывает общность деформации (изгиба) пластов, расположенных на разных горизонтах. Это обстоятельство давно учитывалось в практике работы геологов, маркшейдеров и эксплуатационников и использовалось при характеристике геологических структур.

На этом основании можно осуществить построение гипсометрии нижележащего пласта по гипсометрии вышележащего.

Рассмотрим такое построение для двух геологических условий.

Мощность между пластами постоянна. Построение выполняется двумя способами при помощи вертикальных разрезов или непосредственно на плане.

При использовании вертикальных разрезов последние строятся вкрест простирания пластов. На каждом разрезе от профиля вышележащего пласта, построенного по гипсометрии этого пласта, проводится параллельно, на расстоянии, равном нормальной мощности пород между пластами, профиль нижележащего пласта. Затем точки, кратные выбранному сечению изогипс нижележащего пласта, переносят на плоскость плана.

Таким образом, на плане находят точки пласта со ступенчатыми отметками по каждой линии разреза. Соединяя ступенчатые точки с одинаковыми отметками, получают гипсометрический план пласта.

При выполнении построения вторым способом на гипсометрическом плане вышележащего пласта (см. рис. 80, а) отмечают ряд характерных точек (1, 2, 3, 4 и т. д.) в местах перегиба изогипс и в местах изменения углов падения пласта (в местах изменения заложений между изогипсами). Из намеченных точек восстанавливают перпендикуляры в сторону восстания пласта (рис. 81, а) длиной, равной горизонтальной проекции мощности пород между пластами.

При нормальной мощности m между пластами и угле падения δ пласта длина перпендикуляра Δx между соответственными точками ($1-1'$, $2-2'$, $3-3'$ и т. д.), а также разность отметок на его концах будут находиться из выражений:

$$\begin{aligned} \Delta x &= m \sin \delta; \\ \Delta z &= m \cos \delta. \end{aligned} \quad (\text{V}, 4)$$

Выражение (V, 4) позволяет Δx и Δz находить графически, пользуясь номограммой, построенной для этой цели (рис. 81, б). Номограмма представляет собой четверть окружности, на которой нанесены деления через 10° , обозначающие углы падения δ пласта. Радиус этой окружности в масштабе построения равен нормальной мощности m пород между пластами. На рис. 81, б m равна 70 м. Так, например, при $m=70$ м и $\delta=30^\circ$ $\Delta x=35$ м и $\Delta z=61$ м. Определяемые таким путем значения Δx и Δz позволяют находить на плане положение точек $1'$, $2'$ и т. д., принадлежащих нижележащему пласту, и их отметки. Далее методом интерполяции между ними или методом экстраполирования

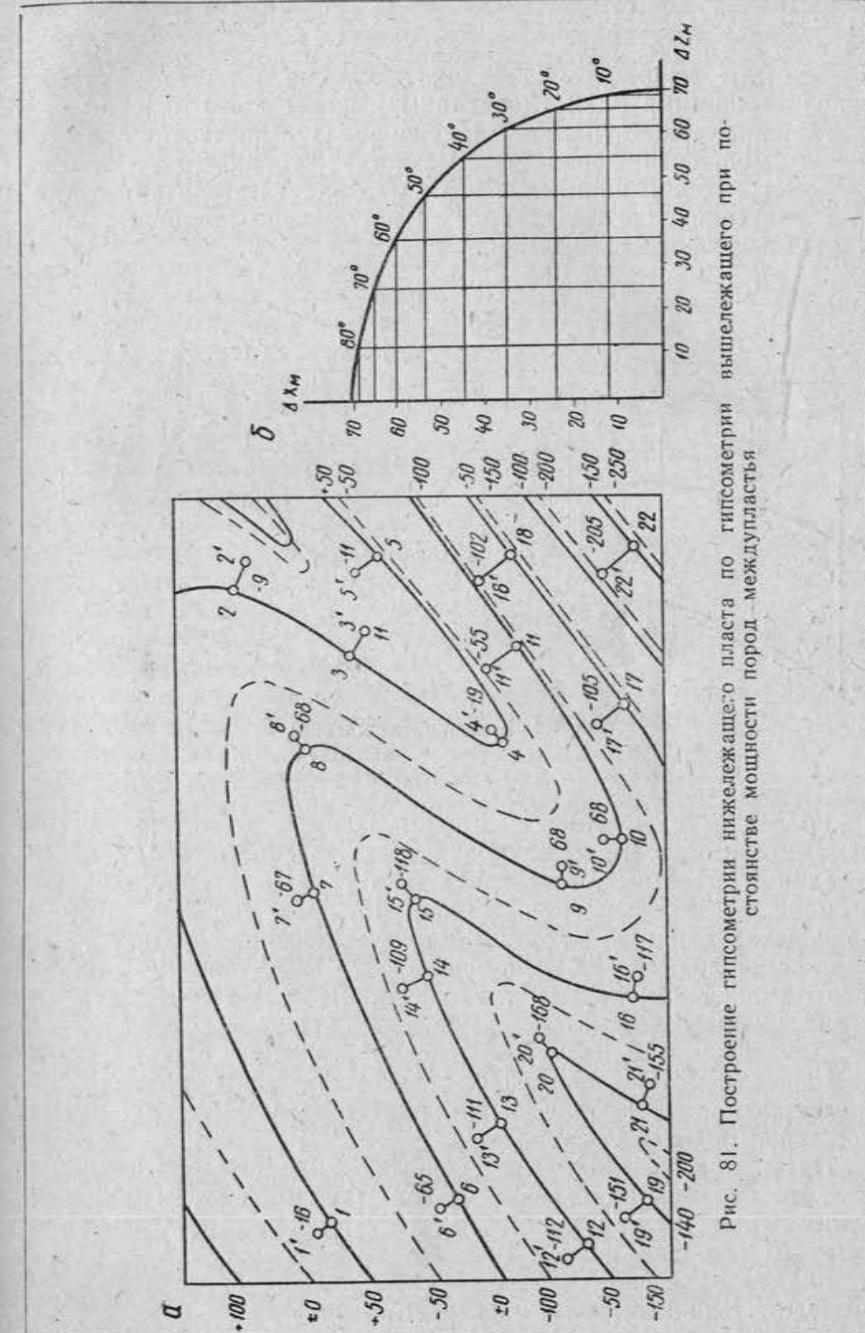


Рис. 81. Построение гипсометрии нижележащего пласта по гипсометрии вышележащего при постоянстве мощности пород между пластами

находят на плане точки нижележащего пласта, имеющие отметки, кратные выбранному сечению изолиний, а по ним строят гипсометрический план (пунктирные линии) этого пласта.

Мощность междупластия изменчива. При постепенном изменении мощности пород междупластия, собранных в складки, гипсометрический план нижележащего пласта строится по данным разведки с использованием гипсометрии вышележащего пласта и графика схождения..

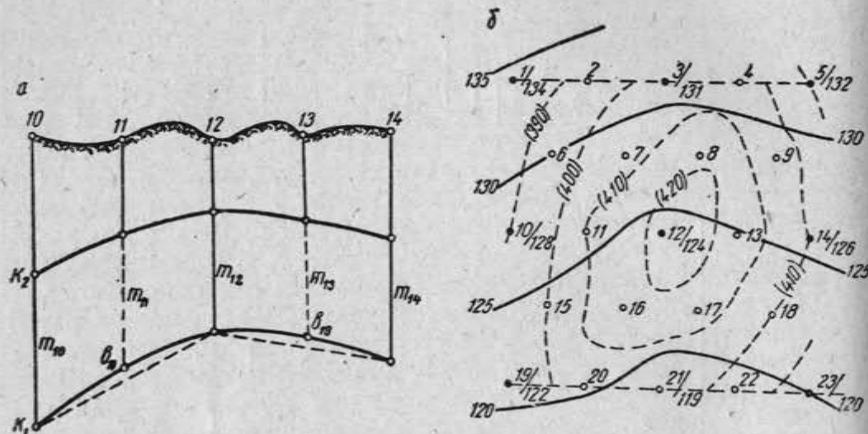


Рис. 82. Графики схождения:
а — на разрезе, б — на плане

Графиком схождения называют график, характеризующий изменение мощности междупластия, заключенного между двумя соседними пластами. Последнее может характеризоваться системой вертикальных разрезов по разведочным линиям (рис. 82, а) или планом линий равных значений вертикальных мощностей (на рис. 82, б — изомощности междупластия изображены сплошными линиями, а пунктирными линиями изогипсы вышележащего пласта).

Данный способ нашел широкое применение при изучении нефтяных месторождений. При соответствующих условиях он может быть использован и при геометризации других месторождений полезных ископаемых.

Пусть при разведке месторождений пройден ряд скважин мелкого бурения, вскрывших пласт (горизонт) K_2 , и ряд глубоких скважин, вскрывших как пласт K_2 , так и нижележащий пласт K_1 (см. рис. 82, а).

Задача заключается в том, чтобы данные более детальной разведки вышележащего пласта K_2 использовать для освещения формы поверхности нижележащего пласта K_1 . Основанием

для этого являются согласное залегание пластов и общие геологические условия образования складчатой структуры.

По данным разведки глубокого бурения участок структуры пласта K_1 , изображенный на вертикальном разрезе, представился бы в форме ломаной (пунктирной) линии. В то же время его плавный изгиб несомненен.

Для построения плавного изгиба пласта K_1 используем характер изменения вертикальной мощности междупластия по линии. Мощность междупластия m_{11} по скважине 11 можно вычислить как среднее арифметическое из суммы мощностей m_{10} и m_{12} . Таким же образом находится мощность междупластия m_{13} как среднее арифметическое из суммы мощностей m_{12} и m_{14} . При неравных расстояниях между скважинами мощности m_{11} и m_{13} соответственно нашлись бы как среднее весовое из m_{10} , m_{12} и m_{12} , m_{14} , где в качестве весов входят расстояния между соседними мелкими и глубокими скважинами.

Вычисленные значения мощностей m_{11} и m_{13} , будучи отложенными по вертикали от соответственных точек пласта K_2 в сторону пласта K_1 (пунктирные линии на рис. 82, а), позволяют на последнем найти дополнительные точки b_{11} и b_{13} , дающие возможность построить профиль пласта K_1 в форме плавного изгиба, находящегося в определенной связи с профилем пласта K_2 . То же самое можно проделать по каждой разведочной линии.

Далее, как и в предыдущих задачах, найдя по разведочным линиям для выбранного сечения изогипсы точки со ступенчатыми отметками и перенося их на план, строят изогипсы нижележащего пласта K_1 . Данный способ построения гипсометрии оправдывается тем, что вертикальные разрезы по разведочным линиям обязательно составляются разведчиками и ими следует воспользоваться для решения поставленной задачи.

Более просто поверхность в изогипсах нижнего малоразведенного пласта получают путем вычитания из поверхности в изогипсах верхнего пласта графика с изомощностями пород междупластия.

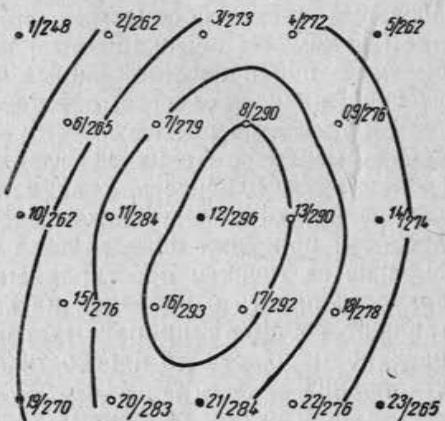


Рис. 83. Гипсометрический план нижележащего пласта

На рис. 83 построен гипсометрический план пласта K_1 по рис. 82.

§ 22. О других способах изображения складчатой поверхности пласта

Гипсометрический план пласта наряду с вертикальными разрезами является основным и наиболее распространенным видом документации складчатой поверхности. Однако при крутом залегании и сложной форме поверхности пласта гипсометрический план не всегда обеспечивает необходимую наглядность и удобоизмеряемость.

В этом случае можно воспользоваться проекцией пласта на вертикальную плоскость, совпадающую со средним простиранием изображаемого участка пласта. Положение вертикальной плоскости проекций определяется плоскими координатами x, y одной из ее точек и простиранием a плоскости. Изолинии поверхности пласта в проекции на вертикальную плоскость представляют собой линии равных горизонтальных расстояний от поверхности пласта до плоскости проекций в направлении проектирования.

При построении отдельных точек в проекции на вертикальную плоскость требуется переход от общей системы координат к условной системе, известной читателю из общего курса «Маркшейдерское дело».

Построение изолиний на вертикальной проекции производится аналогично построению их на плане. При этом используются системы вертикальных и горизонтальных разрезов.

При использовании вертикальных разрезов построение производится следующим образом. Сначала по плану определяют среднее простирание участка изображаемого пласта и координаты точки, через которую проходит плоскость проекций. Далее на все вертикальные разрезы, подлежащие использованию, наносят вертикальный след плоскости проекций и на нем находят точки со ступенчатыми отметками в соответствии с выбранным сечением изолиний. Затем на листе бумаги, предназначенном для изображения изолиний поверхности пласта, проводят в принятом масштабе линии горизонтов и наносят следы плоскостей вертикальных разрезов; на последние переносят точки со ступенчатыми отметками.

Наконец, последовательно соединяя точки с одинаковыми ступенчатыми отметками, изображают на чертеже изолинии поверхности пласта и наносят подлежащие изображению элементы ситуации.

При наличии достаточного количества горизонтальных разрезов или погоризонтных планов удобно использовать их для

построения изолиний пласта в проекции на вертикальную плоскость. Для этого по погоризонтным планам определяют среднее простирание изображаемого участка пласта и координаты точки, через которую должна проходить плоскость проекций.

Далее на всех погоризонтных планах наносят точку, определяющую положение плоскости проекций и ее след. Параллельно последнему проводят в принятом масштабе систему параллельных линий, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном сечению изолиний. Точки пересечения данного горизонтального профиля пласта с этими линиями проектируют на след плоскости проекций. На последнем получают точки со ступенчатыми отметками. Затем на листе бумаги, предназначенном для построения изолиний пласта, проводят в принятом масштабе линии соответствующих горизонтов, на которые переносят точки со ступенчатыми отметками. Наконец, через точки с одноименными ступенчатыми отметками проводят изолинии пласта, называемые изолонгами.

Следует иметь в виду, что размеры чертежа ограничиваются размерами участка пласта, имеющего среднее простирание, совпадающее с простиранием плоскости проекций. В пределах шахтного поля, имеющего разное простирание на различных его участках, потребуется самостоятельное построение проекции на вертикальную плоскость каждого участка. Следовательно, каждый участок изображается в своей условной системе координат. Это основной недостаток рассматриваемых чертежей. Он компенсируется уменьшением искажений размеров и формы поверхности пласта. В проекции на вертикальную плоскость удобно вести рабочие планы пласта, позволяющие с большей детальностью изображать геологическую и горноэксплуатационную ситуацию.

По графикам изолиний пласта в проекции на вертикальную плоскость принципиально можно решать все задачи, которые решаются на гипсометрическом плане пласта. Однако решение некоторых задач на вертикальной проекции несколько осложняется тем обстоятельством, что чертеж составлен в условной системе координат, а ряд задач требует перехода к общей системе координат.

Для общей характеристики складчатой формы залегания используют также объемные графики.

Они строятся по мере накопления вертикальных разрезов по разведочным линиям и входят в документацию сложной складчатой структуры.

Хорошее общее пространственное представление о сложной складчатой структуре дают прозрачные модели месторождений или отдельных их частей, изготовленные на органическом стекле по погоризонтным планам или вертикальным разрезам. Способы

изготовления моделей читателю известны из курса «Маркштадское дело». Прозрачные модели выгодно отличаются от объемных графиков тем, что создают реальное пространственное представление в целом о структуре и взаимном расположении отдельных ее элементов. С необходимой полнотой в плоскостях горизонтальных сечений фиксируются горноэксплуатационные элементы и пространственно увязываются между ними.

Метрические задачи на моделях решаются так же, как и на погоризонтных планах.

Б. ГЕОМЕТРИЯ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУР

Глава VI

ОБ ОБРАЗОВАНИИ РАЗРЫВОВ И ИХ ВЛИЯНИИ НА ГОРНЫЕ РАБОТЫ

§ 23. Общие сведения

Разрывные структуры являются весьма распространенной формой залегания горных пород. Для разведки и разработки месторождений полезных ископаемых существенное значение имеют проявления разрывов в форме дизъюнктивов и трещиноватости.

Общим для той и другой формы является расчленение пород на блоки трещинами разрыва. Различие же заключается в том, что при дизъюнктивных нарушениях или смещениях наблюдается перемещение блоков, а при трещиноватости отсутствует заметное относительное перемещение блоков.

Наблюдения показывают, что дизъюнктивы имеют зональное, а трещиноватость, хотя и неравномерное, но повсеместное распространение. В этом смысле трещиноватость пород или горного массива является общим их свойством.

Разрывы горных пород в форме дизъюнктивов и трещиноватости возникают в естественных условиях под влиянием многих факторов. Условия образования указанных разрывов резко отличаются от условий разрушения твердых тел, наблюдавшихся в опыте. Поэтому на современном уровне знаний приложение теории прочности и разрушения к оценке условий образования дизъюнктивов и трещиноватости в горном массиве пока не является средством технического расчета и может служить только целям качественной характеристики явления.

Из геологии известно, что разрывы горных пород в естественных условиях образуются в процессе диагенеза или под влиянием приложенных к горным породам сил извне, например тектонических сил.

Независимо от происхождения силы последняя, будучи приложена к тому или иному участку земной коры, вызывает деформацию горных пород. Характер приложения сил или вид

нагрузки и физические свойства пород определяют форму и степень деформации.

Деформации горных пород в естественных условиях вообще являются неоднородными. Но при решении задач в данной точке (участке) обычно делается допущение о наличии однородной деформации.

Обозначим предел прочности пород при однородном сжатии и растяжении соответственно символами R_c и R_p . Опыт показывает, что в большинстве случаев предел прочности их при одноосном растяжении R_p имеет величину порядка $R_p = (0,08-0,12) R_c$. Другие виды деформации в этом отношении занимают промежуточное положение между сжатием и растяжением.

Процесс деформации заканчивается разрушением тела, если полученные напряжения достигли необходимой величины, отвечающей пределу прочности тела при данных условиях.

Разрушение тела осуществляется в форме отрыва или скальвания.

По существующим представлениям, отрыв определяется нормальными растягивающими напряжениями. Он возникает тогда, когда эти напряжения достигают некоторой величины, и выражается в образовании трещины, перпендикулярной к главной оси. Отрыв может образоваться не только при растяжении, но в определенных условиях и при сжатии хрупких тел. В этом случае трещины отрыва возникают параллельно оси сжатия и нормально к оси поперечного удлинения.

Скальвание вызывается касательными напряжениями и выражается в образовании трещин, ориентированных в направлении максимальных сдвигов.

Разрушение путем скальвания, связанное с касательными напряжениями, в противоположность отрыву относится к пластической деформации и представляет собой ее развитие и завершение. Как известно, пластическая деформация представляет собой скольжение тонких пластин по направлению максимальных сдвигов. С некоторого момента пластическая деформация начинает концентрироваться в более узких зонах, т. е. происходит уменьшение числа поверхностей скольжения. Скорость движения по каждой из таких поверхностей, при сохранении общей скорости деформации, начинает расти и в конце концов по одной из таких поверхностей, концентрировавшей на себе максимум движения и освободившей от него прилегающие участки, происходит скальвание.

Неоднородность среды (анизотропия) может отклонять трещины скальвания на некоторый угол от направления максимальных сдвигов.

В местах образования трещин скальвания теоретически должны образовываться сопряженные системы трещин. Это подтверждается опытом и наблюдениями в природе. Однако в природных условиях имеет место неодинаковое развитие указанных систем трещин. При этом одна система оказывается господствующей и преобладает над другой или может получить развитие одна система трещин при полном отсутствии другой.

Скальвание, образующееся путем концентрации пластического скольжения, называется вязким. Однако скальвание может быть и хрупким, когда оно непосредственно следует за упругой деформацией без промежуточной стадии пластического течения.

Таким образом, существует два типа разрушения: *отрыв*, связанный с нормальными растягивающими напряжениями или с поперечными удлинениями при сжатии и представляющий собой хрупкое разрушение, и *скальвание*, вызываемое касательными напряжениями; оно может быть как хрупким, так и вязким.

Два типа разрушения редко возникают совместно. Обычно в данной обстановке наблюдается тот или иной тип разрушения, но с изменением условий один тип может смениться другим.

На тип разрушения влияют не только свойства материала, но и все те внешние условия (температура, всестороннее сжатие, среда, скорость деформации, схема напряженного состояния), от которых зависят эти свойства. Указанные внешние условия определяют тип разрушения в зависимости от влияния, которое они оказывают на пределы прочности пород на отрыв и скальвание.

Выше уже отмечалось, что для большинства материалов предел прочности на отрыв и скальвание различен. Но в зависимости от условий, в которых происходит деформация, этот предел может изменяться по-разному. Хотя породы вообще имеют меньшую прочность на отрыв, чем на скальвание, но при определенных условиях указанное соотношение может также подвергаться значительным изменениям.

Этими довольно сложными изменениями пределов прочности и объясняется различное поведение тел в процессе разрушения. В каждом конкретном случае проявляется тот тип разрушения, который происходит при меньшей величине напряжения.

Повышение температуры понижает прочность на скальвание. В то же время изменения температуры мало влияют на величину прочности на отрыв. Следовательно, повышение температуры увеличивает вероятность появления скальвания. Наоборот, при понижении температуры прочность на скальвание

вание будет возрастать, а прочность на отрыв остается почти без изменений, поэтому можно ожидать появления разрушения путем отрыва.

Повышение скорости деформации действует как понижение температуры, т. е. увеличивает прочность на скальвание и благоприятствует появлению хрупкой деформации отрыва. Наборот, при медленной деформации прочность на скальвание падает и материал становится вязким.

Так как отрыв связан с нормальными, а скальвание — с касательными напряжениями, то характер разрушения зависит также от типа напряженного состояния. При различных напряженных состояниях соотношение максимальных нормальных и касательных напряжений различно.

Характер разрушения в основном зависит от свойств тел и их напряженного состояния.

На рис. 84 представлена применительно к металлам диаграмма Г. В. Ужики, наглядно иллюстрирующая в общем виде зависимость характера разрушения от свойств тел и их напряженного состояния, где τ_s — прочность на скальвание, R_s — прочность на отрыв.

Из приведенного рисунка следует, что условие отрыва может быть представлено соотношением

$$\left. \begin{array}{l} \tau_{\max} < \tau_s \\ \sigma_1 = R_s \end{array} \right\} \text{или } \frac{\tau_{\max}}{\sigma_1} < \frac{\tau_s}{R_s}. \quad (\text{VI}, 1)$$

В свою очередь, условие скальвания определяется выражением

$$\left. \begin{array}{l} \tau_{\max} = \tau_s \\ \sigma_1 < R_s \end{array} \right\} \text{или } \frac{\tau_{\max}}{\sigma_1} > \frac{\tau_s}{R_s}. \quad (\text{VI}, 2)$$

Изложенные выше положения не могут являться основой для технических расчетов, но служат целям выяснения условий образования разрывов в природе.

Образование тектонических разрывов и интенсивной трещиноватости массива связано с областями проявления дефор-

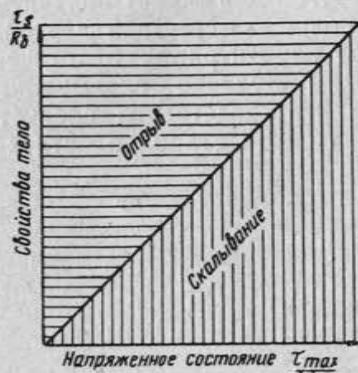


Рис. 84. Зависимость характера разрушения от свойств тел и их напряженного состояния (по Г. В. Ужику)

мации сдвига. Все существующие представления о механизме образования разрывов в указанных условиях основываются на самых общих теоретических положениях и фактических наблюдениях в природе, представляемых обычно в описательной форме.

Несколько лучше изучены условия разрушения горных пород при рассмотрении устойчивости массива в связи с проведением выработок.

Из общей теории сопротивления материалов и лабораторного опыта известно, что трещины отрыва при деформации сдвига располагаются перпендикулярно к оси максимальных растягивающих ($+σ_{\max}$) напряжений или под углом 45° к направлению сил активной пары.

Трещины скальвания при сдвиге в зависимости от свойств породы, давления и температуры располагаются под углом $α$ к оси максимальных сжимающих ($-σ_{\max}$) напряжений и отклоняются от площадок максимальных касательных напряжений на некоторый угол $ω = 45^\circ - α$. Обычно угол скальвания $α < 45^\circ$.

При технических расчетах часто угол скальвания $α$ в горных породах связывают с углом внутреннего трения $φ$:

$$α = 45^\circ - \frac{φ}{2}. \quad (\text{VI}, 3)$$

Из опытных данных известно, что углы внешнего трения при сдвиге породы по имеющейся поверхности ослабления и углы внутреннего трения, характеризующие разрушение путем среза основной монолитной массы пород, являются величинами одного порядка.

§ 24. Влияние разрывных нарушений на горные работы

Дизъюнктивы и трещиноватость горных пород являются практически важными структурными элементами горного массива, особенно при складчатом залегании пород, когда разрывы проявляются наиболее интенсивно и отчетливо.

Наиболее отчетливо разрывы выявляются при разведке и разработке типичных пластовых месторождений полезных ископаемых — угольных месторождений. Поэтому применительно к ним дадим краткую характеристику значения разрывных структур для условий разведки и разработки.

Смещения угольных пластов представляют собой фактор, существенно осложняющий, а иногда и определяющий условия разведки и разработки нарушенных участков.

При разведке нарушенного тектоническими разрывами участка приходится сгущать сеть разведочных выработок для вы-

яснения как основных черт, так и деталей нарушенности. В ряде случаев при уточнении горнотехнических условий разработки приходится прибегать к пробной эксплуатации, так как нередко даже большая плотность разведочных выработок не дает удовлетворительного ответа на поставленные вопросы.

При проектировании шахт, наличие дизъюнктивов осложняет выбор места заложения вскрывающих выработок, установление границ шахтного поля, расчет высоты этажа, выбор системы разработки, установление проектной мощности шахты и решение других проектных вопросов.

При разработке нарушенных смещениями угольных пластов встречается ряд обстоятельств, осложняющих работу шахты, к которым относятся:

- 1) «потеря» разрабатываемого пласта, часто вызывающая непредвиденную остановку горных работ;
- 2) усложнения крепления поддержания выработок и вообще управления кровлей в нарушенных зонах;
- 3) невозможность при некоторых условиях залегания угольных пластов разработки смещенной части пласта без проведения капитальных вскрывающих горных выработок;
- 4) необходимость в большинстве случаев проведения на смещенном крыле новых нарезных работ;
- 5) резкое увеличение объема подготовительных работ на нарушенных участках на единицу добываемого угля;
- 6) невозможность применения на нарушенных участках производительных систем разработки;
- 7) большие потери угля в зоне смещения и на участках, прилегающих к этой зоне;
- 8) ухудшение качества угля из-за засорения добываемого угля пустой породы, а также более интенсивной минерализации угольных пластов в нарушенных зонах;
- 9) ухудшение гидрогеологических условий, так как смесятили и зоны дробления, развивающиеся около них, являются путями проникновения вод в горные выработки;
- 10) ухудшение условий безопасного ведения горных работ — возможность возникновения завалов, прорывов воды, пожаров, а также внезапных выбросов, которые часто приурочиваются к линиям разрывов.

Перечисленные выше и многие другие обстоятельства, сопутствующие работе на нарушенных участках угольных месторождений, являются причиной того, что смещения угольных пластов были и остаются предметом, к которому неизменно приковывается внимание многих геологоразведчиков и горняков, в частности маркшейдеров и шахтных геологов.

При разведке и разработке рудных месторождений значение тектонической нарушенности еще более возрастает потому,

что она не только расчленяет рудные тела, но и связана с пространственным размещением оруденения.

Трециноватость пород, являясь важным структурным элементом горного массива, представляет собой фактор, постоянно действующий на условия разработки.

Наблюдениями отмечается существенное влияние трещиноватости пород на производительность труда горняков, работу механизмов, расход материалов и условия безопасного ведения горных работ.

Роль трещиноватости учитывается или должна учитываться при решении ряда горнотехнических задач (выбор направления отработки, способа управления кровлей, изучение горного давления и составление паспортов крепления, изучение сдвигов поверхности под влиянием подземных разработок и устойчивости бортов откосов карьеров и т. д.).

С трещиноватостью связаны также внезапные выбросы угля и газа.

При геологическом картировании трещиноватость изучается как один из структурных элементов, находящийся в определенной связи со структурами других порядков.

Изучение рудных месторождений, структуры рудных полей неизбежно связано с изучением трещиноватости рудовмещающих пород и массивов.

Инженерно-гидрогеологические изыскания как обязательный элемент включают исследование трещиноватости горных пород.

В последние годы обращено серьезное внимание на исследование и учет трещиноватости горного массива при решении вопросов, связанных с устойчивостью выработок в условиях подземной и открытой разработки месторождений полезных ископаемых.

Систематическое изучение смещений пластов и трещиноватости горного массива на разрабатываемых шахтных полях и надлежащая их документация на маркшейдерских планах позволяют более правильно организовать горные работы на этих шахтных полях.

Экстраполяция полученных в процессе разработки сведений на прилегающие участки или аналогичные условия в совокупности с результатами разведки является необходимой основой составления прогноза ожидаемых структурно-геологических условий разработки и, следовательно, исходным материалом для горного проектирования.

Это может быть обеспечено лишь при надлежащей постановке маркшейдерской и геологической службы на шахте, которая должна выполнять:

- а) систематические наблюдения за проявлением тектонических нарушений и трещиноватости горного массива на поверхности, в разведочных и горных выработках;
- в) объективную документацию наблюдений и своевременную их обработку;
- г) полностью использовать добытые сведения при решении горных задач.

Решение горногеометрических задач на нарушенных участках шахтного поля и геометризации разрывных структур является такой же основной задачей геолого-маркшейдерской службы, как съемки и составление планов.

ГЛАВА VII

СМЕЩЕНИЯ (ДИЗЬЮНКТИВЫ)

§ 25. Элементы смещения

При разрывных нарушениях горные породы расчленяются по образующимся поверхностям ослабления на отдельные части или блоки.

Поверхности, по которым происходит это расчленение, представляются в виде систем трещин, по которым разобщенные блоки перемещаются относительно друг друга на то или иное расстояние. Каждая такая трещина в этом случае называется смеcителем, а перемещенные по ней относительно друг друга блоки — крыльями. Крыло, расположенное над смеcителем, называется висячим, а расположенное под смеcителем — лежачим.

Смеcитель и крылья (блоки) пластов называются элементами смещения.

Наблюдаемые в природе смещения пластов весьма разнообразны и сложны по своей форме и распределению их в геологических структурах высшего порядка.

При решении практических горных задач важное значение имеют пространственно-геометрические отношения элементов смещения в данной точке.

Для их выявления следует из многообразия форм выделить признаки, присущие любой форме.

Смеcитель обычно затрагивает ту или иную толщу отложений, состоящую из группы пластов, расположенных относительно друг друга в общем случае непараллельно и имеющих в том или ином виде кривую (складчатую) форму поверхности. Такую же форму может иметь и поверхность смеcителя. При характеристике смещения последняя обычно относится к одному пласту и выявленные для него геометрические отношения переносятся на другие пласти с наблюдаемыми изменениями.

Смещение пласта в данной точке характеризуется двумя показателями — формой и величиной относительного перемещения (амплитудой).

Форма смещения, в свою очередь, определяется видом скрещивания пересекающихся плоскостей или поверхностей (сместителя и крыльев), а также направлением относительного перемещения.

Ограниченностю размеров участков, на которых решаются отдельные горные задачи, недостаточность данных, характери-

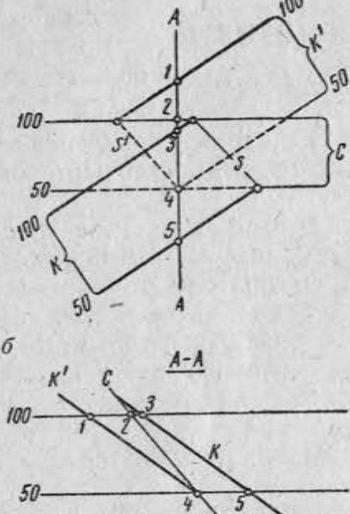
a

Рис. 85. Прямолинейное смещение — взброс

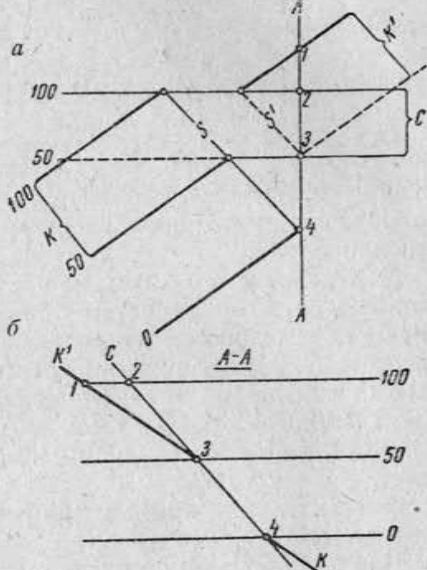
a

Рис. 86. Прямолинейное смещение — сброс

зующих положение искомого крыла, позволяют допустить, что крылья и сместитель являются плоскостями; при этом первые параллельны друг другу.

При подобном отвлечении от наблюдаемой сложности смещения называются правильными поступательными или прямолинейными, т. е. такими, в которых крылья перемещены относительно друг друга параллельно.

На рис. 85 в плане (*a*) и вертикальном разрезе (*b*) по линии *A—A* представлено прямолинейное смещение, называемое взбросом, у которого висячее крыло *K* перемещено по плоскости сместителя *C* вверх относительно лежачего крыла *K'*. На рис. 86 изображено в плане (*a*) и вертикальном разрезе (*b*) по линии *A—A* прямолинейное смещение — сброс, у которого висячее крыло *K* относительно лежачего крыла *K'* перемещено вниз по плоскости сместителя *C*.

Линии пересечения крыльев со сместителем *S* и *S'*, называемые иногда линиями скрещения указанных плоскостей, являются границами, или линиями исчезновения (обрыва) пласта. При параллельности крыльев линии *S* и *S'* параллельны между собой. На маркшейдерском плане они фиксируют положение сместителя.

Строго говоря, в природе в чистом виде правильные поступательные (прямолинейные) смещения не наблюдаются.

Данные наблюдений показывают, что величина относительного перемещения (амплитуда) в разных точках смещения различна.

В качестве иллюстрации изменения амплитуды мелкого смещения в пределах одного горизонта может служить рис. 87, изображающий смещение угольного пласта на одной из шахт Донбасса. По разрезам в правой части рисунка видно уменьшение амплитуды смещения по падению пласта и постепенный переход его в мелкую флексуру, также затухающую по падению.

На рис. 88 представлены два разреза среднего по величине смещения, наблюдавшегося на шахте № 1 «Щегловка» (Донбасс) и являющегося оперяющим разрывом более крупного смещения. Уменьшение амплитуды этого смещения, направленного по падению пород, с 18 до 6 м прослеживается на расстоянии 700 м.

Изменения амплитуды крупных смещений в Донбассе можно проследить на примерах надвига Тимошенко и Мушкетовского.

Тот и другой разведочными и горными работами прослеживаются на десятки километров. Так, в надвиге Тимошенко вертикальная амплитуда на протяжении 34 км изменяется от 450 до 120 м. Мушкетовский надвиг на протяжении 35 км дает изменение амплитуды от 300 м почти до полного затухания.

Обращает на себя внимание неравномерность изменения амплитуды на отдельных участках. Изменение усиливается на участках, к которым примыкают оперяющие разрывы.

Интересные данные по этому вопросу приводятся А. С. Забродиным [II, III].

Наблюдения показывают, что затухание одиночных смещений происходит в обе стороны от точки с максимальной амплитудой, а оперяющие смещения чаще дают одностороннее затухание от места ответвления.

Затухание амплитуды смещения удобно численно характеризовать отношением амплитуды к протяженности разрыва с указанием направления затухания.

На участках ограниченных размеров, в пределах которых элементы смещения практически можно считать плоскими, указанное выше изменение амплитуды выражается непараллельностью крыльев *K* и *K'* или непараллельностью линий скрещения *S* и *S'*. Последняя отмечает наличие заметного вращения блоков в процессе относительного их перемещения.

На рис. 89 схематически показан вращательный характер относительного перемещения. Здесь амплитуда смещения от точки затухания *O* постепенно увеличивается. Линии скрещения *S* и *S'* образуют угол затухания ω . Если линии скрещения после их поворота лежат в плоскости сместителя *C*, то указанный поворот (вращение) происходит около оси, перпендикулярной к плоскости сместителя в точке *O*. Следовательно, любая точка линии скрещения описывает при этом дугу окружности и траектория перемещения представляет собой не прямую, а кривую линию. Поэтому такого рода смещения называются вращательными, или криволинейными.

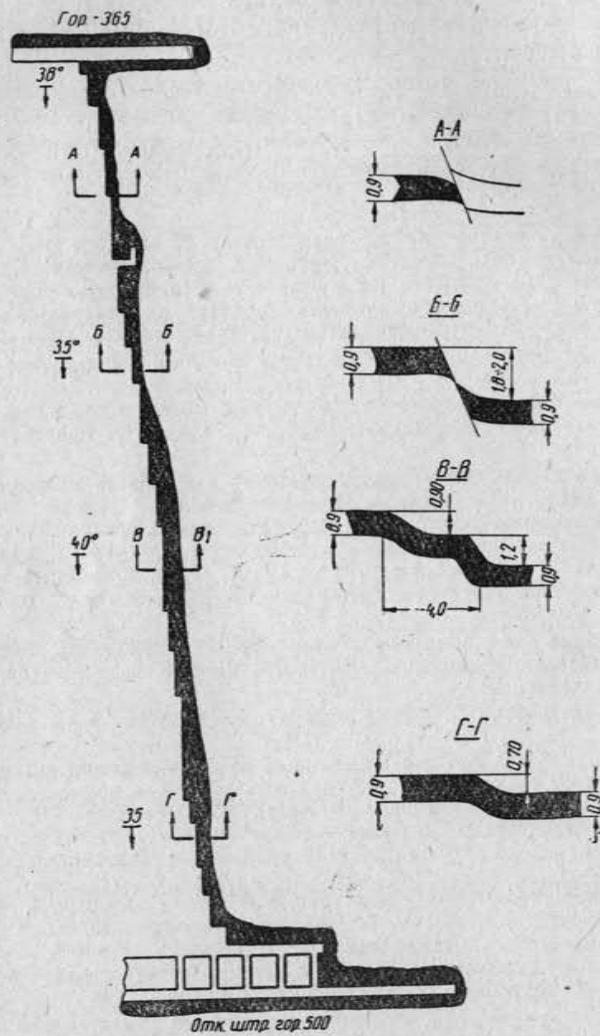


Рис. 87. Изменение амплитуды мелкого смещения
(по В. М. Омельяновичу)

Острые углы затухания смещений позволяют на ограниченных участках, в пределах которых решаются отдельные задачи, считать перемещения практически прямолинейными, т. е. смещения считать поступательными.

Общее представление о смещении составляется из совокупности представлений о смещении на отдельных участках. Допущение, что смещения имеют плоскостную форму, является первым этапом их изучения и имеет важное значение для решения конкретных задач на шахте и первичной документации смещений.

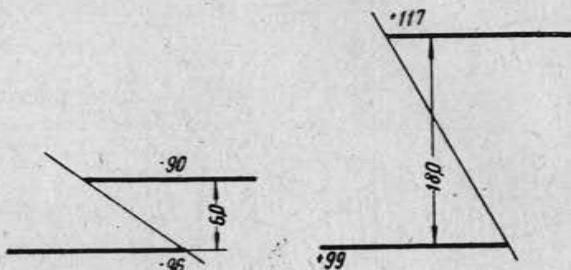


Рис. 88. Изменение амплитуды среднего по величине смещения (по В. М. Омельяновичу)

Следующий этап изучения представляет собой обобщение сведений, полученных о смещении в разных точках для значительной площади. На этом этапе элементы смещения (сместитель и крылья) в отдельных случаях представляются как более сложные поверхности.

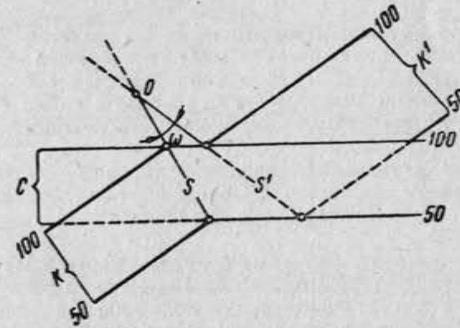


Рис. 89. Вращательное (криволинейное) смещение

В случае складчатой формы сместителя и крыльев или одного из элементов смещения одно и то же смещение может проявляться на разных крыльях различно.

На рис. 90 дано изображение на плане смещения пласта, собранного в складку и заключенного между двумя горизонтами. На первом этапе изучения дизъюнктива на крыльях складки он представляется двумя проявлениями в точках *A* и *B*. В точке *A* — смещением с растяжкой или зиянием пласта, в точке *B* — смещением с удвоением или перекрытием пласта. Указанные смещения с точки зрения решения задач на крыльях складки следует рассматривать как

два самостоятельных смещения или как два разных проявления одного смещения, требующих разного подхода к решению задачи по заданию выработки на смещенное крыло пласта.

Рассматривая же перемещение, например висячего блока складки относительно лежащего ее блока, можно судить не о видимом, а о действительном его перемещении, указанном на рис. 90 в точках A и B стрелками.

Для завершения общей характеристики элементов смещения следует отметить, что крылья и сместьель, принимаемые выше за поверхности (плоскости), в действительности имеют некоторую толщину (мощность). Это осо-

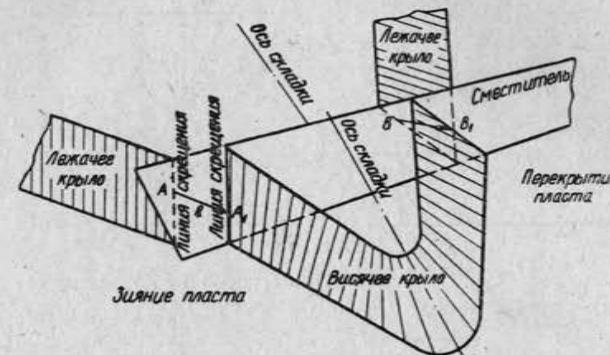


Рис. 90. Смещение пласта, собранного в складку
(сместитель—плоскость)

бенно важно для правильного представления о смеcтиле. Последний в по-
строениях чаще всего изображается в виде поверхности даже тогда, ког-
да он представлен зоной, породы в которой находятся в особом состоянii.

В общем виде можно утверждать, что породы около сместителя имеют зональное строение по степени их разрушения. Наблюдаются перетертые, раздробленные и изогнутые породы.

Указанные зоны развиваются различно в разных условиях. В одних — смеcтитель представлен выраженной поверхностью (плоскостью) — зеркалом скольжения. Здесь можно говорить о наличии тонкой пленки перетертых пород.

В других — сместьель имеет заметную зону перетертых пород, мощности которых колеблется в пределах от 2—5 до 10—15 см. При наличии глинистых перетертых пород и достаточного количества влаги в зоне сместьеля эти породы дают характерную глинистую примазку, сопровождающую сместьеля многих дизъюнктивов.

В третьих — довольно часто можно встретить сместье, представленное зоной перетертых и раздробленных пород, общая мощность которых колеблется в широких пределах от долей метра до первых десятков метров.

В четвертых — часто встречаются смесятели, представленные всеми тремя зонами значительной мощности.

Крупные тектонические разрывы обычно сопровождаются развитием около сместителя оперяющих разрывов разных порядков и подвортов пластов. В результате особым залеганием пород и их состоянием захватывается значительная по мощности зона, в которой развитие горных работ затруднено. Образцом такой зоны может служить зона Горловского надвига, представляющего собой крупный региональный разрыв в области главной антиклинали Донбасса.

Как видно из рис. 91, стволы шахты «Кочегарка» по отношению к Горловскому надвигу в свое время по ряду причин были заложены очень неудачно, что обусловило по существу развитие работ на одном крыле. Такого рода тектонические разрывы, как Горловский надвиг, нормально должны служить естественными тектоническими границами шахтного поля.

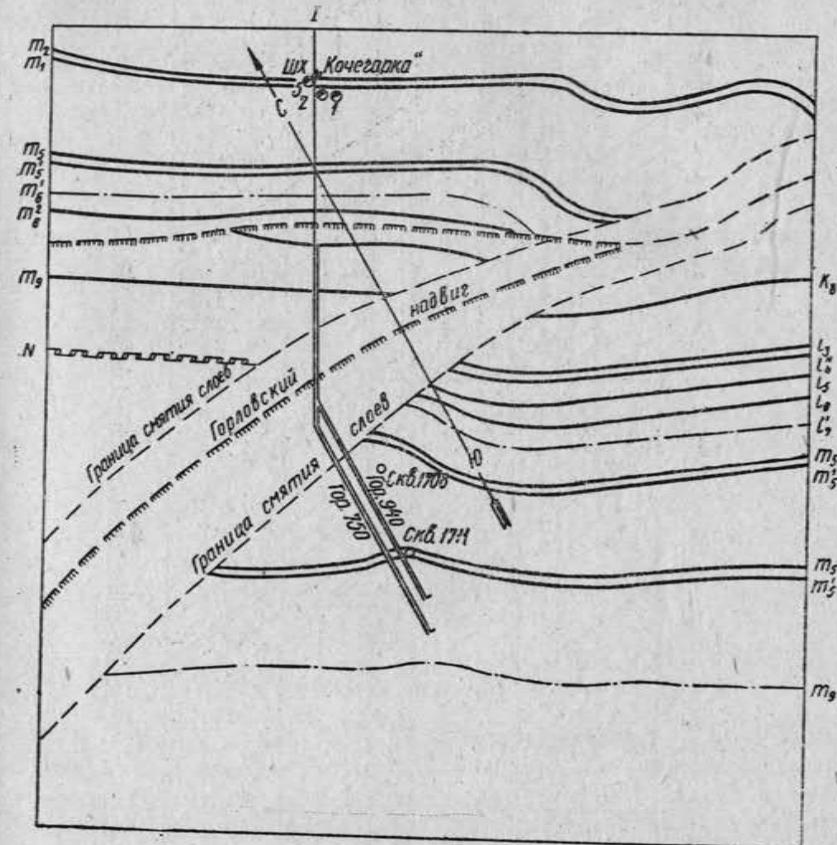


Рис. 91. План зоны Горловского надвига в районе шахты № 1—5 «Кочегарка»

В последние годы в результате изучения зоны со стороны лежачего ее бока из горных выработок, проведения глубоких скважин по линии квершлагов, проходки и документации квершлагов удалось составить представление о зоне нарушения. Рис. 91 иллюстрирует эту зону в плане по выходам пород на поверхность, а рис. 92, представляющий вертикальный разрез по линии главных квершлагов шахты, иллюстрирует большую мощность зоны нарушения.

Диагональное расположение мощной зоны нарушений создает много затруднений для развития горных работ. Необходимость увеличения добычи высококачественных коксующихся углей требует преодоления встречающихся затруднений.

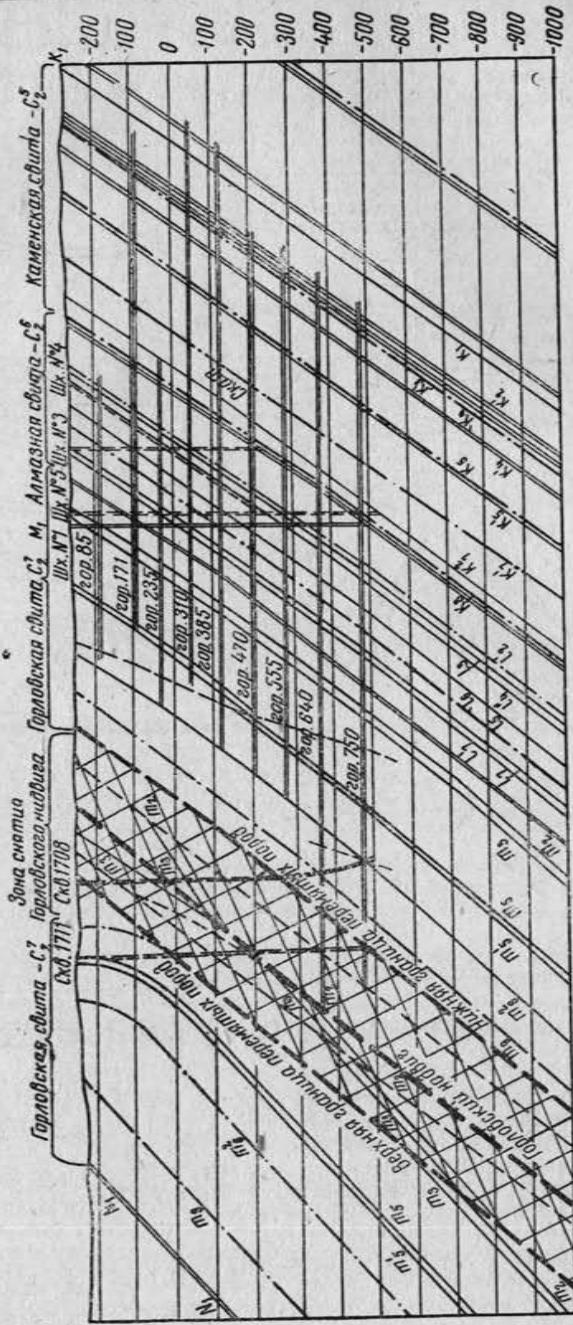


Рис. 92. Вертикальный разрез по линии главных квершлагов шахты № 1-5 «Кочегарка»

При наличии мощной зоны сместителя все построения, связанные с заданием и проведением горных выработок на нарушенном участке, следует выполнять с учетом мощности этой зоны.

На рис. 93 показан пример такого построения. Здесь на горизонте 100 изображен штрек, подошедший к сместителю в точке *a* со стороны лежачего бока сместителя.

* Последний имеет мощную зону, установленную на горизонте 100 выработкой *ab*. Линия *bd* — горизонтальная разведочная скважина, пройденная из точки *b* и определившая положение искомого крыла *K*. Выработка *be* — квершлаг на горизонте 100, вскрывающий смещенное крыло. Висячее крыло *K* пересекается с висячим боком сместителя *C* по линии *S*. Лежачее крыло *K'* пересекается с лежачим боком сместителя по линии *S'*.

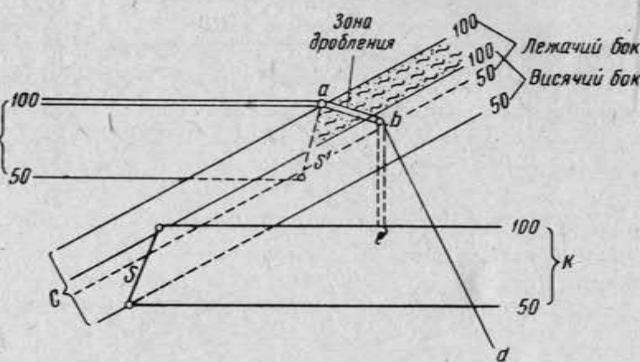


Рис. 93. Изображение смещения с учетом мощности зоны сместителя

§ 26. Геометрические параметры смещений

Угловые и линейные величины, установленные в отдельных точках или на участках и в совокупности характеризующие форму смещения и взаимное положение его частей в недрах, называются геометрическими параметрами смещения.

Составными частями смещения на рассматриваемом участке являются крылья *KK'*, сместитель *C* и линии их пересечения *S*, *S'*.

Элементы залегания этих составных частей смещения, величина и направление относительного перемещения крыльев определяют геометрические параметры смещения.

Одни параметры измеряются непосредственно в выработках (обнажениях), другие — находятся косвенным путем. Независимо от способа определения они далее используются в построениях или вычислениях при решении задач на нарушенных участках, а также при документации смещений на маркшейдерских планах.

На рис. 94 изображена в вертикальном разрезе схема пересечения плоскости напластования с трещиной разрыва (*a*) и построены в плане и вертикальном разрезе по линии *I*—*I* два смещения общего вида — сброс (*b*, *c*) и взброс (*b*, *d*).

Перечислим применительно к ним геометрические параметры.

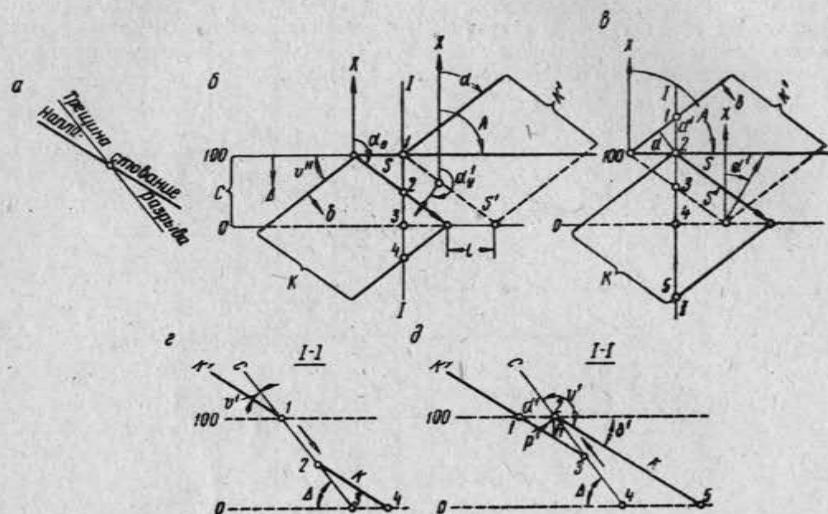


Рис. 94. Геометрические параметры смещения

Угловые величины

1. Элементы залегания крыльев ($K \parallel K'$) — простирание α и угол падения δ . На вертикальных разрезах $I-I$, построенных вкrest простирания смеcителя, мы имеем видимый угол падения δ' пласта ($\delta' < \delta$). Элементы залегания α и δ пласта (крыльев) систематически определяются в горных выработках и отражаются на маркшейдерских планах.

2. Элементы залегания смеcителя C —простижение A и угол падения Δ . Они непосредственно измеряются или косвенно находятся каждый раз при встрече со смеcителем в выработках.

3. Элементы залегания линии обреза пласта ($S \parallel S'$) — про-стрижение a_0 и угол наклона к горизонту δ_0 . Измеряются непо-средственно или чаще находятся косвенно по элементам зале-гания крыльев и сместителя. Используются для изображения сместителя на плане в виде линий обреза пласта.

4. Угол смещения V —двугранный угол между крылом и сместителем в сторону относительного перемещения крыла. На

плане он изображается углом V'' , заключенным между изогипсами крыла и сместителя, а на вертикальном разрезе — углом V между теми же элементами (рис. 94, б, г). Истинное значение угла смещения V будет иметь место в плоскости разреза, построенного нормально к линии обреза пласта. Угол V находится обычно из построений или с помощью сетки.

Угол смещения V — важный классификационный признак, позволяющий относить встреченное смещение в группу тупоугольных и остроугольных дизъюнктиков.

В первом приближении отнесение смещения в группу тупоугольных или остроугольных можно производить во многих случаях по углу V'' . Последний как разность между простирациями крыла и смесятеля может быть установлен просто в забое, разумеется после того, как будет известно направление относительного перемещения крыла. Угол V'' всегда фиксируется на плане изогипсами крыла и смесятеля. Это обстоятельство позволило П. М. Леонтовскому [II, 16] рекомендовать угол V'' к использованию в качестве угла смещения. Однако, учитывая, что при значениях V , близких к 90° , встреченное смещение трудно классифицировать по углу V'' , угол смещения V определяют косвенно по элементам залегания крыла и смесятеля.

На рис. 94 сброс является остроугольным смещением, а взброс — тупоугольным.

5. Направление относительного перемещения крыла. Для определенности берется направление относительного перемещения висячего крыла, как это показано стрелками на рис. 94. При этом используется действительное (истинное) или условное относительное перемещение. Первым пользуются при наличии признаков, наблюдаемых в плоскости или зоне сместителя. На рис. 94, а это направление обозначено символом α' . В случае больших трудностей или невозможности установить указанные признаки, берется условное направление относительного перемещения крыла в плоскости сместителя, перпендикулярное к линии обреза пласта. На рис. 94, б оно обозначено символом α_y' .

Некоторые исследователи рекомендуют направление истинного относительного перемещения характеризовать углом ψ , называемым углом скольжения, измеряемым в плоскости смещителя между простиранием смещителя и направлением (следом) перемещения.

Направление относительного перемещения крыла является важным показателем встореченного смещения, позволяющим определить тип смещения, поэтому установлению и документации его придается большое значение.

Линейные величины

К линейным величинам относится мощность зоны сместителя и амплитуды смещения.

1. Мощность зоны сместителя m устанавливается по секущим эту зону выработкам.

2. Амплитуда смещения a характеризует отстояние одного крыла относительно другого в том или ином направлении. К характерным направлениям относятся:

а) направление по нормали к крыльям p' . На вертикальном разрезе (рис. 94, д) $p' > p$;

б) по горизонтальному направлению d (рис. 94, д) вкрест простирации крыльев, совпадает с направлением квершлажных выработок. На вертикальном разрезе (рис. 94) $d' > d$;

в) по вертикали h , совпадает с направлением вертикальных выработок;

г) по горизонтальному направлению l (рис. 94, б) параллельному линии простирания сместителя.

Амплитуда смещения аналогично мощности измеряется непосредственно или устанавливается косвенно. Переход от измеренной амплитуды к амплитуде по характерным направлениям или от последней к амплитуде по направлению проектируемых выработок выполняется так же, как это делалось в задачах на мощность.

Величину амплитуды смещения необходимо знать при решении геометрических задач при разведке и разработке нарушенных участков.

Искомые линейные величины при косвенном их определении устанавливаются вычислением или графическими построениями в проекциях с числовыми отметками.

§ 27. Геометрическая классификация смещений

Под геометрической классификацией смещений понимается группировка их по основным геометрическим признакам, имеющая своей целью систематизацию дизъюнктивов и упорядочение терминологии применительно к условиям и требованиям эксплуатационной разведки и разработки месторождений полезных ископаемых.

По вопросу о классификации разрывных структур имеется обширная отечественная и зарубежная литература. Обилие работ связано с наличием разных точек зрения по этому вопросу. Специалисты, работающие в области региональной геологии, являются сторонниками генетической и отчасти морфологической классификаций, а специалисты, занимающиеся разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых, отдают пред-

почтение морфологическим классификациям и классификациям, построенным на геометрических признаках.

Разные точки зрения вытекают из особенностей решаемых задач.

Выяснение генезиса наблюдаемых дизъюнктивов является совершенно необходимым и первым этапом изучения разрывной тектоники в процессе геологического изучения того или иного района. Но для решения более конкретных технических задач разведки и разработки нарушенных участков месторождений указанной общей характеристики недостаточно. Требуются более детальные наблюдения и величины, используемые в документации, построениях геометрических рабочих схем и расчетах.

Известно большое число геометрических классификаций. Из них отметим классификации, предложенные: П. М. Леонтовским [II, 16], В. И. Бауманом [II, I], И. А. Далинкевичем, П. К. Соболевским [II, 24], И. А. Молчановым [II, 19], Н. Г. Келлем [II, 33], А. А. Белицким [II, 2], А. С. Забродиным [II, 11] и др.

Общим для них является то, что они абстрагируются от сложности проявления дизъюнктивов в природе и на ограниченных участках принимают их элементы (крылья и сместитель) плоскими. Кроме того, делается допущение, что крылья при перемещении остаются параллельными друг другу. Несмотря на разный подход к группировке смещений, обязательными геометрическими признаками для всех геометрических классификаций являются характер скрещения пересекающихся плоскостей и направление относительного перемещения крыльев (блоков).

Для перечисленных геометрических классификаций характерно большое число выделяемых видов скрещений и смещений, что делает их очень громоздкими в практическом использовании. Указанная особенность объясняется стремлением дать характеристику всем геометрически возможным взаимным положениям крыльев и сместителя.

Не отрицая ценности выполненных в этом отношении исследований, следует по практическим соображениям сделать некоторые обобщения, направленные на упрощение геометрической классификации смещений.

Прежде всего кратко об истинном и условном направлении перемещения крыльев. Противопоставление одного другому недопустимо. Наоборот, совместное их использование обязательно. Понятие «условное» относительное перемещение блоков четко было выделено В. И. Бауманом. Но он не отрицал значения истинного, или действительного, перемещения.

Взаимное положение крыльев в зоне сместителя фиксируется положением линий скрещения S, S' в плоскости сместителя.

Следовательно, условное относительное перемещение, перпендикулярное этим линиям, однозначно определяет вид встреченного смещения. Направление, в котором располагается линия обреза искомого крыла относительно линии обреза известного крыла, устанавливается по признакам перемещения или по результатам разведки.

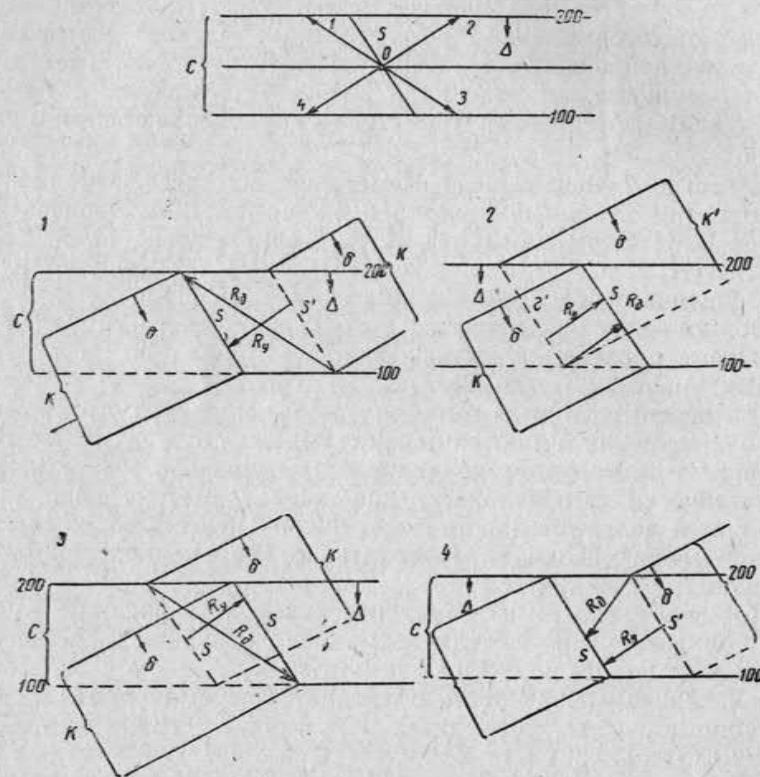


Рис. 95. Формы смещений по действительному и условному относительному перемещению висячего крыла

На рис. 95 приведено установление формы смещения для заданного положения линий скрещения в плоскости сместителя по действительным и условным относительным перемещениям висячего крыла. Четыре направления действительного относительного перемещения, показанные в верху чертежа стрелками, дали соответственно четыре взаимных положения элементов смещения, изображенных на рисунке ниже.

Из рис. 95 следует, что взаимные положения элементов смещения в зоне сместителя однозначно характеризуются условным R_y относительным перемещением висячего крыла, чего нельзя сказать о R_d .

Так, например, положения R_d и R_y , показанные на рисунках 95, 1 и 95, 3, дают разную, а положения их на рисунках 95, 2 и 95, 4 — одинаковую характеристику смещениям.

Для задания вскрывающих выработок на смещенное крыло важно взаимное положение крыльев смещения в зоне сместителя. В целях однообразного определения формы встреченного смещения в необходимых случаях следует по R_d изображать на плане взаимное положение крыльев и по последнему определять форму смещения. Направление R_d следует отражать на плане стрелкой.

Характер скрещения крыльев и сместителя определяется углом между пересекающимися плоскостями и положением линии пересечения в пространстве и в плоскости сместителя.

Угол между пересекающимися плоскостями может быть тупым или острым (в частном случае — прямым). Из двух смежных углов берется тот, в сторону которого направлено относительное перемещение крыла.

Линия пересечения одновременно лежит в плоскости сместителя и крыла. Ее положение в пространстве может быть в общем случае наклонным и в частных случаях отвесным и горизонтальным.

Положение линии пересечения в плоскости сместителя рассматривается относительно характерных направлений последнего — линий простирания и падения. В общем случае оно может быть диагональным и в частном случае — совпадать с этими направлениями.

Относительное перемещение крыльев в пространстве фиксируется относительным положением линий пересечения (линий обреза пласта) в плоскости сместителя.

Принято характеристику смещения давать по перемещению висячего крыла относительно лежачего.

При наличии признаков перемещения, наблюдавшихся в плоскости (или зоне) сместителя, относительное перемещение висячего крыла называется истинным, а при отсутствии их — условным.

В последнем случае направление и величина относительного перемещения висячего крыла устанавливаются сопоставлением пород с той и другой стороны сместителя с их положением в нормальном стратиграфическом разрезе.

При отсутствии непосредственно за сместителем надежного опорного горизонта указанное сопоставление производится после разведки.

Во многих случаях признаки перемещения, особенно при развитии зон дробления, обнаружить невозможно.

Тогда смещение можно характеризовать направлением условного относительного перемещения. Далее при группировке смещений будем пользоваться последним.

Перемещение висячего крыла в плоскости сместителя относительно линий простирания и падения последнего в общем случае направлено диагонально и в частных случаях совпадает с указанными линиями.

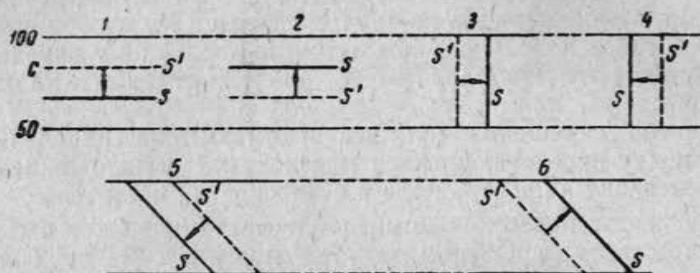


Рис. 96. Формы смещений по положению линий скрещения и условного относительного перемещения висячего крыла в плоскости сместителя

На рис. 96 изображены взаимные положения линий обреза висячего S и лежачего S' крыльев в плоскости сместителя C , определяющие характерные (частные) и общие направления условного относительного перемещения крыльев (изображены стрелкой).

Здесь угол смещения может быть любым. По установившейся в геометрических классификациях терминологии, вытекающей из взаимного положения элементов смещения в плоскости сместителя, положение 1 дает сброс, положения 2, 3 и 4 будут соответственно выражать взброс, сдвиг и пересдвиг. Все четыре формы являются частными. Положения 5 и 6 представляют собой общие случаи перемещения, дающие общую форму смещений — диагональные сброс и взброс.

Практика показывает, что в подавляющем большинстве смещение представляет собой общие случаи пересечения крыльев со сместителем и направления перемещения, а именно — диагональные относительные перемещения при тупоугольном и остроугольном наклонном скрещении.

Все частные (пределные и характерные) случаи скрещений и относительных перемещений очень редки и как частные вытекают из общих случаев.

Основываясь на общих случаях взаимного положения элементов смещений, последние можно группировать по двум признакам — углу смещения и направлению относительного перемещения висячего крыла в плоскости сместителя.

По углу между пересекающимися плоскостями наблюдаемые смещения целесообразно разбивать на две группы — тупоугольные и остроугольные. Каждая из них обладает определенными признаками, оценка которых будет дана ниже.

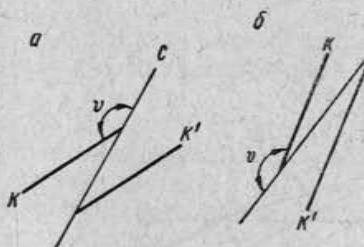


Рис. 97. Тупоугольные смещения на разрезе:
а — взброс, б — сброс

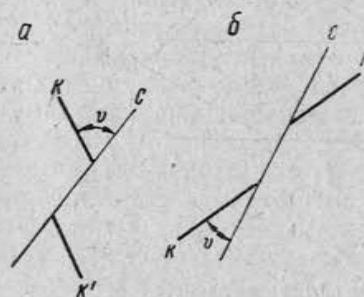


Рис. 99. Остроугольные смещения на разрезе:
а — взброс, б — сброс

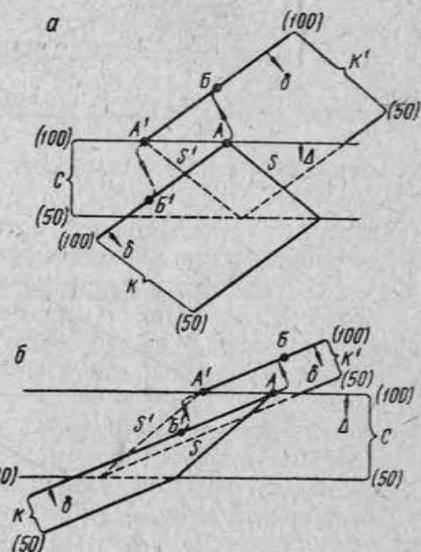


Рис. 98. Тупоугольные смещения (план):
а — взброс, б — сброс

Направление относительного перемещения, как мы видели выше, позволяет устанавливать тип смещения — взброс или сброс (имеются в виду диагональные смещения как общие случаи).

По указанному признаку тупоугольные и остроугольные смещения, в свою очередь, разбиваются на взбросы и сбросы.

Рассмотрим характеристику выделенных групп и типов смещений подробнее.

На рис. 97 и 98 изображены в поперечно-вертикальном разрезе и плане тупоугольные смещения — взброс и сброс.

Здесь приняты следующие обозначения:

C — сместитель;

K и K' — висячее и лежачее крылья соответственно;

S и S' — линия пересечения висячего и лежачего крыльев со сместителем;

δ , Δ — углы падения крыльев и сместителя;

V — угол смещения;

$AB(A'B')$ — направления вскрывающей горизонтальной горной выработки.

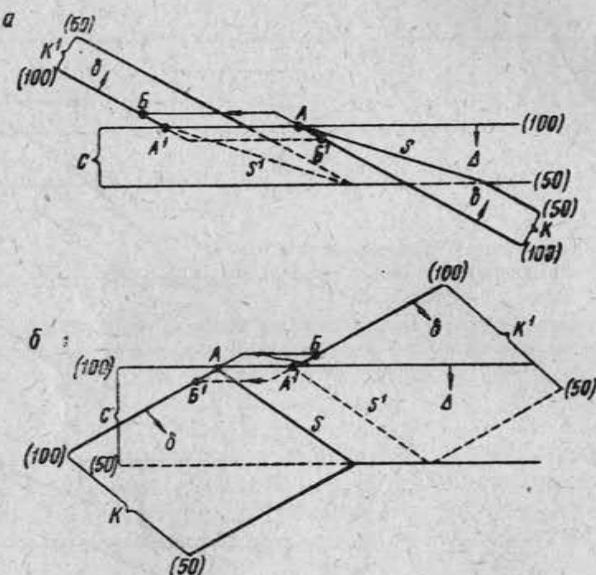


Рис. 100. План диагональных остроугольных смещений:

а — взброс, б — сброс .

Из рисунков следует, что для всех тупоугольных смещений независимо от их типа, т. е. для подавляющего числа наблюдаемых тупоугольных смещений, имеет место удвоение (перекрытие) пласта по максимальному числу направлений. В их числе находятся следующие характерные направления удвоения пласта: по вертикали, по нормали к крыльям (см. рис. 97) и по горизонтальному направлению AB ($A'B'$) вкрест простирации пласта (см. рис. 98), по которому производят вскрытие смещенной части пласта горизонтальной квершлажной выработкой.

Рис. 99 и 100 представляют собой изображения в поперечно-вертикальном разрезе и плане диагональных остроугольных

смещений — взброса и сброса. Здесь приняты те же обозначения, что и на рис. 97 и 98.

Из рисунков следует, что для всех остроугольных смещений независимо от их типа характерно наличие растяжки (зияния) пласта.

Наи выгоднейшим направлением для вскрытия смещенной части пласта горизонтальной горной выработкой здесь является направление AB ($A'B'$), параллельное простиранию сместителя.

Зона растяжки в отличие от зоны перекрытия на маркшейдерских планах выделяется тонкой редкой поперечной штриховкой.

Из изложенного следует, что большинство наблюдаемых смещений укладывается в простую схему выделенных выше групп и типов, а именно:

1) тупоугольные взбросы и сбросы с перекрытием (удвоением) пласта и

2) остроугольные взбросы и сбросы с растяжкой (зиянием) пласта.

При этом группы характеризуются скрещением — углом смещения, а типы — направлением относительно перемещения висячего крыла, фиксирующимся в плоскости сместителя.

Каждому подразделению присущи свои характерные особенности в части взаимного положения элементов, удвоений пласта и выгодных направлений для задания вскрывающих горных выработок.

Нетрудно видеть, что указанные геометрические особенности подразделений одновременно являются практически важными техническими характеристиками смещений, которые с успехом могут быть использованы при разработке тектонически нарушенных участков.

При несложной системе условных знаков указанные группы и типы смещений будут отчетливо выделяться на маркшейдерских планах.

Большая дробность группировки смещений повела бы к громоздкости классификации. Приведенные общие положения классификации и известные из предыдущего читателю способы решения типовых горногеометрических задач применительно к плоскостным формам залегания позволяют методически правильно характеризовать все геометрически возможные взаимные положения элементов разрывных структур.

Смещение характеризуется формой и размерами. Изложенное выше относилось к группировке смещений по форме, определяемой скрещением пересекающихся плоскостей и направлением относительного перемещения.

Размеры смещения определяются его протяженностью и амплитудой.

По величине амплитуды смещения условно делят на крупные, средние и мелкие. Под крупным понимается смещение, которое отчетливо прослеживается по выходам пород на геологической карте в открытой части месторождения или буровыми работами разведки на закрытой части месторождения. Крупное смещение, за редким исключением, служит естественной технической границей шахтного поля.

Средние по крупности смещения могут прослеживаться горными выработками или буровыми работами из горных выработок. По отношению к крупным смещениям они часто являются оперяющими разрывами и иногда служат границей для эксплуатационных участков.

К мелким смещениям относят тектонические разрывы, которые могут обнаруживаться только в горных выработках и для своего изучения не требуют проведения буровых работ. Наблюдаются они как в зоне крупных, так и средних по величине смещений, являясь оперяющими разрывами тех и других.

§ 28. Геометрические задачи, решаемые при разработке нарушенных участков

Документация и изображение смещений

Решение геометрических задач на нарушенных участках основывается на данных разведки и результатах систематических наблюдений за проявлением разрывных структур в горных выработках. Наблюдения за проявлением смещений в горных выработках состоят из осмотра забоев, производства измерений угловых и линейных величин, связанных с привязкой точек наблюдения и определением элементов залегания, составления схематических разрезов (зарисовок), описания и построения графического изображения участка, вскрытого горной выработкой. На значение первичной геологической документации в свое время обратил внимание акад. В. А. Обручев, указывавший: «Каждый забой в разведочных и эксплуатационных выработках представляет собой сочетание фактических данных большей или меньшей, а иногда исключительной ценности. Между тем такой забой существует очень недолго — по мере подвигания выработок он исчезает, заменяется новым, в котором никогда не повторяются все особенности предыдущего».

Время проходит, выработка погашается и вскрытые этой выработкой особенности строения месторождения остаются не изученными и нигде не отраженными. А между тем при подготовке к эксплуатации новых горизонтов и участков геологические данные, полученные из ранее пройденных выработок, дали бы воз-

можность запроектировать наиболее рациональные способы разведки и эксплуатации этих участков».

Геологическая документация производится в свежем забое до закрепления выработки.

В секущих вертикальных горных выработках производится сплошная зарисовка. При этом в выработках прямоугольного сечения зарисовка выполняется по всем четырем стенкам; глубины залегания контактов измеряются по углам выработки. В выработках круглого сечения промеры контактов делаются в двух плоскостях, называемых осевыми. Замеры элементов залегания производятся в плоскостях пластов полезного ископаемого, маркирующих горизонты и тектонических нарушений.

Разрез пород в квершлагах или штольнях составляется по одной из стенок выработки на всю ее длину. На рис. 101 показаны образец разреза, данные измерений и описание пород. На участках с тектоническими нарушениями рекомендуется для сложных условий разрез представлять по обеим стенкам. Замеры элементов залегания контактов определяются для каждого пласта полезного ископаемого и смесятеля, но не реже чем через 50 м. Привязка контактов осуществляется путем измерения расстояний вдоль выработки от ее устья или от точек маркшейдерских съемок нарастающим итогом. Разрез по квершлагам должен составляться особенно тщательно, так как наличие подробного описания пересеченных пород может облегчить в дальнейшем определение формы и амплитуды смещений, встреченных в других горных выработках. Следует иметь в виду, что тектонический разрыв, пропущенный при документации квершлага, может вызвать дополнительные проходческие работы по породе при проведении штреков.

По основным наклонным выработкам, пройденным по залежи (уклоны, бремсберги, скаты), проводится сплошная документация пласта, боковых пород и встреченных тектонических разрывов. На рис. 102 приведен образец геологической документации бремсбера. По мере подвигания выработки производят замеры элементов залегания и расстояний до точек замера от устья выработки или от точек маркшейдерской съемки.

Документация нарушенных по откаточным штрекам, опережающим очистные забои, дает основной материал для прогноза геологической обстановки в очистном забое. На участках с нарушенным залеганием, выдержанном строением и мощностью пласта зарисовка забоя штрека производится через определенные интервалы, устанавливаемые опытом работы. Независимо от этого документируются все места в штреке, где встречены резкие изменения элементов залегания, строения и мощности пласта, а также тектонические разрывы. При документации штрека производится зарисовка забоя. В необходимых случаях

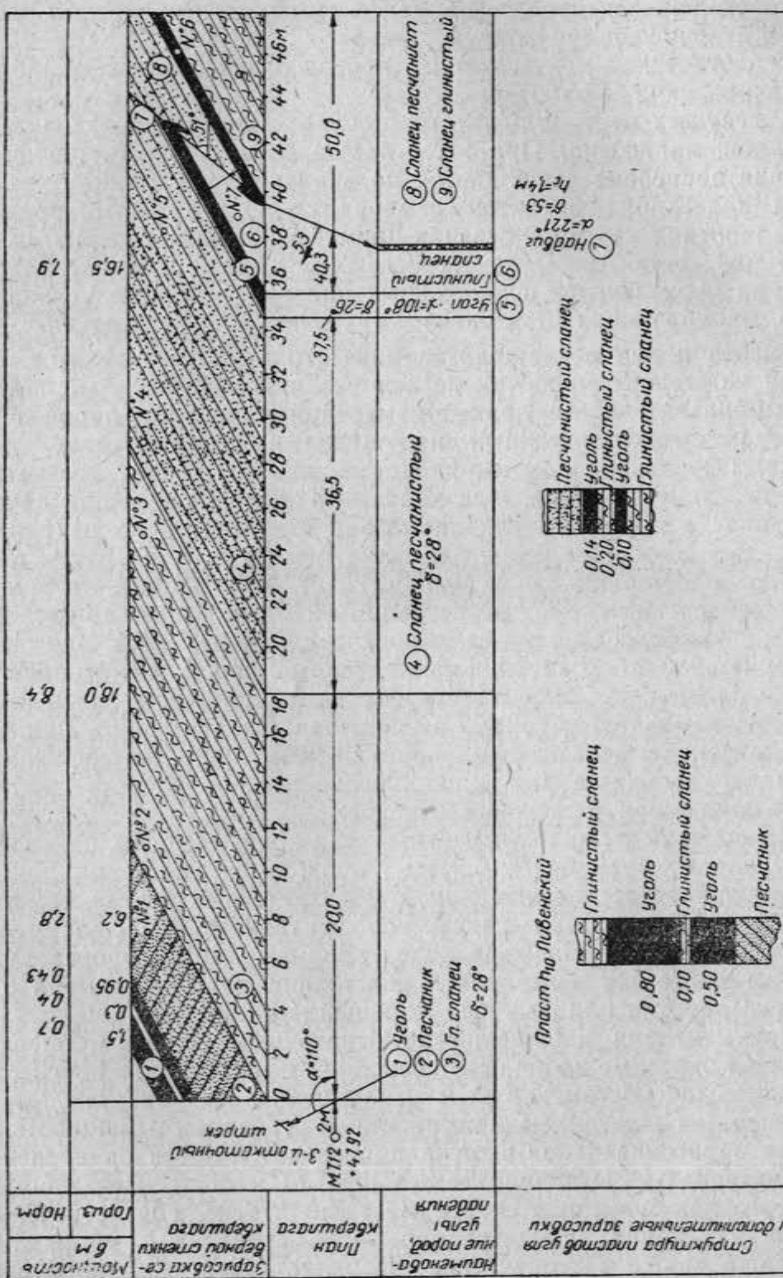


Рис. 101. Геологический разрез по квершлагу

зарисовка забоя может сопровождаться горизонтальным сечением или вертикальным разрезом вдоль штреека. Образец документации штреека представлен на рис. 103, где изображены плоскость забоя и горизонтальное сечение штреека. Слева приведены описание пород и результаты произведенных измерений. Масштаб графической документации, как правило, крупный, но варьирующий в широких пределах, определяется конкретными условиями и требованиями документации.

Документация по отдельным точкам в выработках в целях удобства пользова-

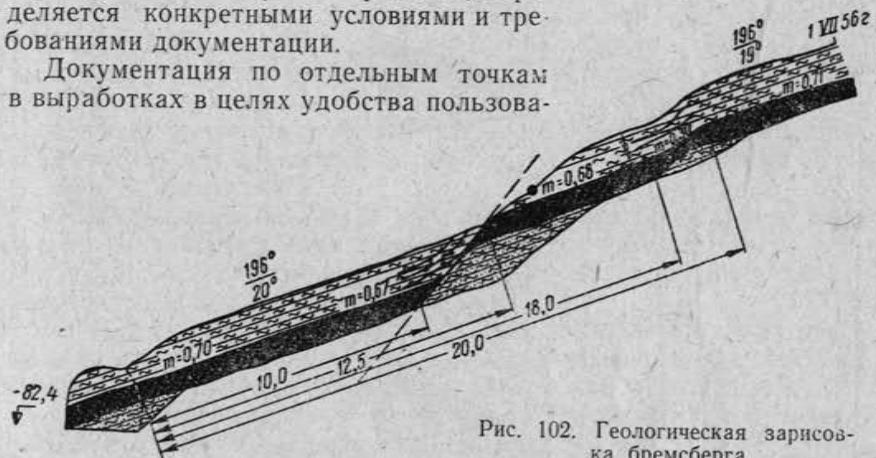


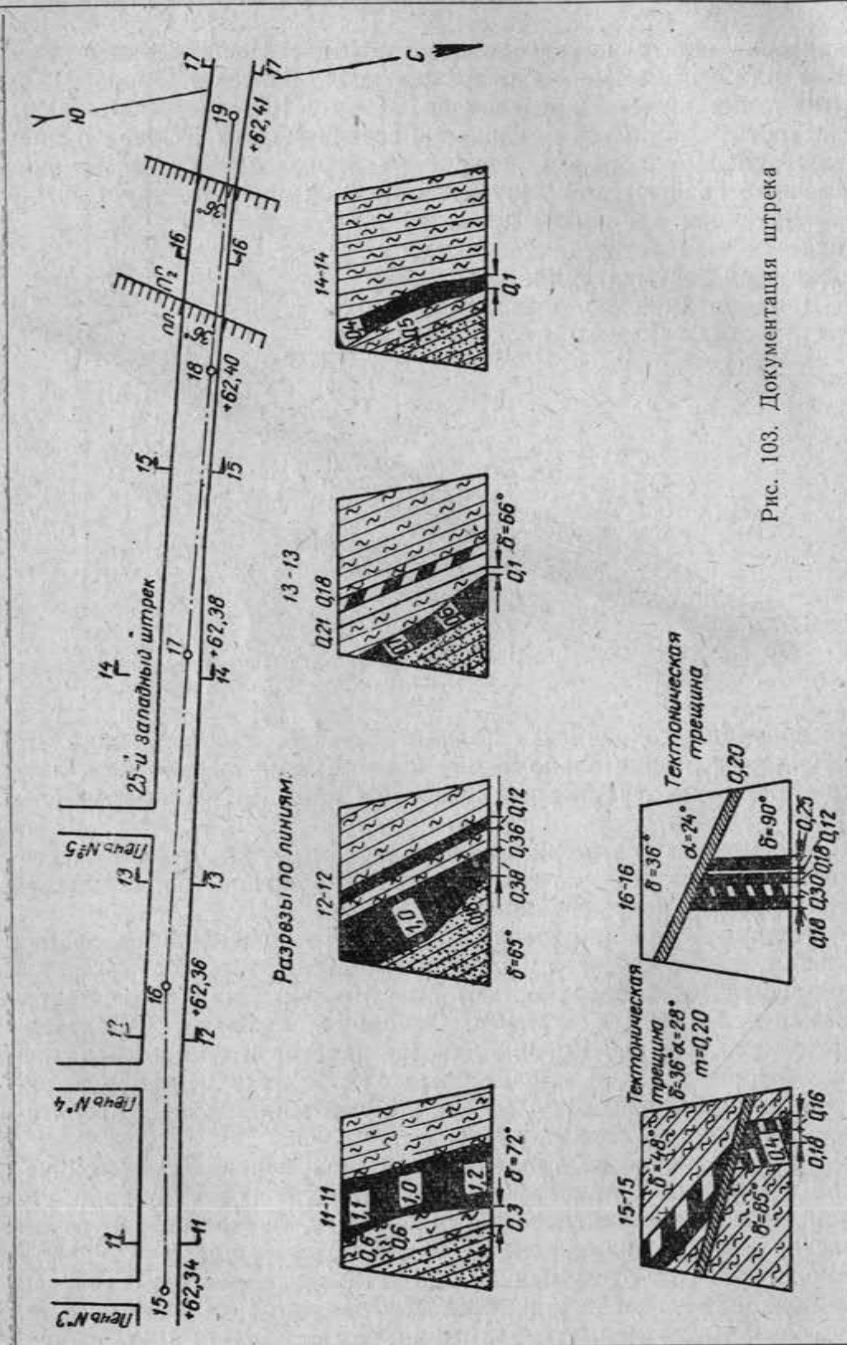
Рис. 102. Геологическая зарисовка бремсберга

ния и лучшей сохранности должна быть систематизирована. Ее группируют в виде альбома или картотеки по выработкам, пластам, крыльям, участкам, горизонтам или другим подразделением.

Рассмотрим применительно к угольным пластовым месторождениям изучение тектонических нарушений по первичной геологической документации.

Тектонические нарушения проявляются в виде образования складок, тектонического изменения мощности и разрыва пластов по плоскостям (поверхностям) сместителей. Складчатая тектоника рассмотрена в главе V. Основные ее формы характеризуются гипсометрическими планами пластов и системой разрезов. Мелкие складки и флексуры должны находить свое выражение в первичной документации и учитываться при проектировании развития горных работ.

При производстве геологической документации тектонических изменений мощностей пластов определяются ширина полосы этих изменений и ее протяженность, изучается структура пласта, крепость, изменение слоистых боковых пород и зеркала скольжения. При этом необходимо установить, действительно ли обнаруженные изменения мощности являются тектоническими, а не связанны с явлениями размыва пласта.



Смещения, имеющие более или менее значительные размеры, полностью не выявляются при осмотре забоя горной выработки. О наличии и характере разрывной структуры приходится судить по совокупности признаков, выявляемых первичной геологической документацией при приближении к смещению и при встрече с ним. Приведем некоторые из них [II, 8]:

- Если кровля (или почва) угольного пласта смещена на некоторое расстояние относительно прежнего положения, то можно предполагать наличие смещения. Аналогичный эффект может иметь место при образовании складки, но в этом случае сохраняется сплошность пласта.
- Если при выдержанном залегании забой выработки, проходящий по пласту, вошел в породу, то это свидетельствует о встрече со сместителем.
- Уменьшение размеров угольной части забоя по мере движения горной выработки может указывать на срез пласта сместителем. Однако этот же эффект может давать и другие явления (размыкание, выклинивание, пережим).
- При выдержанном составе непосредственной кровли и почвы пласта появление изменения их литологического состава указывает на вероятную встречу разрывного нарушения.
- Резкая гофрировка пласта и вмещающих пород может указывать на приближение к сместителю.
- Изменение состояния угля и боковых пород (интенсивная трещиноватость, наличие глыб и обломков, перемятость, рыхлое сложение) свидетельствует о наличии смещения.
- Следы скольжения на контактах угля и пород указывают на наличие зоны смещения.
- Ясно выраженная трещина, разграничающая блоки разрывной структуры, является самым отчетливым признаком. Трещина может иметь незначительную ширину. По ней в отличие от других контактов срезаются уголь и боковые породы.

При первичной геологической документации выявляется сложность проявлений смещений. На рис. 104 представлена система зарисовок зоны Коксового надвига в Донбассе [II, 8]. На рис. 104, а дана общая в разрезе схема надвига, на рис. 104, б, е, отдельные фрагменты: б — зарисовка стенки штранка со стороны лежачего бока сместителя; е — зарисовка стенки штранка со стороны висячего бока сместителя; в и г — зарисовка забоя штранка в зоне со стороны висячего крыла; д — структура угольного пласта. Из рисунка следует, что обобщенную схему разреза смещения можно составить в более мелком масштабе только по совокупности координированных зарисовок.

Более простую форму проявления дают сбросы, что подтверждает рис. 105 [II, 8], на котором изображены на плане и в вертикальных разрезах группы сбросов.

При выявлении по первичной документации формы и размеров смещения кроме основных вертикальных разрезов вкrest простирания пород по разведочным линиям или линиям главных квершлагов шахты строят вспомогательные разрезы вкrest простирания сместителя и по направлениям с наибольшим количеством фактического материала.

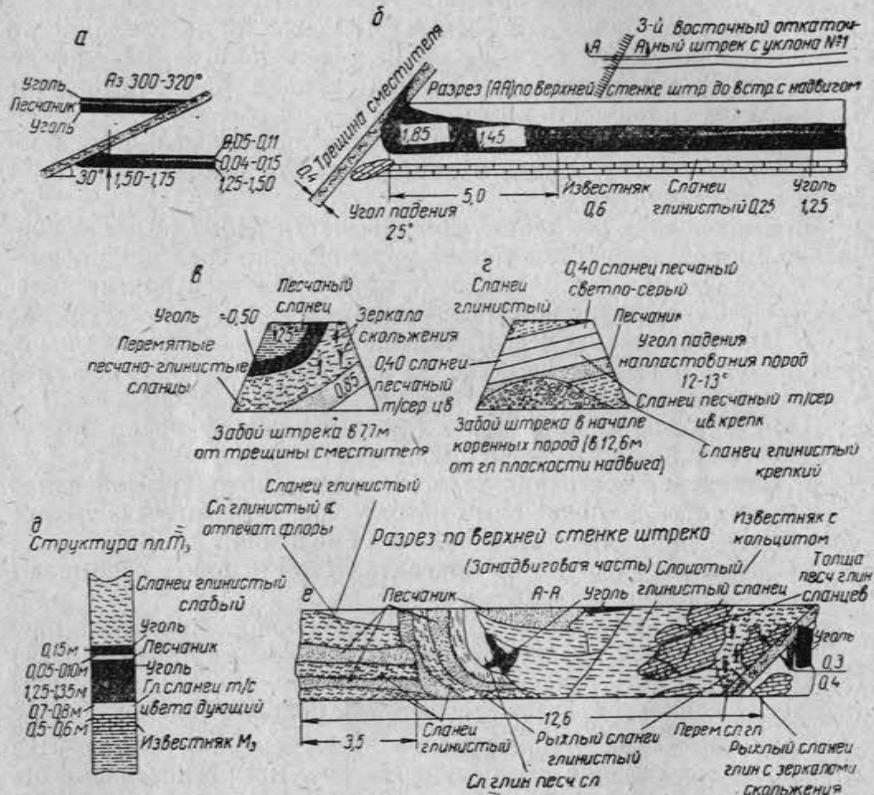


Рис. 104. Зарисовка зоны Коксового надвига, Донбасс (по А. Т. Клепач)

Изображения сместителя часто приходится выполнять по ограниченному числу данных. При этом кроме зарисовок по горным выработкам в документации скважин должны быть использованы все материалы по обнажению разрыва на поверхности. Хорошая обнаженность пород в выходах на поверхность и наличие крупномасштабной геологической карты, составленной инструментально, может дать удовлетворительную фиксацию выхода разрыва на поверхность. На рис. 106 представлен фраг-

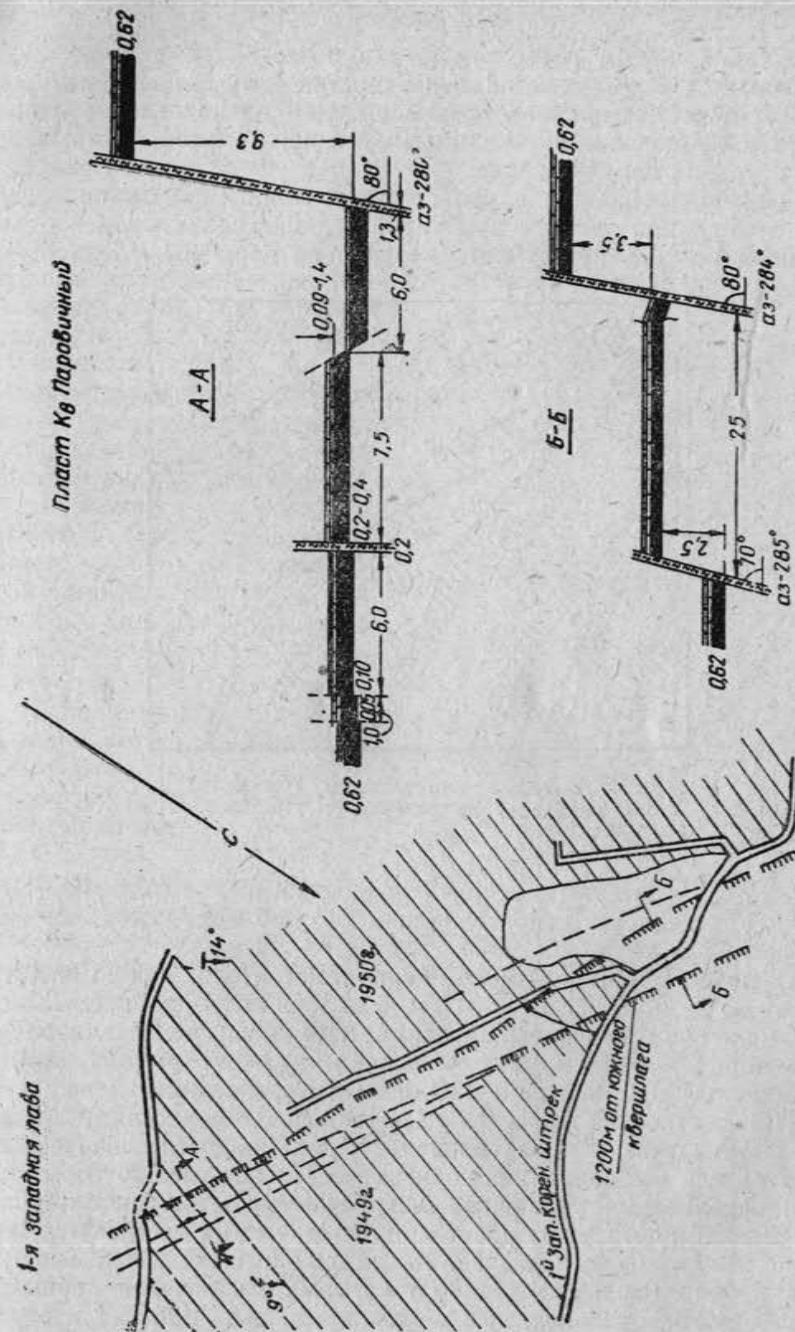


Рис. 105. Изображение сброса на плане и разрезах. Донбасс

мент такой карты, где соотношения известняков, хорошо фиксирующихся в выходах на поверхность, четко определяют выходы смещений на поверхность и дают представление о направлении относительного перемещения блоков разрывной структуры в плане.

О встрече скважин со сместителем можно судить по наличию в скважине дважды пробуренных одноименных горизонтов, а также по увеличению или уменьшению нормального расстоя-

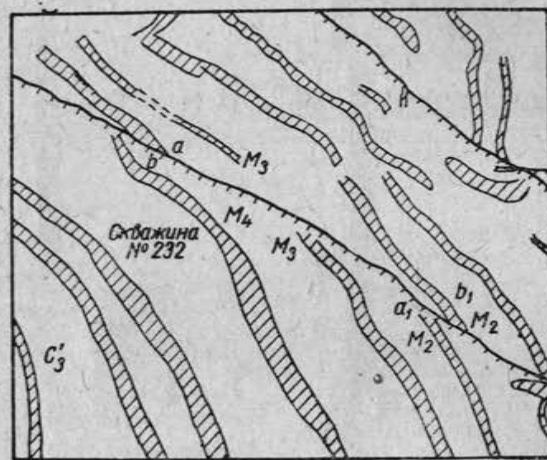


Рис. 106. Выход маркирующих горизонтов и сместителей на поверхность, Донбасс

ния между известными стратиграфическими горизонтами. Помимо этого выявляется сопоставлением разреза пород по скважине с нормальной колонкой пород участка.

О пересечении скважиной зоны сместителя можно судить также по резкому изменению углов падения перебуруемых пород, наличию в керновом материале трещиноватых, раздробленных пород с зеркалами скольжения, низкому выходу керна, поглощению промывочной жидкости в определенной зоне.

При построении разрезов смещений после нанесения на разрез фактических данных проводят следы наиболее изученных пластов или маркирующих горизонтов. По нарушению нормального чередования указанных опорных горизонтов, а также по изменению нормальных расстояний между ними выявляется наличие тектонического разреза на данном участке. След сместителя проводится через точки, в которых он отмечен горными выработками, разведочными скважинами, выходами на поверхность и точками, полученными косвенным путем.

Для характеристики крупных разрывных структур по совокупности имеющихся материалов составляют сводные вертикальные разрезы. В качестве иллюстрации построения такого разреза может служить рис. 107, на котором по данным геологической карты, разведочных и горных работ изображен крупный региональный дизъюнктив Донбасса — Французский надвиг.

В ряде случаев для целей проектирования вскрывающих горных выработок и решения других задач составляют погоризонтные планы, на которых наглядно изображают разрывные структуры.

Изображение разрывных структур на маркшейдерских планах производят по условным знакам линиями обрыва висячего и лежачего крыльев. При этом висячее крыло изображается сплошной линией со штрихами в сторону падения сместителя, а лежачее — пунктирной линией.

В точках встречи горных выработок со сместителем отмечают численную характеристику элементов залегания смещения.

В местах, где горные выработки встречают и прорезывают зону сместителя, измеряют элементы залегания сместителя.

Полученная по наблюдениям численная характеристика геометрических параметров смещения наносится на план следующим образом. На свободном месте плана, около точки наблюдения, проводится стрелка, фиксирующая направление падения сместителя, и перпендикулярно стрелке — линия простирации сместителя (рис. 108). Цифра у конца

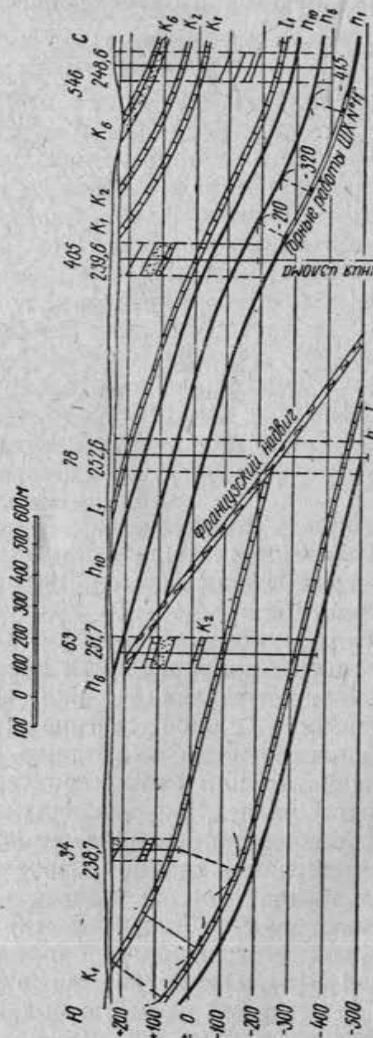


Рис. 107. Сводный вертикальный разрез зоны Французского надвига, Донбасс

стрелки выражает величину угла падения сместителя. Над линией простирации буквой обозначается направление установленной амплитуды смещения, а цифрой — величина последней в метрах. При этом следует приводить величину установленной амплитуды по одному из следующих характерных направлений: по вертикали h , горизонтальному вкрест простирации пласта направлению d , горизонтальному направлению l , параллельному плоскости сместителя при смещениях с растяжкой (зиянием) пласта, и по нормали к крыльям p . Обычно на планах выписывают нормальную или стратиграфическую амплитуду.

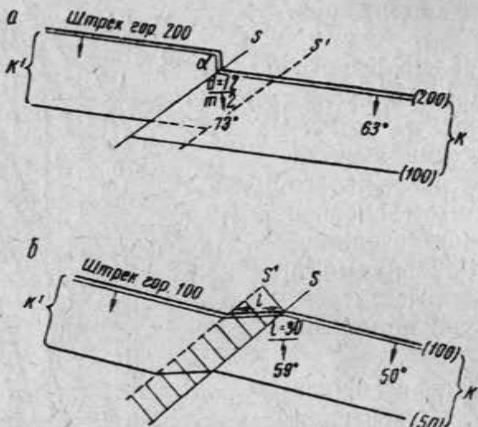


Рис. 108. Диагональные разрывы:
а — взброс, б — сброс

Выявленная выработками мощность m зоны дробления в метрах выписывается около линии падения сместителя (см. рис. 108, а).

Построенное на основном маркшейдерском плане указанным способом крупное или среднее смещение дает достаточно полное представление о виде и величине смещения. При необходимости любое сечение (разрез) смещения может быть легко построено по его плану. Если на плане недостаточно отражена та или иная характерная особенность смещения, то строится разрез, вскрывающий данную особенность.

Для подчеркивания на плане практически важной особенности смещений — наличия удвоения (перекрытия) или растяжки (зияния) пласта — в Кузбассе и других районах зону растяжки отмечают редкой (через 5 м) тонкой штриховкой, перпендикулярной к среднему направлению линий обреза пласта (рис. 108, б). Отсутствие же штриховки между линиями обреза пласта наглядно указывает на наличие перекрытия (удвоения) пласта (рис. 108, а).

Изложенное выше остается справедливым и для изображения крупных и средних по величине смещений на вертикальной проекции. Построение последней понятно без пояснений. На горизонтальных планах плоскость сместителя и крылья пластов изображаются линиями простирации. Величина амплитуды смещения и мощность зоны дробления в плоскости разреза могут быть взяты с плана графически и поэтому в количественной характеристике не нуждаются. Числом характеризуются здесь только углы падения в местах непосредственных их определений, где перпендикулярно к линии простирации проводится стрелка, указывающая направление падения сместителя, а цифра около нее выражает в градусах величину угла падения.

Если смещение имеет небольшую амплитуду, не позволяющую в принятом масштабе изобразить его на плане, то оно наносится на последний в виде условного знака. При этом действительное положение смещения фиксирует линия обреза висячего крыла (сплошная линия). Линия обреза лежачего крыла изображается пунктирной линией, отстоящей от линии обреза висячего крыла на расстоянии 2 мм. Элементы залегания смещения (направление и величина угла падения сместителя, амплитуда смещения) в этом случае на плане наносятся так же, как и при документации более крупных смещений.

Документация мелких смещений на маркшейдерских планах дает достаточно полное представление об их виде и элементах залегания. Не выражающиеся, но важные детали могут быть подчеркнуты дополнительно схематическими разрезами в характерных местах, отмечаемыми на плане линиями.

При большой густоте различных по форме мелких смещений, когда каждое из них трудно изображать двумя линиями пласта, они могут наноситься одной линией — линией обреза того крыла, горными работами по которому смещение установлено. Но при этом каждое смещение, изображаемое на плане, должно характеризоваться схематическим вертикальным сечением по отмеченной на плане линии, дающим представление о виде смещения и величине амплитуды перемещения.

Схематический разрез составляется на основании зарисовки смещения в горных выработках.

Линии обреза пласта, буквы и цифры, характеризующие элементы залегания смещения на маркшейдерском плане вычерчиваются красной тушью. Во всех случаях, когда наблюдениями установлено относительное перемещение блоков, оно показывается на маркшейдерском плане стрелкой.

Участки со сложной разрывной структурой могут изображаться на блок-диаграммах или других наглядных графиках.

Иногда на предприятиях со сложной структурой рудных полей полезно изготовление и ведение прозрачной модели рудника.

Определение относительного перемещения блоков разрывной структуры и задание выработок на смещение крыло

Определить относительное перемещение блоков разрывной структуры — это значит установить направление и величину их относительного перемещения. Определив относительное перемещение, можно правильно найти взаимное положение крыльев нарушенного пласта и выбрать оптимальное направление для выработок, задаваемых на смещение крыло.

Обозначим относительное перемещение символом R , а его направление — a' . Направление перемещения может относиться к любому крылу разорванного пласта. При установлении типа смещения направление перемещения относится к висячему крылу. Если задают выработки на смещение (потерянное) крыло пласта, то перемещение относят к этому крылу.

В натуре R и его направление a' устанавливают различными способами, в зависимости от условий определения и характера решаемых при этом задач.

Эти способы можно разделить на четыре группы.

К первой группе относят приемы определения a' по признакам или следам перемещения, наблюдаемым на зеркалах скольжения. Эти приемы применяются в условиях вскрытия смесятеля горными выработками, и так как они основываются на тщательном изучении поверхности смесятеля, их часто называют морфологическими.

Ко второй группе относят приемы определения a' по признакам, наблюдаемым в зоне тектонического разрыва со стороны известного крыла. По характеру признаков такие приемы называются структурными; в качестве признаков используют подвороты пласта в зоне смесятеля, материал, заполняющий зону смесятеля, оперяющие трещины и др.

К третьей группе относятся способы, применяемые при отсутствии признаков и следов перемещения или их неясного выражения при пересечении выработками смесятеля и его зоны. Они основываются на результатах разведки искомого крыла с поверхности или из горных выработок. В данном случае необходимо детальное изучение литологии и стратиграфии разреза пород с той и другой стороны тектонического разрыва. Их сопоставление позволяет решить поставленный вопрос. Подобный способ определения R_y и a'_y называют литологическим. При соответствующих геологических условиях этой цели может служить спорово-пыльцевой анализ. Эта группа способов широко применяется при разработке нарушенных участков месторождений. Их использование обеспечивает расшифровку разрывных нарушений, встреченных горными выработками. При этом одновременно с нахождением a'_y надежно устанавливается и величина

отстояния (отхода) искомого крыла от известного в направлении и разведочной выработки, однако направление истинного относительного перемещения не определяется. Форма встреченного смещения выявляется по разведенной амплитуде и по направлению условного относительного перемещения висячего крыла.

К четвертой группе относят способы определения R и a' , основанные на использовании одних и тех же линейных элементов геологической структуры, наблюдавшихся на обоих крыльях смещения. В качестве линейных элементов при этом используют оси складок, линии обрезов смесятелем пластов, контуров линз и т. д. Для нахождения R и a' выявляют соответственные точки пересечения линейных элементов с поверхностью смесятеля.

К этой группе тяготеет метод определения a' , предложенный А. А. Трофимовым и названный им геологоструктурным. Метод А. А. Трофимова основывается на детальном изучении любой изменяющейся литологической или иной характеристики одного и того же слоя (пласта) по обе стороны смесятеля. Изменение изучаемого показателя фиксируется системой изолиний. Сопоставление изолиний в разобщенных частях слоя позволяет найти соответственные точки, разъединенные разрывом, т. е. определить истинное относительное перемещение. Одновременно устанавливается и амплитуда смещения в плоскости смесятеля.

Приемы четвертой группы наиболее надежны, так как они основываются на точном знании положения соответственных точек на блоках разрывной структуры.

В перечисленные здесь группы включены наиболее распространенные приемы определения R и a' , отвечающие условиям, требованиям и задачам разработки нарушенных участков.

Определение относительного перемещения по признакам, наблюдаемым со стороны известного крыла

По следам на зеркалах скольжения. К следам перемещения в этом случае относятся штрихи, борозды, выбоины, ореолы раздавливания и другие признаки относительного перемещения, наблюдавшиеся на зеркалах скольжения. В забоях горных выработок эти признаки часто наблюдаются невооруженным глазом.

По данным геолога А. С. Забродина [II, 11], в Прокопьевско-Киселевском районе Кузбасса следы скольжения в плоскости смесятеля ясно видны невооруженным глазом в 60—70 случаях из 100.

Из наблюдений, проведенных на угольных шахтах, ясно, что признаки относительного перемещения фиксируют направление перемещения следующим образом.

По направлению движения рассматриваемого крыла в плоскости сместителя уменьшаются ширина и глубина штрихов, борозд и выбоин на зеркале скольжения (рис. 109, а, б); направление перемещения отмечено стрелкой. При волнистости сместителя, направленной поперечно перемещению, выпуклости, обращенные к направлению перемещения, отшлифованы лучше.

Отложившийся на плоскости сместителя кальцит, каолинит или какой-нибудь другой осадок при последующем движении крыльев раздавливается в виде светлого, светло-бурового или

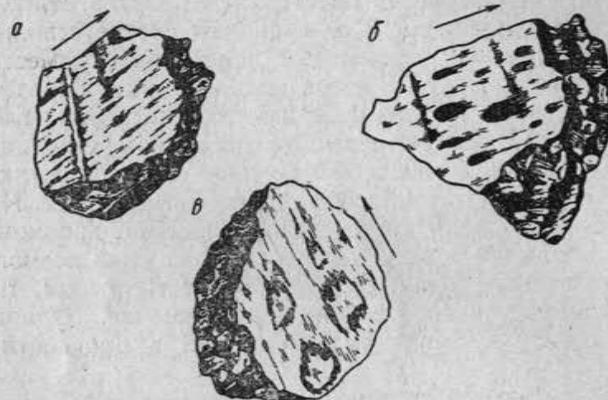


Рис. 109. «Штриховка» на зеркалах скольжения:
а — штрихи и борозды, б — выбоины, в — ореолы раздавливания

бурового пятна, имеет с одной стороны прямолинейное, а с другой — волнистое очертание (рис. 109, в). Толщина раздавленного слоя осадка уменьшается в сторону волнистого контура ореола. Принимается, что в этом направлении происходило истинное относительное перемещение рассматриваемого крыла. Направление отмечено стрелкой.

Признаки, фиксирующие относительное перемещение, изучены недостаточно. Поэтому на каждом разрабатываемом нарушенном месторождении необходимо более устанавливать проявление следов движения в горных выработках и проверять возможность их практического использования.

Назовем для краткости наблюдаемые признаки перемещения штриховкой. Ее направление в сторону движения может быть прочерчено на зеркале скольжения твердым и острым предметом и обозначено стрелкой.

Так как штриховка расположена в плоскости сместителя, элементы залегания которого известны, то направление штри-

ховки в пространстве определяется азимутом α' , измеряемым горным компасом. Рекомендуется α' измерять горным компасом по вертикально установленной вдоль штриховки рабочей книжке.

Направление штриховки α' определяет направление истинного относительного перемещения известного крыла; направление перемещения искомого крыла выражается обратной величиной $\alpha' \pm 180^\circ$.

Если в условиях забоя трудно определить направление штриховки, то ориентированный образец со сместителем доставляется на поверхность, где при лучшем освещении более точно устанавливаются следы скольжения и определяется направление штриховки. При слабой выраженности штриховки образец осматривается через лупу.

И. А. Молчанов [II, 19], А. А. Белицкий [II, 2] и А. С. Забродин [II, 11] предложили характеризовать направление штриховки углом скольжения γ , понимая под ним угол между простиранием сместителя и направлением штриховки в плоскости сместителя.

Угол γ в забое или на образце измеряется транспортиром. Величина его изменяется от 0 до 180° . В случае падения сместителя к наблюдателю отсчет угла γ производится от линии горизонта против вращения часовой стрелки (рис. 110, а), а при падении сместителя от наблюдателя — по направлению хода часовой стрелки (рис. 110, б). Если штриховка направлена вверх от линии горизонта, то угол γ считается положительным (рис. 110, в), при направлении штриховки вниз — отрицательным (рис. 110, г). Если знак угла γ неизвестен, то им пользоваться нельзя, т. е. должно быть известно направление штриховки.

Очевидно, что измерение угла γ в забое и на ориентирован-

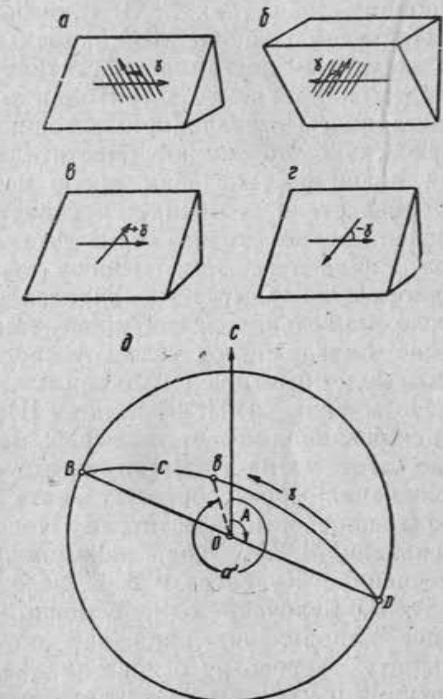


Рис. 110. Определение направления α' относительного перемещения по измеренному углу скольжения γ

ном образце транспортиром может выполняться более точно, чем измерение α' горным компасом. Если учесть, что простижение сместителя измеряется горным компасом точнее, чем азимут штриховки, то, несмотря на неизбежный переход от угла скольжения γ к азимуту α' , характеристика направления штриховки углом γ является оправданной. Угол γ может использоваться наравне с азимутом α' .

Переход от угла скольжения γ к азимуту α' очень удобно выполнять на сетках Г. В. Вульфа или В. В. Каврайского.

Приведем решение этой задачи в общем виде. Пусть известны элементы залегания сместителя А, Δ и угол скольжения γ . Найдем направление штриховки α' . По указанным элементам залегания сместителя при помощи сетки вычерчивают стереографическую проекцию сместителя — дугу BD (рис. 110, д). При вращении восковки около центра O линия простирации BD сместителя совмещается с вертикальным диаметром сетки. После этого от точки D по дуге BD меридиана отсчитывают угол γ и на дуге BD отмечают точку b . Прямая Ob , лежащая в плоскости сместителя, определяет направление штриховки. После приведения линии простирации BD сместителя в положение, определяемое углом А (рис. 110, д), направление штриховки будет иметь искомый азимут.

По мнению М. П. Биллингса [II, 5], штриховка на поверхности скольжения может указывать направление движения, но, однако, этот метод может привести к ошибке, так как зеркала скольжения могут соответствовать только последнему движению в плоскости сместителя. Подобную мысль в свое время высказали М. А. Усов, занимавшийся изучением разрывных нарушений в Кузбассе, и В. В. Белоусов.

В. В. Белоусов одновременно рекомендует устанавливать общее направление движения по тому или иному разрыву, в первую очередь на основе анализа геологической обстановки, картируя и изучая всю крупную структуру района.

Более уверенную позицию в данном вопросе занимают А. А. Белицкий [II, 2] и А. С. Забродин [II, 11], занимавшиеся поисками смещенных частей пластов в Кузбассе. В своих исследованиях они опираются на большое число фактов, получивших подтверждение при ведении горных работ.

На рис. 111 представлена пластовая карта горизонта +140 шахты № 6, на которой стрелками показаны направления относительного перемещения блоков разрывной структуры, установленные по штриховке, наблюдавшейся на зеркалах скольжения. Из рисунка следует, что, несмотря на значительный разброс штриховки, большинство наблюдений подтверждает общее северо-восточное направление относительных перемещений.

В практике работы на нарушенных участках при использовании штриховки на зеркалах скольжения нужно очень внимательно относиться к выявлению всех признаков скольжения и быть осторожным при их использовании.

По подворотам пласта.

Подвороты пласта в зоне тектонического разрыва часто называют изгибами волочения. Размеры и форма их весьма разнообразны и, видимо, обусловливаются многими факторами (величиной перемещения, составом разреза затронутых разрывом пород, залеганием и т. д.).

Как показывают наблюдения, подвороты лучше всего проявляются в углях и глинистых разностях угленосных отложений как в висячем, так и в лежачем крыле.

Наиболее распространенные формы смещений дают соответствующие им формы подворотов пласта. На рис. 112 показаны вертикальные разрезы остроугольных и тупоугольных взбросов и сбросов. Из рисунка следует, что остроугольные смещения (рис. 112 а, в) представлены одной формой подворота, а тупоугольные (рис. 112 б, г) — другой.

Рис. 112, д иллюстрирует случай подворота пласта при тупоугольном смещении, уклоняющийся от приведенного на рис. 112, б. Появление подворота здесь обусловливается наличием в зоне сместителя оперяющих трещин и особыми условиями трения.

Большое развитие в складчатых месторождениях имеют тупоугольные взбросы, дающие типичную форму подворота пласта в зоне сместителя (см. рис. 112, б).

Нахождение α' штриховки по подворотам пласта выполняется по зарисовкам встреченного смещения, которые пред-

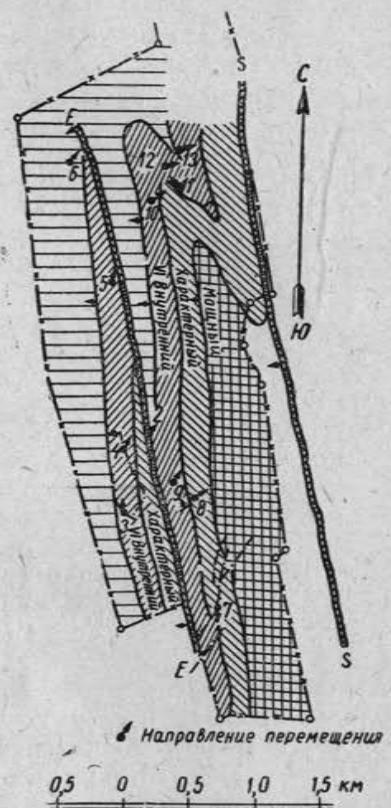


Рис. 111. Пластовая карта горизонта +140 шахты № 6 с указанием направления относительного перемещения блоков (по А. С. Забродину)

ставляются в виде горизонтального разреза и поперечного вертикального разреза.

При крупных смещениях зарисовки в отдельных точках заменяются погоризонтным планом (горизонтальным разрезом) и вертикальным поперечным разрезом.

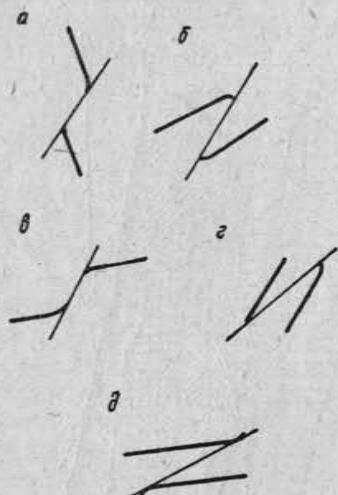


Рис. 112. Формы подвортов пласта в остроугольных и тупоугольных смещениях

сивность подвортов вкrest простирации пласта со штреком до сместителя C вкrest простирации последнего, характеризует подворот пласта в этом направлении, что иллюстрируется вертикальным разрезом (рис. 113, б) по линии 1—2. Точка 5 на разрезе фиксирует обрез пласта без подвортов. Отрезок 5—6 в плоскости сместителя выражает интенсивность подвортов вкrest простирации сместителя. Горизонтальная проекция отрезка 5—6, отрезок 6—5' = e, является второй составляющей направления подвортов на плане.

На рис. 113, в изображено простиранье сместителя и положение в плане отрезков d и e и по ним как по составляющим проведено направление штриховки. Таким образом, азимут истинного относительного перемещения висячего крыла K определяется углом α' . Направление перемещения искомого крыла будет обратным α' .

Во всех случаях, когда имеют место подвороты пластов в зоне разрыва, определение α' штриховки по этому признаку является достаточно надежным, и его следует применять наряду с другими способами.

Рассмотрим пример использования штриховки для установления формы встреченного смещения и выбора направления вскрывающей смещенное крыло горной выработки.

Пусть в точке B (рис. 114, а) со стороны висячего крыла K штреком встречен сместитель C . По результатам наблюдений определены элементы залегания известного крыла K (а, б),

сместителя C (A, Δ) и направление a' вектора штриховки. Вектор штриховки на рис. 114, а обозначен пунктирной линией со стрелкой, вектор перемещения R искомого крыла — сплошной линией со стрелкой, крыло K и сместитель C — изображены двумя горизонталиями. Здесь S — линия обреза крыла K . Искомое крыло K' полагаем параллельным крылу K .

Не зная величины амплитуды смещения, возьмем на векторе перемещения R произвольную точку D . Проведем через нее ли-

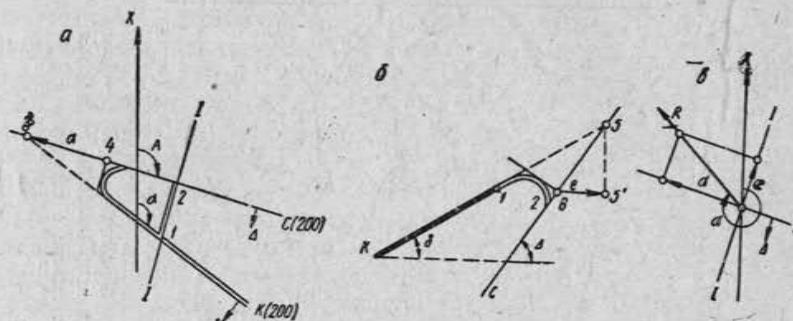


Рис. 113. Определение α' штриховки по подвортам пласта:
а — подворт пласта по штреку, б — подворт пласта в плоскости восходящей выработки, в — определение α' по составляющим d и e

нию, параллельную линии обреза S , и условно примем ее за линию обреза S' искомого крыла K' . Около ее отрезка, заключенного между горизонталиями сместителя C , построим горизонтали искомого крыла K' .

Из рис. 114, а следует, что при данных элементах залегания крыльев и вектора относительного перемещения R искомого крыла K' имеет место диагональный сброс с растяжкой (зиянием) пласта. Следовательно, вскрывающая выработка $BB'E$ в этом случае может быть задана только параллельно плоскости сместителя, в некотором удалении от нее.

При направлении вектора относительного перемещения R , приведенного на рис. 114, б, имеет место диагональный взброс с удвоением (перекрытием) пласта. Здесь вскрывающая смещенное крыло выработка $B'E$ должна быть горизонтально заданной вкrest простирации крыльев.

По материалу, заполняющему зону разрыва. Метод основан на макро- и микроскопическом анализе материала, заполняющего зону разрыва около места встречи его горной выработкой или другим видом обнажения.

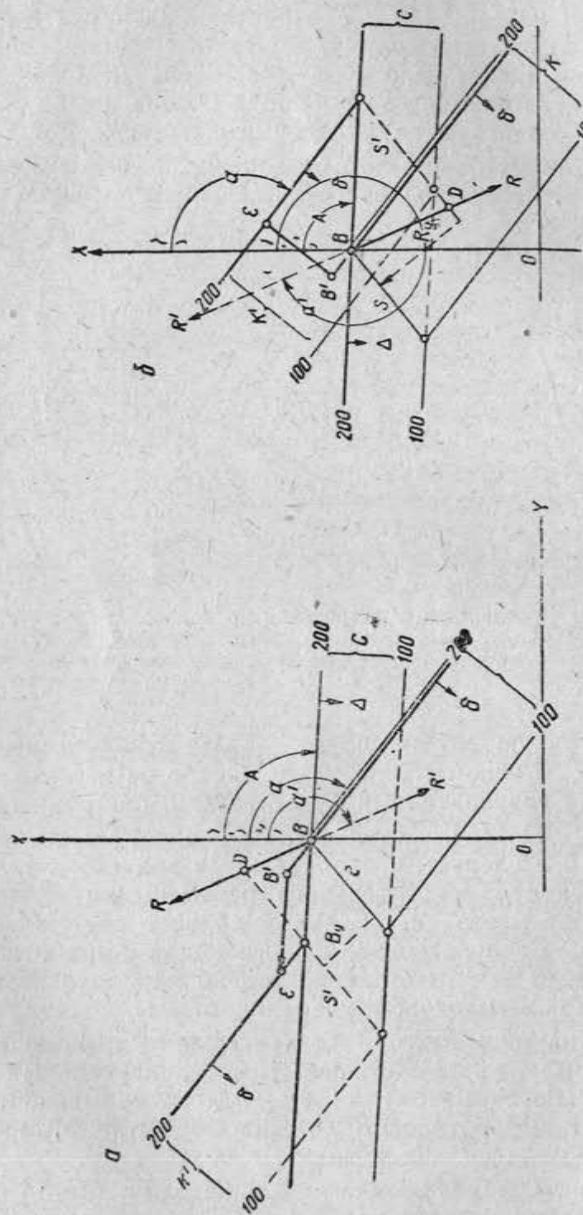


Рис. 114. Использование α' и вектора относительного перемещения R искомого крыла для определения формы смещения и задания вскрывающей выработки:
а — смещение с растяжкой, б — смещение с перекрытием

П. К. Куликов [II, 15], описывая этот метод, не без оснований называет его катастическая.

Материал в зоне сместителя образуется в процессе развития тектонического разрыва путем постепенного разрушения блоков около сместителя и представлен обломками разных размеров и перетертых горных пород (тектонической глиной).

Количественное соотношение обломочного материала различно и зависит от состава разрушенных пород и тектонических условий. Вблизи каждого слоя наблюдается концентрация обломков этого слоя. Ореол обломков слоя наблюдается только по одну сторону от линии его обреза (рис. 115, а). Концентрация обломков данного слоя по мере удаления уменьшается, и эта особенность рассеивания обломков слоя по зоне разрыва может быть использована на практике для определения направления относительного перемещения с целью поисков смещенного крыла.

Чтобы установить направление относительного перемещения крыла, достаточно определить положение ореола обломков некоторого слоя относительно этого слоя. В зависимости от условий определение производится по-разному.

Если в забое выработки, встретившей зону сместителя, имеются два разобщенных характерных слоя пород (рис. 115, б), то у самого обреза слоев отбирают пробы 1 и 2. Проба 3 отбирается из материала, заполняющего зону сместителя между обрезами слоев. Сопоставление состава третьей пробы с двумя первыми позволяет судить о направлении рассеивания обломков того или иного слоя, следовательно, и о направлении вектора перемещения (на рис. 115, б показано стрелкой).

Если невозможно или затруднительно выделить в забое два характерных слоя, то ограничиваются одним. Из этого слоя берут около линии обреза одну (1) пробу (рис. 115, в) и две пробы (2, 3) из материала зоны сместителя с той и другой стороны слоя. Одна из них содержит материал слоя, т. е. отмечает ореол рассеивания, указывающий направление отно-

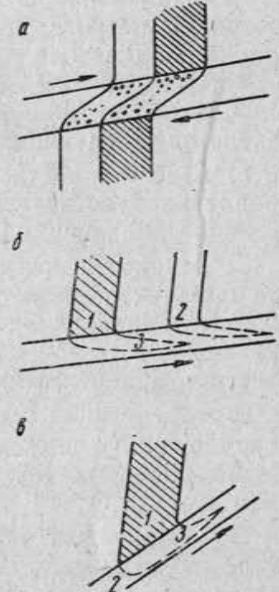


Рис. 115. Определение направления относительного перемещения по материалу, заполняющему зону сместителя (по П. К. Куликову):

а — распределение разрушенного материала в зоне сместителя, б — определение направления перемещения по двум слоям, в — определение направления перемещения по одному слою

сительного перемещения (на рис. 115, в отмечено стрелкой).

Цель анализа отобранных проб — установление признака (или признаков), позволяющего наиболее определенно и объективно характеризовать маркирующий слой. В зависимости от того, какому признаку при этом уделяется особое внимание, говорят о петрографической, минералогической и других разновидностях метода.

Рассматриваемый способ, несмотря на кажущуюся простоту и надежность, широкого применения в практике не нашел вследствие следующих недостатков:

а) невозможности установить непосредственно в забое направление относительного перемещения и необходимости проведения лабораторных анализов;

б) неприменимости метода при наличии в районе нескольких фаз тектогенеза, вызывающих многократность подвижек в разных направлениях по одному и тому же сместьителю, когда уничтожаются первоначальные следы перемещения и перемещивается трещинный материал;

в) определения не истинного направления относительного перемещения в плоскости сместьителя, а составляющей перемещения, совпадающей с горизонтом горных работ, встретивших сместьитель.

По оперяющим трещинам. Опыт, накопленный при структурно-геологическом изучении рудных месторождений, свидетельствует, что для установления направления относительного перемещения блоков разрывной структуры можно использовать оперяющие трещины.

Предположим, что известно относительное перемещение блоков *A* и *B* по сместьителю *C* (рис. 116). Направление этого перемещения указано стрелками. Зона, в которой развивается сместьитель, испытывает под действием пары сил деформацию сдвига. Деформация сдвига может быть представлена применительно к выделенному плоскому элементу превращением квадрата *abcd* в ромб *a'b'cd*. После того как предел прочности пород превзойден, они разрушаются, в зоне сдвига образуется основной разрыв (сместьитель) и несколько систем оперяющих трещин.

Из оперяющих трещин наиболее отчетливо выделяются в указанной зоне следующие системы:

- трещины скальвания 1, параллельные сместьителю;
- трещины скальвания 2, параллельные диагонали *db'* ромба и наклоненные к сместьителю приблизительно под углом 45° в сторону относительного перемещения блоков;
- трещины отрыва 3, параллельные короткой диагонали *ca'* ромба и наклоненные к сместьителю также приблизительно под

углом 45° в направлении, обратном относительному перемещению блоков.

Из перечисленных оперяющих систем наибольший интерес для решения поставленной задачи представляют трещины отрыва. Они имеют хорошее развитие в зоне сместьителя и определено выраженное расположение к нему: легко выделяются из других систем трещин, так как более открыты, имеют неровные стенки и не несут на них следов притертости.

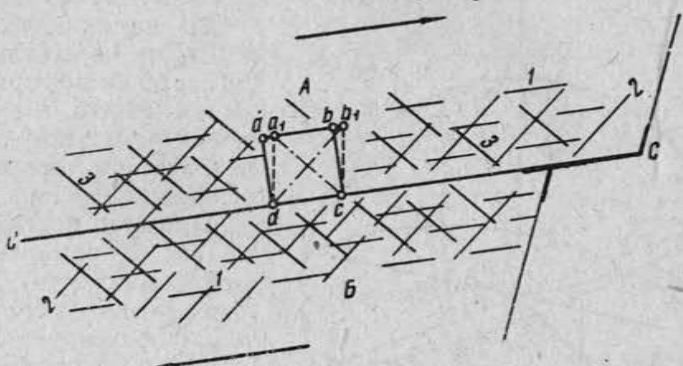


Рис. 116. Оперяющие трещины в зоне сместьителя

Относительное перемещение в плоскости сместьителя направлено в сторону тупого угла, образованного системой трещин отрыва и сместьителем.

В случае неясного выражения трещин отрыва для определения направления перемещения можно использовать вторую систему трещин скальвания. При этом искомое перемещение в плоскости сместьителя будет направлено в сторону острого угла, образованного основным разрывом и системой трещин скальвания. Решение задачи сводится к использованию и нахождению угловых величин, следовательно, при этом удобно пользоваться сетками Г. В. Вульфа или В. В. Каврайского.

Исходными угловыми величинами являются элементы залегания сместьителя и оперяющих систем трещин. Элементы залегания систем трещин должны характеризоваться средними их значениями, вычисленными по ряду измерений, произведенных в разных местах зоны сместьителя.

При рассмотренных геометрических отношениях между системами трещин их полюсы сводятся в одну плоскость, перпендикулярную к линии пересечения сместьителя с оперяющими трещинами. В свою очередь, линия пересечения нормально сечущей плоскости с плоскостью сместьителя *C* фиксирует линию относительного перемещения. Направление этого перемещения

определяется расположением тупого или острого угла между смеcтителем и оперяющими трещинами.

Нормальносекущая плоскость может занимать различные положения, из которых два являются частными — предельными:

1) нормальносекущая плоскость вертикальна. В этом случае она пересекает смеcтитель по линии падения, т. е. встреченное смещение является сбросом или взбросом;

2) нормальносекущая плоскость пересекается со смеcтителем по горизонтали последнего, т. е. встреченное смещение в геометрическом отношении является сдвигом.

При всех других положениях нормальносекущей плоскости линия пересечения ее со смеcтителем фиксирует общий случай относительного перемещения блоков разрывной структуры.

Рассмотрим определение направления α' перемещения. На рис. 117 по элементам залегания смеcтителя с помощью сетки Г. В. Вульфа изображена стереографическая проекция смеcтителя C . По элементам залегания систе-

мы трещин отрыва пунктиром изображена ее стереографическая проекция 3 . Линия BO является линией пересечения плоскостей C и 3 . Дуга P представляет собой стереографическую проекцию нормальносекущей плоскости. Прямая AO , являющаяся линией пересечения нормальносекущей плоскости со смеcтителем, фиксирует линию относительного перемещения. Направление относительного перемещения определится в данном случае расположением тупого угла, образованного плоскостями C и 3 . Из рис. 117 следует, что угол U , обращенный в сторону восстания смеcтителя и измеренный на сетке дугой AD , является острым. Следовательно, тупой угол между трещиной отрыва 3 и смеcтителем C обращен в сторону падения смеcтителя. Поэтому направление относительного перемещения висячего блока в плоскости смеcтителя будет фиксироваться стрелкой R , азимут ко-

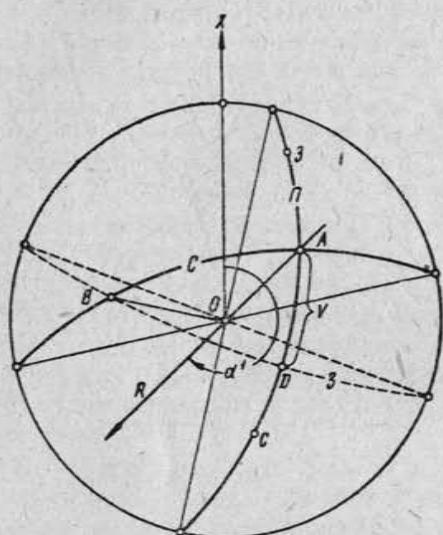


Рис. 117. Определение относительного перемещения блока по оперяющим трещинам с использованием стереографической сетки

торой определяется величиной α' . Таким образом, рассматриваемое смещение является диагональным сбросом.

При пользовании системой трещин скальвания 2 направление относительного перемещения определилось бы положением острого угла, образованного этой системой трещин и смеcтителем.

Литологический способ. Когда смеcтитель, встреченный горными выработками, представлен мощной зоной дробления, при-

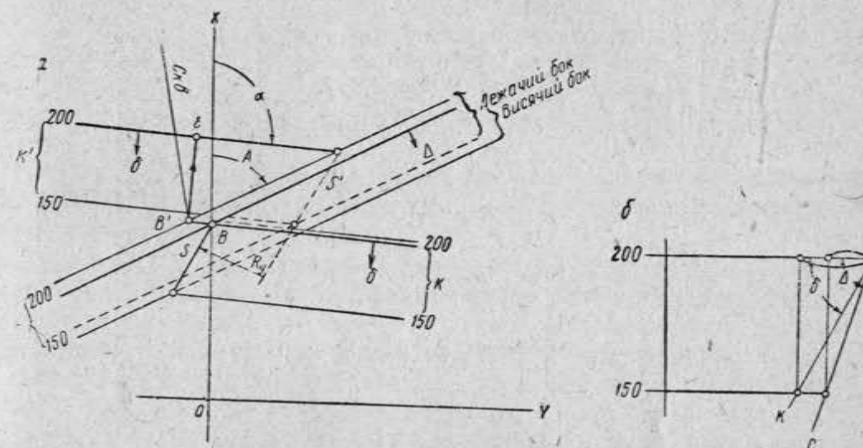


Рис. 118. Определение условного относительного перемещения по данным разведки из горных выработок:
а — план смещения, построенный по горным и разведочным выработкам, б — определение величины заложения между горизонтальными

емы определения относительного перемещения по признакам, непосредственно наблюдаемым на зеркалах скольжения и в зоне смеcтителя, часто не могут дать надежного решения вследствие развития в зоне смеcтителя вращательного движения элементарных блоков или из-за слабо выраженных признаков перемещения. В этих случаях форма смещения и положение искомого крыла или блока устанавливаются разведкой из горных выработок или с поверхности.

Пусть штреком горизонта 200 (рис. 118, а) по пласту k_4 со стороны висячего крыла K встречен смеcтитель C в точке B . По элементам залегания смеcтитель и крыло изображены горизонталью 200 и 150. Там же построена линия обреза S пласта в висячем крыле. На рис. 118, б показано нахождение величины заложения между указанными горизонталью.

После того как горная выработка прошла зону дробления, из точки B' была задана горизонтальная разведочная скважина.

Как ранее отмечалось, рассматриваемый способ основывается на сопоставлении пород с той и другой стороны сместителя. Последнее осуществляется установлением положения пород, пересеченных скважиной, в нормальном стратиграфическом разрезе участка.

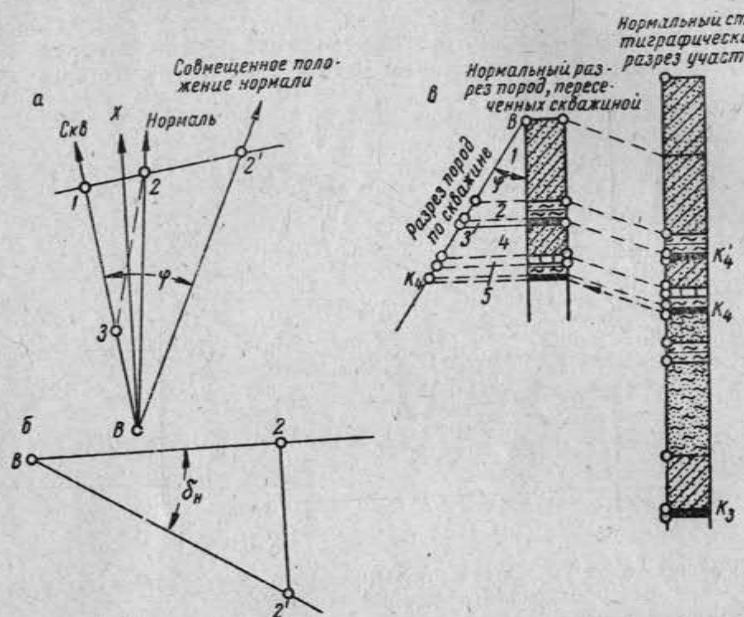


Рис. 119. К определению R_y по данным разведки из горных выработок:

а, б — определение угла φ между скважиной и нормалью к пласту, в — со-
поставление нормального разреза пород, пересеченных разведочной скважи-
ной с нормальной стратиграфической колонкой участка

Для этой цели разрез пород по скважине приводится к нормальному путем использования угла φ , образованного скважиной и нормалью к напластованию. На рис. 119, а и б приведено определение истинной величины угла φ методом проекций с числовыми отметками. Угол φ удобно определять и при помощи стереографической сетки Г. В. Вульфа.

В левой части рис. 119, в показан переход от разреза пород по скважине к нормальному их разрезу. В правой части фигуры изображен нормальный стратиграфический разрез пород участка в сторону кровли и почвы пласта k_4 . Разведочная скважина проходит до тех пор, пока сравнение левой нормальной колонки с правой становится надежным. В данном случае скважина была остановлена в глинистых сланцах, залегающих в

кровле пласта k_4 . Установление положения пород, пересеченных скважиной в нормальном стратиграфическом разрезе участка, позволило перенести пласт k_4 с участка на направление скважины. Полученное таким образом положение пласта k_4 на иско-комом крыле K' дало возможность при допущении параллельности крыльев изобразить последние на плане* (см. рис. 118, а) также горизонтальными 200 и 150 и построить линию обреза S' пласта k_4 в лежачем крыле.

Перпендикуляр к линиям обреза пласта, проведенный от S' к S , принято называть условным относительным перемещением R_y и по нему определять форму смещения. В данном случае последнее будет являться тупоугольным диагональным взбросом, для которого характерно удвоение или перекрытие пласта.

Отрезок $B'E$ на рис. 118, а фиксирует амплитуду смещения или расстояние между крыльями пласта в направлении квершлажной выработки.

Как следует из изложенного, условное направление относительного перемещения в данном случае является основой для установления формы смещения и позволяет однозначно характеризовать взаимное положение крыльев в пространстве и взаимное положение линий обреза пласта в плоскости сместителя. Таким образом, понятия и определения, базирующиеся на этой основе, практически удобны для решения горных задач на нарушенных участках и для технической документации.

Рассмотрим определение R_y и задание вскрывающей горной выработки при разведке положения искомого крыла с поверхности. Пусть штрек, пройденный по пласту на горизонте 200, встретил со стороны висячего бока в точке B сместитель C (рис. 120, а). В точке B определены: элементы залегания крыла K (а, б), сместителя (А, Δ) и мощность зоны сместителя (BB').

В соответствии с заданным сечением h находится величина заложения горизонталей (рис. 120, б) и изображаются горизонтальными 200 и 100 крыло K и сместитель C , а также линия скрещения S . Положение искомого крыла K' установлено вертикальной скважиной. Рассмотрим два варианта. В I варианте отметка точки пересечения скважины D с пластом пусть будет равна $z_D = -55$, во II варианте — $z_D = 322$.

При допущении параллельности искомого крыла известному крылу пласта и при указанных отметках z_D крыло K' займет соответственно положения I и II. Построив для них горизонтали 200 и 100 крыла K' , найдем два положения линии скрещения S' . Расстояния по перпендикуляру между ними и линией скрещения S дадут соответственно два направления условного относительного перемещения R_y висячего крыла в плоскости

сместителя. Положение I дает диагональный взброс с перекрытием, а положение II — диагональный сброс с растяжкой.

В первом случае вскрывающая смещенное крыло горная выработка $B'E_1$ должна в данных условиях задаваться горизонтально вкrest простирации крыльев. Во втором случае —

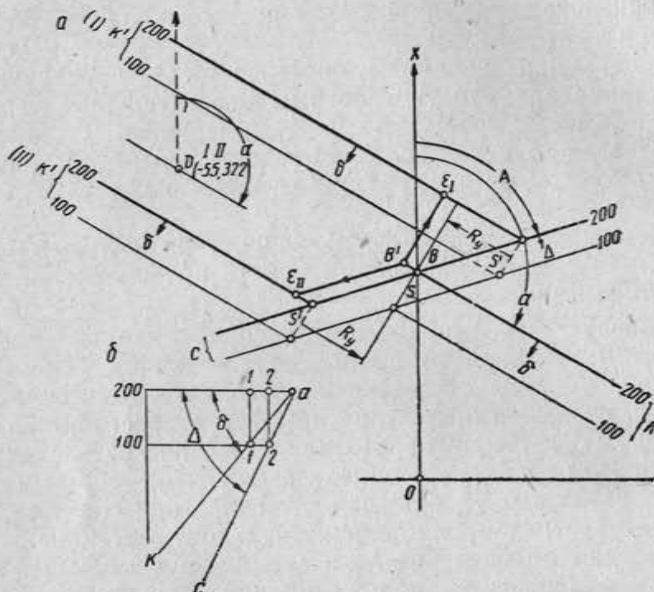


Рис. 120. Определение условного относительного перемещения по данным разведки положения искомого крыла с поверхности

горизонтальная горная выработка $B'E_{II}$ задается параллельно линии простирания смесятеля в некотором удалении от последнего в связи с необходимостью проведения выработки в ненарушенных породах.

Определение относительного перемещения по соответственным точкам на крыльях смещения

По линейным элементам. Соответственные точки крыльев должны лежать в плоскости смесятеля, т. е. они должны принадлежать линиям пересечения пласта со смесятелем.

Для определения относительного перемещения R должно быть известно положение обоих крыльев и на них — положение линейных элементов, позволяющих установить соответственные точки.

Рассматриваемый способ используется для геологических выводов, но в ряде случаев он может быть применен и при решении горнотехнических задач на нарушенном участке.

Пусть антиклинальная складка поперечным смещением разбита на два блока — I и II (рис. 121). Первый из них расположен в лежачем боку смесятеля C, второй — в висячем. Причем

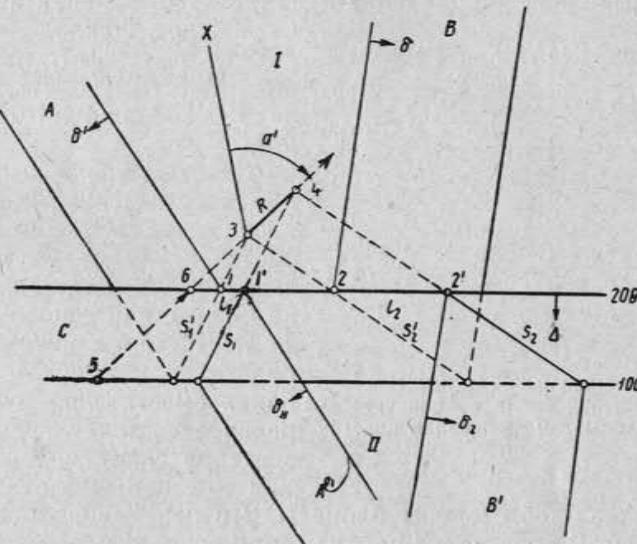


Рис. 121. Определение относительного перемещения блока складки по линиям скрещения

положение блока I и элементы залегания крыльев A и B складки известны по горным работам. Элементы залегания смесятеля C установлены в горных выработках в точках 1 и 2.

Положение блока II определено с поверхности разведочными скважинами, а элементы залегания крыльев A' и B' складки в этом блоке приняты одинаковыми с элементами залегания соответственных крыльев складки в лежачем блоке I.

По исходным данным крылья складки в обоих блоках и смесятель изображены на рис. 121 горизонтальми 200 и 100 и построены линии пересечения $S_1, S'_1; S_2, S'_2$ крыльев складки со смесятелем. Как следует из рис. 121, в результате относительного перемещения блока II по смесятелю C на крыльях складки получился различный видимый эффект. Смещение на левом крыле складки по условному относительному перемещению представлено остроугольным диагональным сбросом с растяжкой блоков A и A' по горизонтали смесятеля на величину

ну l_1 . Смещение на правом крыле складки по тому же признаку представлено тупоугольным диагональным взбросом с перекрытием блоков B и B' по горизонтали сместителя на величину l_2 .

Разные формы видимых смещений на крыльях складки обуславливают различные подходы к вскрытию смещенного блока пласта.

Оптимальное направление и длина вскрывающей выработки

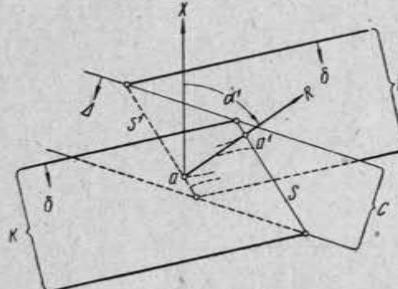


Рис. 122. Определение относительного перемещения блока по контурным линиям размыва и замещения пласта

ка 4 же — со стороны блока II . До перемещения эти точки совпадали. В результате перемещения точка 4 переместилась по плоскости сместителя относительно точки 3 в направлении α' на величину отрезка R .

Следовательно, по истинному относительному перемещению рассматриваемый тектонический разрыв складки представляет собой тип диагонального взброса, фиксируемого в плоскости C отрезком 5—6.

Для установления соответственных точек могут быть использованы контурные линии размыва и замещения пласта.

На рис. 122 в горизонталях изображены крылья K , K' и сместитель C , а также линии их пересечения S и S' . На крыльях показаны контуры размыва и замещения пласта. Нетрудно видеть, что точки a и a' являются соответственными точками, которые до перемещения крыльев совпадали. Соединяющая их линия определяет в плоскости сместителя относительное перемещение R и его направление α' .

Точность определения соответствующих точек обуславливается четкостью контуров размыва и замещения пласта, а также точностью их построения.

По изменчивости показателя залежи или толщи пород. Способ предложен и опробован в Карагандинском бассейне

А. А. Трофимовым [II, 25]. В основу его положено представление о том, что показатели залежи или толщи пород, используемые при решении поставленной задачи, определяются главным образом условиями осадконакопления и углеобразования и в меньшей мере или совсем не зависят от разрывной тектоники.

Применительно к угольным месторождениям в качестве показателей для определения относительного перемещения могут быть использованы:

а) фациальные замещения угля внутри пласта породами и изменчивость мощности этих пород;

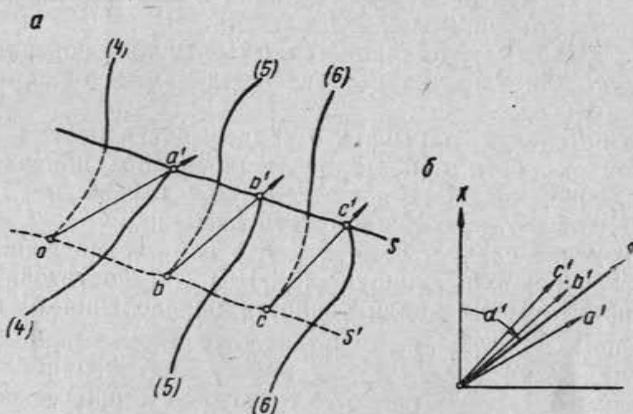


Рис. 123. Определение относительного перемещения по изменчивости показателя залежи:

а — изменчивость показателя залежи у сместителя, б — определение среднего значения

- изменчивость мощности залежи полезного ископаемого;
- изменчивость мощности пород между пластами или мощности пород между маркирующими горизонтами;
- изменение физико-химических свойств полезного ископаемого, например изменение содержания золы в угле.

При складчатой форме залегания угольных месторождений мощность залежи часто имеет наименьшее значение.

Более общим показателем является изменчивость содержания золы в угле.

Рассмотрим применительно к этому показателю определение относительного перемещения.

На рис. 123, а в плане изображен сместитель линиями обреза пласта S и S' . В зоне сместителя со стороны висячего и лежачего крыльев построены изолинии содержания золы в угле, пересекающие линии обреза пласта в ряде точек.

До перемещения линия S совпадала с линией S' , а точки a', b', c' совпадали с точками a, b, c , т. е. точки a и a' , b и b' , c и c' — соответственные. Следовательно, направления $a-a'$, $b-b'$ и $c-c'$ фиксируют направление относительного перемещения на рассматриваемом участке. Среднее из них будет наиболее вероятным направлением a' относительного перемещения R . Оно может быть получено подсчетом или графическим построением. На рис. 123, б показано графическое определение среднего значения.

Из наблюдений, произведенных в Караганде А. А. Трофимовым, следует, что возможная ошибка в определении a' рассматриваемым способом может достигать $7-8^\circ$.

Таким образом, метод является объективным, обеспечивает необходимую для решения поставленных задач точность получаемого результата.

Однако не следует забывать о трудоемкости метода, его недостаточной точности при малой изменчивости показателя, а также ограниченной области применения — только для геологических выводов в отношении вопросов тектоники.

В заключение следует отметить, что все рассмотренные способы обеспечивают небольшую ($8-10^\circ$), но достаточную для решения практических задач точность определения a' или a_y . Рассмотренные способы не охватывают всех возможных приемов решения данной задачи, но они являются наиболее распространенными и дают представление о методике ее решения. Выбор способа нужно производить для каждого конкретного случая, учитывая естественную обстановку, характер решаемой задачи и необходимость получения надежного контроля.

Определение относительного перемещения требует внимательного наблюдения на нарушенном участке, объективной документации, тщательного анализа полученных данных и верных выводов. Успешное решение задачи содействует правильному ведению горных работ.

Указанные способы рассматривались применительно к пластовым месторождениям. Однако они могут оказаться полезными и на рудных месторождениях, разумеется, при учете особенностей этих месторождений.

§ 29. О характере наблюдавшихся в природе смещений

Выше смещения рассматривались применительно к одному пласту в условиях плоскостного залегания, т. е. выявляемые отношения имели в виду решение геометрических задач в одной точке.

В реальных природных условиях наблюдавшиеся при детальной разведке и разработке месторождений формы разрывных

структур сложнее и разнообразнее тех геометрических схем, которые были приведены выше.

Прежде всего смещение не ограничивается одним пластом, а захватывает некоторую толщу горных пород и связано всегда с геологической структурой высшего порядка.

Применительно к пластовым месторождениям следует иметь в виду связь разрывных структур со складчатостью.

В линейных складках деформации пород с разрывами приурочены как к осевым частям, так и к крыльям складок. Ориентировка разрывов относительно элементов симметрии складок бывает различной, но в общем укладывающейся в схемы, дающие представление об образовании разрывов.

На рис. 124 представлено в самом общем виде тектоническое строение Донбасса. Система линейных складок разных порядков вытянута с северо-запада на юго-восток. Наблюдаемые разрывы сведены по их ориентировке

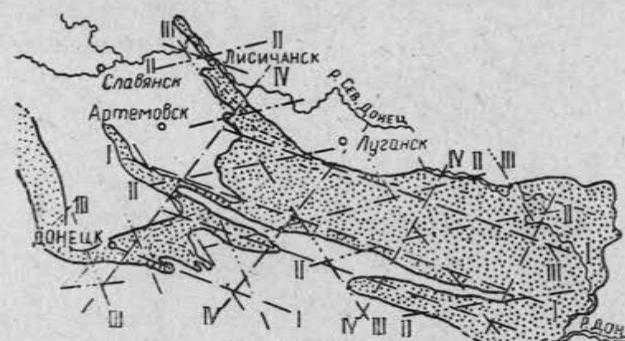


Рис. 124. Ориентировка основных систем разрывов относительно линейной складчатости, Донбасс

относительно осей складок в четыре системы — продольные (I), диагональные (II, III) и поперечные (IV).

Внутри каждой из указанных систем разрывов могут выделяться более мелкие подразделения по направлению и величине падения зон смещений. Выделенные системы приблизительно укладываются в известные схемы деформации материалов с разрывом или, во всяком случае, не вступают в принципиальное противоречие с ними.

На рис. 125 представлено схематическое строение Центрального района Донбасса — одной из крупных складчатых структур бассейна, части Главной антиклинали. На указанном участке Главная антиклиналь представляет собой крупную, близкую к симметричной антиклиналь складку.

Зона осевой части складки имеет продольный разрыв небольшой амплитуды, большого протяжения, круто и согласно падающей осевой поверхностью на юг. Кроме того, осевая зона складки при общем ее погружении на северо-запад осложнена мелкой поперечной складчатостью, которая, в свою очередь, сопровождается системой мелких разрывов.

Крылья Главной антиклинали разбиты серией преимущественно согласно падающих разрывов в форме диагональных согласно падающих взбросов

(надвигов), которые разрывают крылья антиклинали на ряд пластин (и в отдельных местах — клиньев), ступенчато надвинутых друг на друга и обуславливающих пластинчатое строение крыльев.

Подобное строение складки представляет собой результат приспособления ее к имевшим место тектоническим воздействиям и движениям. Как следует из рис. 125, из двух систем сопряженных разрывов преимущественное развитие на каждом крыле складки получила одна система. При этом взаимное положение крыльев (блоков) большинства смещений имеет форму тупоугольных, согласно падающих взбросов, при которой смещенное крыло вскрывается квершлажной выработкой, задаваемой вправо от направления штreta, встретившего смеcитель. В случае наличия второй системы разрывов (поле шахт «Чегары» и «Комсомолец») появляется схема смещений, при которой вскрывающая смещенное крыло квершлажная выработка должна задаваться влево от направления штreta, встретившего смеcитель.

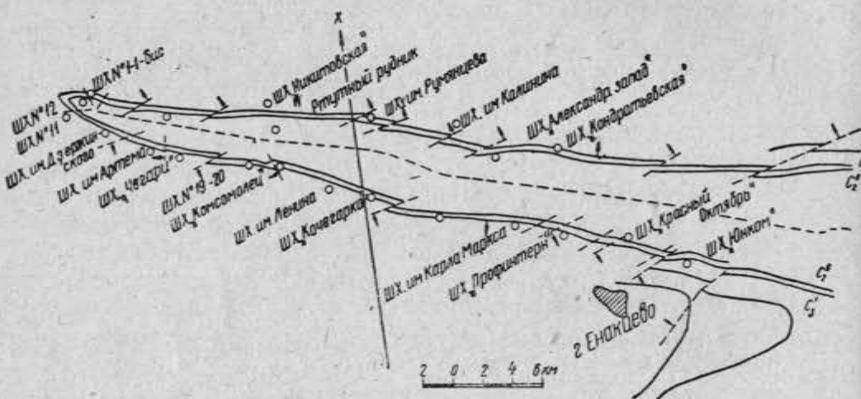


Рис. 125. Схема проявления разрывов в области Главной антиклинали, Донбасс

В главе V отмечалось, что внутри общей линейной структуры складок имеют место поперечные поднятия, создающие замкнутые формы линейных складок. В Донбассе фиксируется ряд подобных меридиональных поднятий, с которыми связано наличие поперечных разрывных структур, представленных в форме круто падающих взбросов и сбросов значительной амплитуды. Примером такой формы смещений может служить рис. 126, изображающий в плане (а) и на разрезе (б) нарушенный участок в районе Боково-Ровенецкого поднятия. Обращает на себя внимание то, что вскрытие пластов, расположенных в грабене, может быть осуществлено вертикальной выработкой.

В линейных асимметричных складках разрывы на крыльях падают согласно с осевой поверхностью. При этом, как показывают наблюдения (рис. 127), имеет место следующая геометрическая схема смещений. На пологих крыльях 1 складок преимущественно развиваются тупоугольные, согласно падающие взбросы. На крутых крыльях 2 асимметричных складок образуются остроугольные, часто несогласно падающие взбросы. Появление этих и других придает крыльям складки также пластинчатое строение. При развитии в отдельных местах обеих систем сопряженных разрывов наряду с пластиной могут появляться блоки в форме клина.

Ярким примером асимметричных линейных складок может служить строение Старо-Сучанского угольного месторождения, схематически представленное на рис. 128. Здесь юго-восточные крылья складок пологие, а северо-запад-

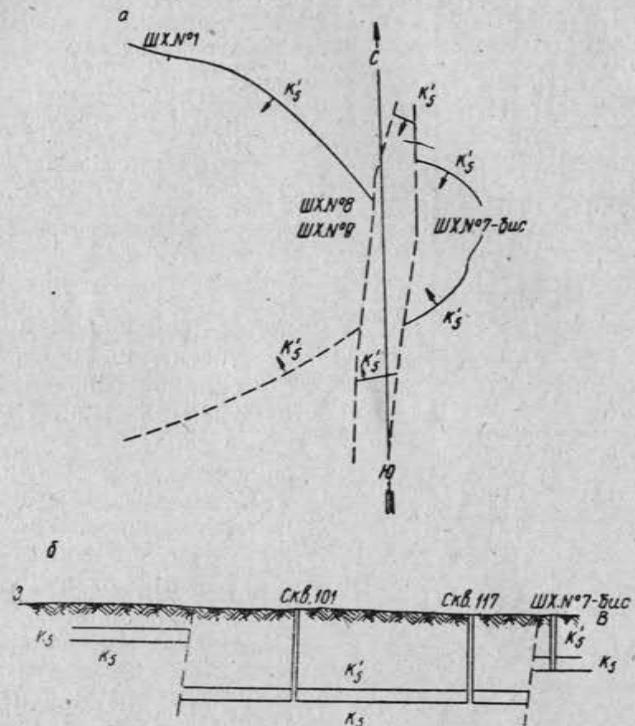


Рис. 126. Поперечные разрывы в районе Боково-Ровенецкого поднятия, Донбасс:
а — карта выходов пласта K_s' на поверхность, б — вертикальный разрез участка вкрест простирания разрывов

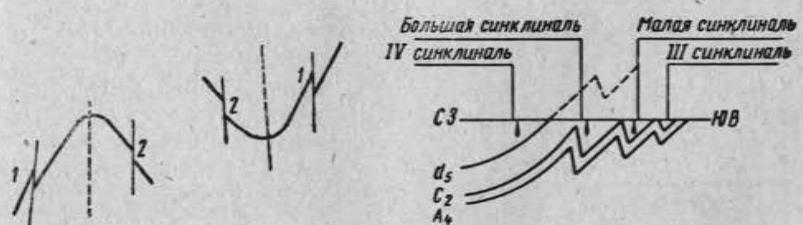


Рис. 127. Схема проявления разрывов на крыльях линейных асимметричных складок



Рис. 128. Схема складчатого строения Старо-Сучанского угольного месторождения

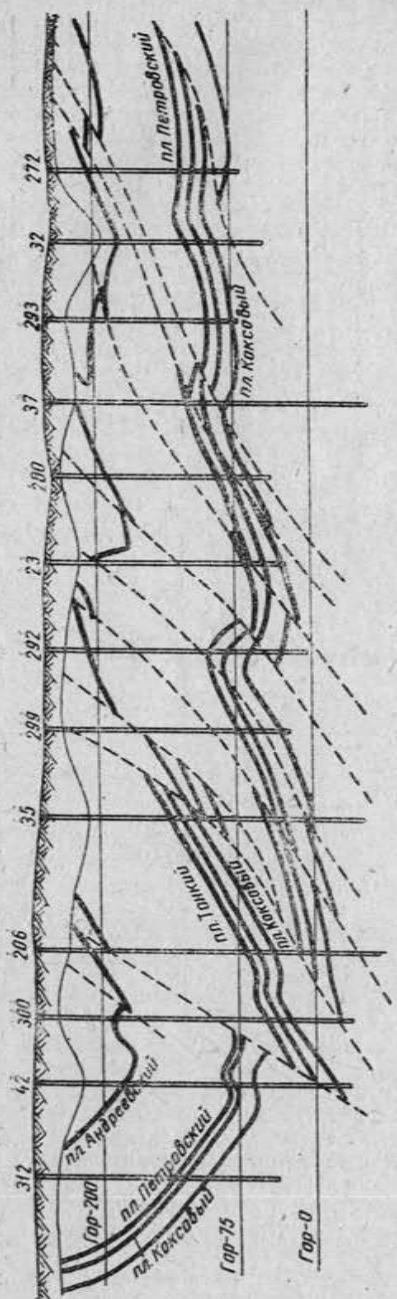


Рис. 129. Смещения на участке Акжерского месторождения в районе шахты № 9-15, Кузбасс

ные — имеют крутое падение. Осевые поверхности складок падают на северо-запад. Наблюдаемые разрывы падают согласно с осевой поверхностью.

Пример развития на пологом крыле асимметричной синклинальной складки тупоугольных, согласно падающих взбросов иллюстрирует рис. 129. Восточное (пологое) крыло складки серией разрывов разбито на узкие блоки в форме пластин.

Наблюдаемая волнистость вдоль линейных складок связана с развитием разрывных структур в складках. Если построить продольный вертикальный разрез складки, то можно увидеть, что складка разбивается на ряд блоков в форме пластин и клиньев, разнообразно перемещенных относительно друг друга.

В брахиформных складках наблюдается более сложное распределение разрывов.

Из приведенных примеров следует, что разрывы, образовавшиеся в результате воздействия тангенциальных усилий, преимущественно представлены надвигами и взбросами. Воздействие радиальных усилий создает в основном сбросовую тектонику. Ее особенности в геометрическом отношении рассмотрим на примерах разрывных структур некоторых буроугольных месторождений.

Сложным строением отдельных месторождений отличается Челябинский бассейн. Он представляет собой группу отдельных районов, отличающихся друг от друга по геологическому строению, угленасыщенности и качеству угля. Общая схема строения бассейна представлена на рис. 130, из которого следует, что протяженность отдельных районов колеблется в широких пределах.

Угленосные отложения бассейна занимают ограниченное пространство и отличаются резкой фациальной измеччивостью по простиранию и падению. Увязка пластов затруднительна даже при наличии горных выработок. Указанные особенности обусловливаются характером накопления триасово-юрских угленосных отложений.

В начале верхнего триаса на восточном склоне Урала происходили крупные палеографические изменения, вызванные глыбовыми движениями палеозойских массивов с образованием гор и узких межгорных долин, протягивающихся в меридиональном направлении.

Одну из таких впадин, выполненную триасово-юрскими отложениями занимает Челябинский бассейн. Ширина этой впадины на севере достигает 15 км, на юге — сужается до долей километра. Максимальная глубина палеозойского фундамента, по данным геофизической разведки, достигает 3 км.

По установившимся представлениям тектоника триасово-юрских отложений характеризуется наличием трех фаз.

В первую фазу наметилась основная структура угленосной толщи. Для угленосных отложений характерно линзовидное строение и резкое фациальное изменение отложений по простиранию и падению.

Во вторую фазу (середина — конец юры) — ликативные формы, образованные в первую фазу, под действием сжимающих усилий получают свое дальнейшее развитие. В третью фазу — молодых глыбовых поднятий (конец неогена) — определилась наблюдаемая сейчас разрывная структура. Рассмотрим особенности строения на примере Еманжелинского месторождения, представляющего собой узкую полосу угленосных отложений.

Структурные карты действующих шахтных полей района отражают результаты воздействия молодых вертикальных глыбовых движений палеозойского фундамента на угленосные отложения. Результат этого воздействия выражается в поднятии восточной части угленосных отложений, образования в ней крутого падения пластов с более крутым падением нижних пластов. Эти же движения привели к образованию густой сети поперечно-диагональных сбросов.

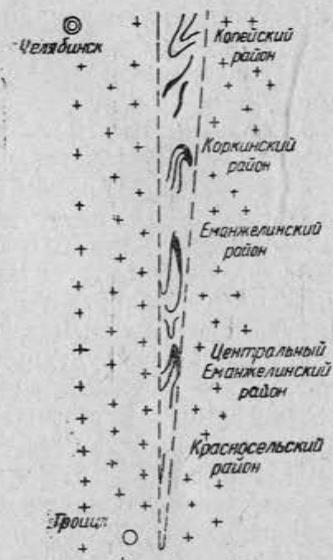


Рис. 130. Схематическая геологическая карта Челябинского бассейна

Из практики разработки нарушенных участков месторождения выявилось, что требуется систематическая геометризация форм залегания угольных пластов и тектонических разрывов. Без графики, полученной в результате геометризации, немыслимо планирование горных работ — вскрытия, подготовки и разработки отдельных пластов и участков, а тем более решения общешахтных технических задач.

В комплект указанной графики входят:

- 1) пластовые карты эксплуатационных горизонтов;
- 2) гипсометрические планы пластов и тектонических разрывов;
- 3) разрезы по разведочным линиям; на участках со сложным строением строятся по специально сгущенной сетке;
- 4) структурные планы мощных пластов.

Пластовые карты составляются в масштабе 1/2000; на сложных участках — 1/1000. Представляют собой горизонтальное сечение шахтного поля по эксплуатационному горизонту или карту выходов на горизонт пластов и тектонических разрывов. Составляются по данным разведочных и горных работ.

К началу эксплуатации шахты составляется карта выходов пластов под наносы и карта первого горизонта. При проектировании второго горизонта на основании данных по первому горизонту и выявленных закономерностей составляется пластовая карта проектируемого горизонта, используемая при решении всех основных вопросов проекта.

Гипсометрия пласта в отличие от общепринятого строится по кровле, а не по почве пласта. Это обстоятельство вызывается тем, что основной системой разработки мощных пластов является система наклонных слоев в нисходящем порядке. При этом для эксплуатации важна правильная подготовка и разработка первого слоя, а в этой связи требуется знание поверхности кровли пласта.

Структурные планы мощных пластов позволяют осуществлять правильную разбивку этих пластов на слои.

Сложность строения шахтных полей вызывает особенности в выполнении маркшейдерских съемочных работ при проведении подготовительных и очистных выработок. В частности, съемки необходимо производить часто в выработках любого назначения, так как для выполнения многочисленных построений постоянно требуются все три координаты используемых точек. Кроме того, изменчивое залегание пластов, многослойная выемка в определенном порядке и большое число встречаемых смещений требуют постоянного задания направлений и сбоек.

В условиях сильной нарушенности месторождения задача поисков смещенной части пласта приобретает первостепенное значение. Опыт ее решения выявил также ряд особенностей. На

месторождении нельзя рассчитывать на хорошее проявление признаков относительного перемещения блоков и использование установленных для ряда условий приемов. Задача решается с учетом всех наблюдений, выполненных как в забое, встретившем смещение, так и на прилегающих участках.

По совокупности наблюдений и сопоставлению установленных признаков высказывается предположение о направлении и величине перемещения. Это предположение проверяется графическими построениями встреченного смещения на плане и разрезе, которые должны основываться на достоверной документации, в свою очередь опирающейся на надежную привязку наблюдений к точкам маркшейдерской съемки. Суждение о величине амплитуды смещений устанавливается на основании данных, полученных о смещении на прилегающих участках, и иногда по мощности брекции трения в зоне сместителя. Следует отметить, что практикой работы установлена прямая связь между мощностью брекции трения и величиной относительного перемещения для аргиллитов и алевролитов. Отношение первой ко второй для указанных пород колеблется около 0,01. Для песчаников эта зависимость не обнаруживается.

Во многих случаях правильно рекомендуется вскрывающую горную выработку на смещенное крыло проводить за встреченным сместителем в ненарушенных породах. В рассматриваемых условиях, где развита густая сеть средних и мелких разрывов, а угольные пласты имеют значительную мощность, наоборот, после установления направления и величины перемещения следует проходить эти выработки перед сместителем. При проведении выработки за сместителем по направлению $A'-B'-D$ (рис. 131) последняя пройдет по вмещающим породам. При

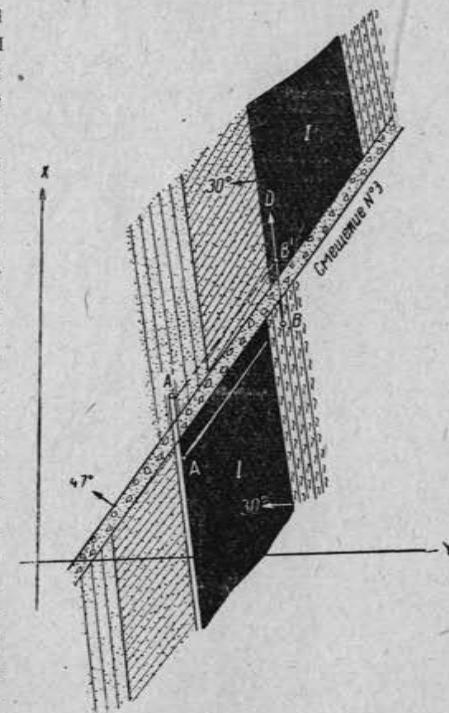


Рис. 131. Задание вскрывающей горной выработки на смещенное крыло

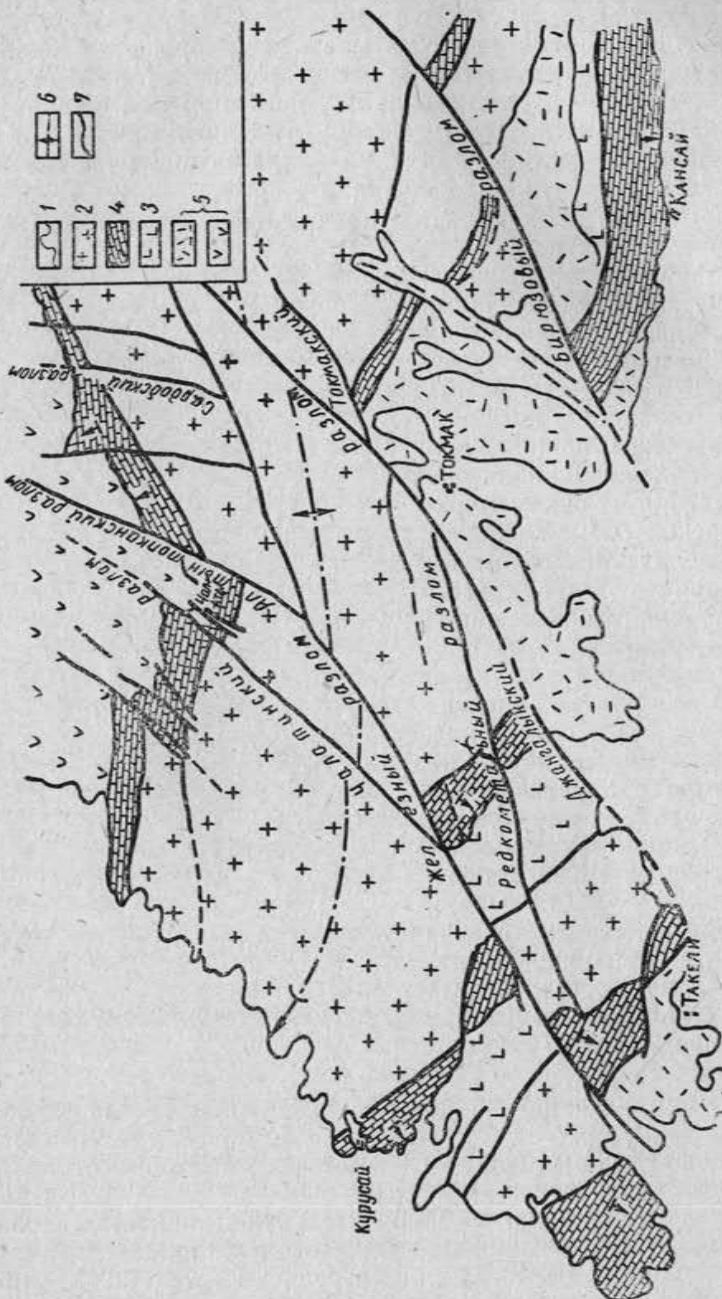


Рис. 132. Схема разрывных структур Юго-Западного Карамазара

проводении же вскрывающей выработки перед сместителем по направлению $A-B-D$ она в основном пройдет по углю, т. е. будет более экономичной.

Из приведенного рассмотрения следует, что здесь тектонические разрывы являются типичными представителями разрывов, наблюдавшихся в покровных структурах.

Способность разрывов ветвиться прослеживается и на крупных региональных структурах, захватывающих осадочные и изверженные комплексы. На рис. 132 представлена схема разрывных структур Юго-Западного Карамазара, из которой следует, что крупные разломы (Железный, Джанталыкский и Бирюзовый) сопровождаются серней оперяющих разломов.

Приведенная краткая характеристика наблюдаемых при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых смещений свидетельствует о сложности и разнообразии форм, в которых они выступают в природе.

Однако выявленные на более простых структурах пластовых месторождений геометрические схемы смещений и схемы решения возникающих при разведке и разработке нарушенных участков задач могут быть методически использованы и в более сложных условиях.

Глава VIII

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНОГО МАССИВА

§ 30. Характеристики и группировки трещин

Считая расчлененность пород трещинами одним из важнейших свойств массива, М. М. Протодьяконов в книге «Давление горных пород», ч. I (Гостехиздат, 1930), писал: «... горные породы в массе своей отнюдь не представляют собой сплошных упругих тел, какие рассматриваются обыкновенно в курсе сопротивления материалов. Множество трещин от микроскопических до грандиозных разбивают всю толщу на отдельные куски, и даже там, где связь остается, она в значительной мере слабее, чем внутри самих кусков».

Решение ряда горногеологических задач нуждается в учете трещиноватости изучаемого массива, что дает возможность получить более полную его структурную характеристику и создает более верное представление о массиве как слоистой, трещиноватой среде с анизотропными механическими свойствами.

По степени проявления трещины делятся: на открытые, закрытые и скрытые. Открытые трещины характеризуются четко видимой полостью, свободной или заполненной обломочным материалом и осадками из растворов, циркулирующих в трещиноватой среде. В закрытых трещинах разрыв хорошо заметен невооруженным глазом, но стенки трещины сближены настолько, что полость не обнаруживается. Скрытые трещины не обнаруживаются при визуальных наблюдениях, а выявляются при отбитии образцов или при специальных исследованиях.

В расчленении массива на блоки кроме трещин разрыва, секущих породы по разным направлениям, принимают участие поверхности напластования и сланцеватости пород, являющиеся выраженными поверхностями ослабления.

Трещины, развитые в горных породах, можно классифицировать либо по условиям их образования, либо по ряду геометрических признаков. В первом случае классификация называется генетической, во втором — геометрической.

В более ранних генетических классификациях все трещины делились на две группы — эндогенные и экзогенные. Причины

образования первых связаны с процессами изменения пород во времени (диагенез, перекристаллизация, химические преобразования). Вторые — образуются в результате внешнего воздействия на породы.

Позднее начали выделять тектонические трещины и трещины иного, нетектонического происхождения. При этом каждая из указанных групп, в свою очередь, в зависимости от характера процессов, вызывающих образование трещин, разбивалась на более мелкие подразделения. Из имеющихся генетических классификаций более универсальной является классификация, предложенная В. В. Белоусовым [II, 3].

Эта классификация, несколько измененная для более удобного практического пользования ею, может быть представлена в следующем виде [II, 17]:

I. Нетектонические трещины:

- 1) первичные трещины; 2) трещины выветривания; 3) трещины оползней, обвалов и провалов; 4) трещины расширения пород при разгрузке; 5) искусственные трещины (при взрывах, ударах и т. д.).

II. Тектонические трещины:

- 1) трещины с разрывом сплошности пород; 2) кливаж.

Из нетектонических трещин основное значение имеют первичные, как повсеместно распространенные и определяющие строение горного массива. Появление тектонических трещин усложняет в отдельных местах первичную трещиноватость.

Первичные трещины развиваются в результате проявления внутренних сил в породах при их усыхании, уплотнении, изменениях объема и температуры и физико-химических превращениях.

Первичные трещины в осадочных породах возникают преимущественно в процессе диагенеза, т. е. в стадии превращения осадка в горную породу. Наиболее важными физическими изменениями при диагенезе являются потеря воды и уплотнение отложений путем уменьшения их влажности и пористости.

При повсеместном распространении первичных трещин в осадочных породах наиболее четко они выражены в областях с горизонтальным или слабо нарушенным залеганием. На участках, подвергшихся сильному тектоническому воздействию, первичные трещины в осадочных породах усложняются наложением тектонической трещиноватости. На рис. 133 показана схема первичной трещиноватости осадочных пород, осложненной наложенной трещиноватостью в зоне разрывов с перемещениями.

Первичные трещины не пересекают сколько-нибудь мощные толщи пород, а тесно связаны с отдельными литологически однородными слоями. Обычно они ограничиваются поверхно-

стями напластования. По отношению к слоистости могут располагаться различно, но преимущественно являются нормально-секущими трещинами отрыва. В совокупности ограничивают блоки (отдельности) в форме различных многогранников. В мергелях и глинах могут иногда давать сложный контур.

Строение поверхности стенок трещин зависит от состава пород. В глинистых породах — стенки гладкие, в песчаниках и конгломератах — грубые, шероховатые, с выступающими зернами и гальками; в известняках и доломитах поверхность стенок нередко бугристая.

Следы скольжения, как правило, отсутствуют.

Густота трещин зависит от мощности и состава пород. Так, например, в аргиллитах трещины гуще, чем в песчаниках. Диаграмма (рис. 134) характеризует зависи-

мость густоты нормально-секущих трещин в подмосковных каменноугольных известняках от мощности слоев, на которые известняки разбиваются поверхностями ослабления, параллельными напластованию. Густота трещины рассматривается отдельно для каждой системы, выделенной по одинаковой их ориентировке.

Первичные трещины в эфузивных породах развиваются под воздействием охлаждения. Уменьшение объема всегда вызывает появление растягивающих усилий, которые и являются непосредственной причиной образования трещин. По В. В. Белоусову, суммарная ширина трещин обуславливает сокращение, достигающее 4—5%.

В потоках лав, остывающих на поверхности Земли, быстрому охлаждению и образованию трещин способствует потеря большого количества летучих веществ. Вследствие неравномерности остыния лавы часто распадаются на присущие им формы отдельности (столбчатую, шаровую, плитчатую и др.).

К первичным трещинам в интрузивных породах относятся трещины, возникающие в стадии охлаждения интрузий, до окончательного их застывания. Следует иметь в виду, что на формирование первичных трещин оказывает механическое воздействие движение магмы.

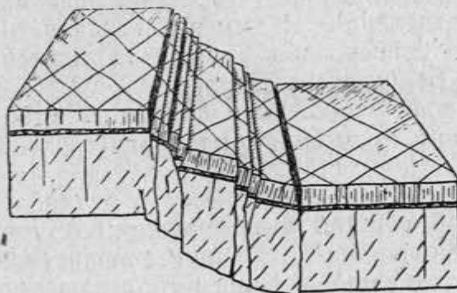


Рис. 133. Первичная трещиноватость осадочных пород, местами осложненная наложенной трещиноватостью (по А. С. Новиковой)

При охлаждении и кристаллизации магматических очагов объем породы уменьшается, что вызывает появление объемных сжимающих напряжений, равносильных растяжению породы внешними силами. Это растяжение компенсируется образованием трещин, размещение и частота которых определяются анизотропией, вызванной структурами течения. Выделяются по отношению к структурам течения поперечные, продольные и диагональные секущие трещины, а также поверхности ослабления, параллельные поверхности структуры течения.

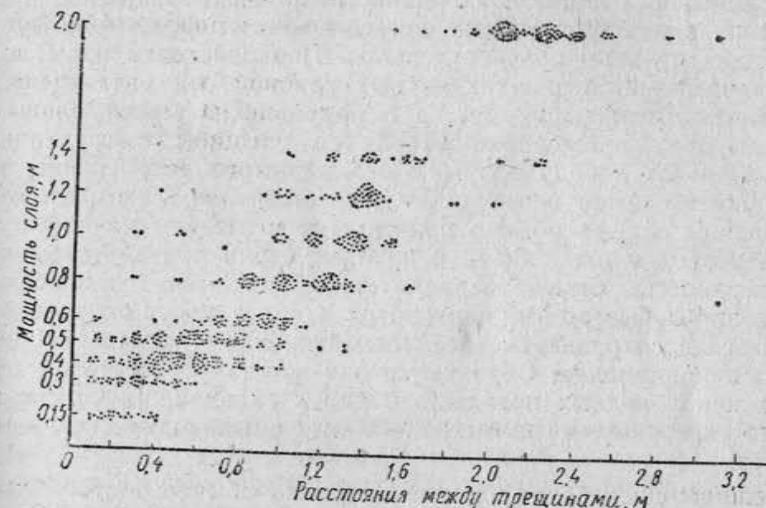


Рис. 134. Связь между частотой секущих трещин и мощностью слоя, на которые породы расчленены поверхностями ослабления, параллельными напластованию; подмосковные каменноугольные известняки (по А. С. Новиковой)

Трещины выветривания возникают вследствие того, что выветрелые породы теряют свою монолитность. В результате выветривания появляется сеть трещин, вызывающая распадение крупных блоков на отдельные куски. При этом полно используются все, вплоть до скрытых, первичные и тектонические трещины.

Степень разрушения пород и частота видимых трещин, вызванных выветриванием, с удалением от земной поверхности быстро уменьшаются.

Трещины оползней, обвалов и провалов и другие виды не-тектонических трещин обычно четко выражены и распространены локально. В общей характеристике трещиноватости массива имеют подчиненное значение.

Тектонические трещины развиваются в горных породах под влиянием тектонических сил, проявляющихся в земной коре в процессе ее развития. Они во многом отличаются от трещин нетектонических.

Различия выражаются прежде всего в том, что тектонические трещины обладают большей выдержанностью в ориентировке и развиваются более или менее одинаково в различных по составу породах. Они делятся на трещины с разрывом сплошности пород и кливаж.

Трещины с разрывом сплошности пород образуются при появлении в них нормальных и касательных напряжений, превышающих пределы прочности пород. Под действием нормальных напряжений, перпендикулярных главной оси растяжения, появляются трещины отрыва, а в направлении максимальных касательных напряжений развиваются трещины скальвания. Здесь имеются в виду разрывы без видимого перемещения и являющиеся обычно оперяющими по отношению к смесяителю.

Трещины отрыва обычно приоткрыты и лишены каких-либо следов перемещения. Гальки и крупные зерна при пересечении их поверхностью отрыва нередко «выдергиваются» из породы. Эти трещины быстро выклиниваются и далее могут снова продолжаться с сохранением своей ориентировки. Густота трещин отрыва неравномерна. Образуются они в зонах смесяителей, на сводах куполовидных поднятий, в ядрах складок, на участках крутого погружения шарниров и на смыкающих крыльях флексур.

Трещины скальвания в горных породах обычно плотно сжаты, имеют ровную и относительно гладкую поверхность стенок. Гальки и крупные зерна, попадающие в плоскость разрыва, срезаются, а не выдергиваются из своих гнезд. Трещины скальвания сохраняют свою ориентировку, обладают значительной протяженностью и сравнительно выдержанной густотой. Широко распространены на участках, нарушенных взбросами и сдвигами, являясь их оперяющими разрывами.

Кливажем называется способность горных пород делиться по параллельным или почти параллельным поверхностям на тонкие пластинки. Это свойство пород в механическом смысле выражается в образовании поверхностей скольжения, по которым частицы смещаются относительно друг друга в процессе пластической деформации. Кливаж не нарушает сплошности пород, что отличает его от рассмотренных выше тектонических трещин. Место образования кливажа соответствует последней стадии развития пластической деформации, характеризующейся потерей прочности перед разрывом. В зоне выветривания кливаж имеет вид открытых или закрытых частых параллельных трещин с ровными поверхностями.

В породах, расположенных на глубине, кливаж имеет скрытое строение и может быть отмечен только по перемещению относительно резко выраженных границ. Кливаж широко развит в деформированных породах, особенно в породах, собранных в складки.

Различают кливаж, связанный со складчатостью, и приразрывный. Относительно слоистости пород выделяют кливаж полойный и секущий. Параллельный (главный, по В. В. Белоусову) секущий кливаж в складках развивается параллельно осевым поверхностям складок (рис. 135). Определенные отноше-

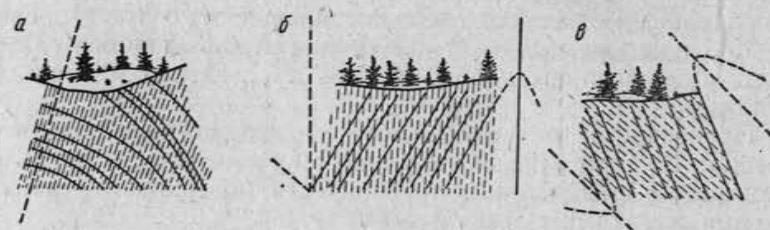


Рис. 135. Соотношение кливажа, слоистости и осевых поверхностей складок (по А. Е. Михайлову)

ния кливажа к слоистости пород и осевой поверхности складки могут использоваться при характеристике складчатых структур. В плане кливаж совпадает с простираем пород на крыльях складок либо расположен под острым углом. В замках складок как в плане, так и в разрезе он располагается под прямым углом к слоистости. Наклон слоистости на поверхности кливажа указывает на направление погружения шарнира складки. Приразрывный кливаж, развивающийся на крыльях смещения параллельно смесяителю, позволяет определять ориентировку последнего. Известно широкое использование кливажа угольных пластов при отбойке угля в очистных забоях.

В основу геометрической классификации трещин положена их ориентировка относительно поверхностей напластования. По отношению трещин к напластованию и простиранию пласта можно разделить их на:

- 1) продольные, поперечные и диагональные нормальноsekущие;
- 2) продольные, поперечные и диагональные кососекущие;
- 3) слоевые, или пластовые, совпадающие с поверхностями ослабления, параллельными напластованию.

К нормальноsekущим относятся те, которые с поверхностью напластования образуют угол не менее 70° . Остальные будут относиться к группе кососекущих.

При установлении предельного угла для нормальносекущих трещин, равного 70° , основанием служат следующие соображения. Предельный угол между направлением нормального напряжения и трещиной, при котором трещина как поверхность ослабления оказывает влияние на устойчивость породы при данном напряженном состоянии, равен $90^\circ - \rho_i$, где ρ_i — угол трения по трещине. Испытания для ряда осадочных пород дают значения ρ_i , близкие к 20° , т. е. $90^\circ - \rho_i$ будет около 70° .

Отнесение трещин к продольным, поперечным или диагональным определяется углом, образованным линией простирации пласта и линией пересечения пласта и трещины. При этом к продольным относятся трещины, дающие этот угол в пределах $0-20^\circ$, к поперечным — $70-90^\circ$ и диагональным — $20-70^\circ$. Кососекущие трещины удобно делить на согласные и несогласные падающие.

Практическое значение имеет характеристика поверхности трещин. По топографическому признаку поверхности могут быть плоскими и волнистыми; по гладкости поверхности — шероховатыми, гладкими и зеркальными.

§ 31. Геометрические показатели трещиноватости.

Производство наблюдений

Для наиболее полной структурной характеристики и учета влияния трещиноватости горного массива при решении отдельных технических задач имеют значение следующие геометрические показатели трещиноватости — ориентировка, размеры и частота трещин. Первый из них определяется угловыми величинами — простиранием A и углом падения Δ трещин и позволяет выделять системы трещин и оценивать для заданных условий нормальные и касательные напряжения на поверхностях ослабления.

Размеры и частоту трещин можно характеризовать следующими линейными величинами — протяженностью t трещины по нормали к напластованию и расстоянием t по нормали между двумя соседними трещинами одной и той же системы (рис. 136).

В большинстве случаев указанные линейные величины выражаются долями метра и устанавливаются в горных выработках — в обнажениях забоев и стенок выработок.

При наблюдении трещиноватости одновременно производят измерения ориентировки и частоты трещин.

Трещина является элементарным структурным звеном в общей совокупности поверхностей ослабления горного массива. Поверхность ослабления представляет собой чередование трещин, по которым наблюдения показывают, что трещины в сечениях и в плоскости напластования имеют ступенчатое распо-

ложение, образуя так называемые межтрещинные участки. Последние имеют разные формы. Схематическая характеристика их дана на рис. 136, где межтрещинные участки отмечены кружками. В случаях (а) и (б) сплошность их нарушена, так как трещины ограничиваются контактами слоев,

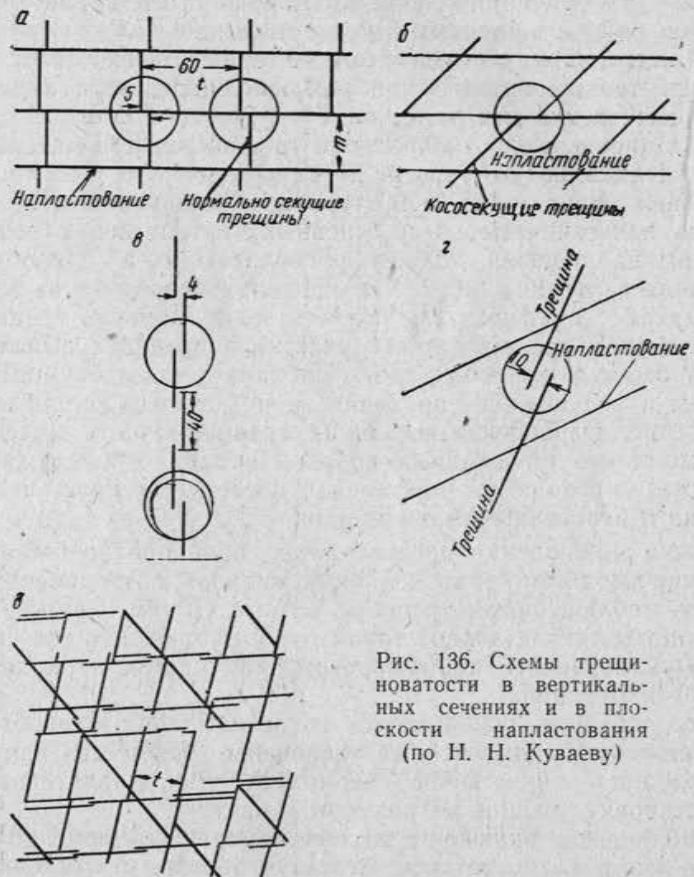


Рис. 136. Схемы трещиноватости в вертикальных сечениях и в плоскости напластования (по Н. Н. Кубаеву)

или, иначе, ориентированными трещинами. В случаях же (в) и (г) сплошность межтрещинных участков не нарушена, потому что трещины прерываются в промежутках между контактами слоев или, иначе, ориентированных трещин.

Наблюдения показывают, что если в осадочных породах средние величины t и t выражаются десятками сантиметров, то расстояния между соседними трещинами в районе межтрещинных участков выражаются средними величинами в пределах первого десятка сантиметров.

Характер и размер межтрещинных участков оказывают влияние на величину сопротивления пород в направлении поверхности ослабления.

Поверхность ослабления представляет собой чередование трещин, по которым не существует значительных механических связей, и межтрещинных участков, прочностные характеристики которых близки к таковым в куске породы.

Поэтому наряду с измерениями ориентировки и линейных величин трещиноватости при наблюдениях дается характеристика межтрещинных участков.

Для производства наблюдений трещиноватости массива сначала устанавливают участки и внутри их точки наблюдения. Учитывая зависимость ориентировки трещиноватости от элементов залегания пород и основных тектонических разрывов, участок наблюдения должен располагаться в однообразных условиях залегания пород и в пределах одного блока крупной разрывной структуры. Для получения объективной средней характеристики трещиноватости участка в пределах выделенного блока берется несколько точек наблюдения по секущим выработкам и выработкам, проходимым по залежи. Наблюдениями в секущих выработках изучается трещиноватость массива на всю мощность обнаженных пород. По наблюдениям же в выработках, проходимых по залежи, исследуется трещиноватость залежи и непосредственной кровли.

Точки наблюдения представляют собой обнажения в забое и стенке выработки равновеликих площадей, позволяющих охватывать наблюдениями трещины разных систем. Сечение выработок позволяет в каждой такой точке наблюдения производить 15—20 измерений. Таким образом, на участок приходится до 60—80 измерений.

Исследования показывают, что в условиях однообразного залегания пород дальнейшее увеличение количества измерений не изменяет существенно средних величин, характеризующих ориентировку трещин, их размеры и частоту.

Наблюдения включают в себя измерения: элементов залегания пород сланцеватости, структур течения и тектонических разрывов, элементов залегания трещин, размеров и частоты трещин. Кроме того, дается характеристика вида и размеров межтрещинных участков, описание поверхности минерализации и обводненности трещин.

Измерения азимута простирания A и угла падения Δ трещин производятся горным компасом. Отсчеты производятся с точностью до градуса. Запись средних значений из ряда измерений близких по ориентировке трещин не допускается. Все измерения должны относиться к соответствующим трещинам и вноситься в журнал. В начале и конце наблюдений производ-

дится определение величины магнитного склонения на стороне с известным из съемок дирекционным углом для приведения измеренных магнитных азимутов к дирекционным углам. Это приведение, как и при необходимости перехода от азимута падения к простиранию трещин, выполняется для окончательных средних значений величин в конце обработки результатов наблюдений. Ввиду большого числа измерений элементов залегания трещин следует избегать косвенных способов их определения.

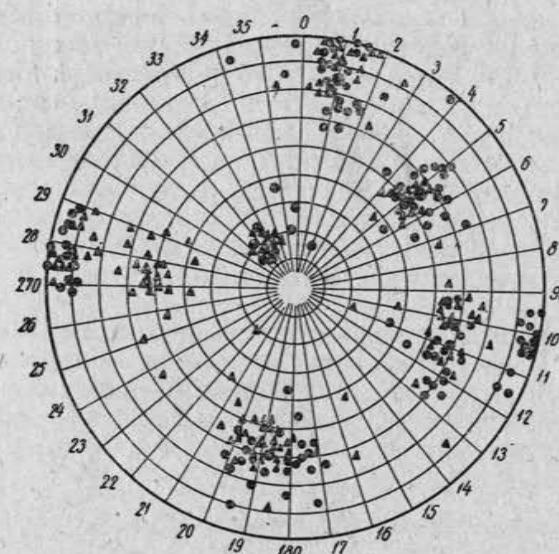


Рис. 137. Ориентировка трещиноватости в углях и аргиллитах Краснобродского разреза в Кузбассе (по Н. Н. Куваеву)

Измерение линейных величин m и t (и в отдельных случаях протяженности трещины в плоскости напластования) производится с помощью рулетки, линейки или сантиметровой шкалы, нанесенной на рукоятку геологического молотка. Точность отсчета производится до сантиметра, а в отдельных случаях при измерении значительной протяженности трещин отсчет делается с точностью до дециметра. Частота трещин при наблюдениях определяется непосредственным измерением величин m и t . В дальнейшем при характеристике трещиноватости пользуются числом трещин, приходящихся на 1 пог. м расстояния по перпендикуляру к трещинам одной и той же системы. Это число иногда называется модулем трещиноватости. Пере-

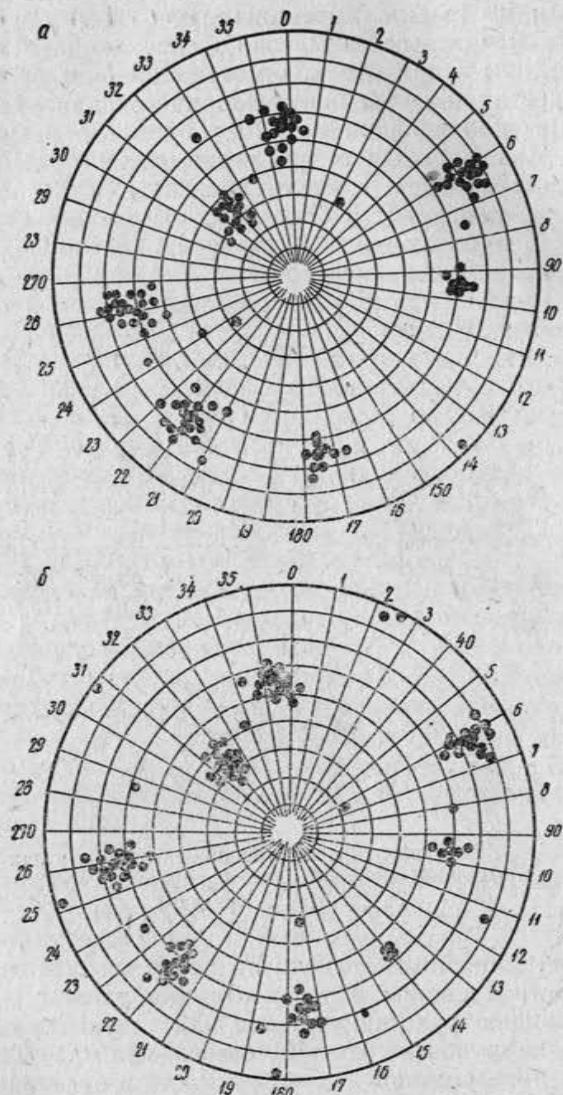


Рис. 138. Ориентировка трещиноватости угля и пород на разных глубинах. Шахта «Пионерка», Кузбасс:

а — на глубине 23 м от поверхности, б — на глубине 270 м от поверхности (по Н. Н. Куваеву)

ход к последнему для каждой системы трещин производится от среднего расстояния между соседними трещинами. При этом m характеризует расстояние между поверхностями ослабления, параллельными напластованию, а t — расстояние между секущими трещинами той или иной системы.

При характеристике межтрещинных участков указываются их вид и расстояние между соседними трещинами в районе этого участка.

Описание поверхности стенок трещин, минерализации и обводнения трещинных зон помещается в примечаниях журнала наблюдений. Каждая точка наблюдения нумеруется и привязывается к определенным контурам выработок или к точкам маркшейдерской съемки.

Наблюдения показывают, что средняя ориентировка трещин в разных породах и на разных глубинах при одинаковых условиях залегания пород сравнительно хорошо выдерживается. В качестве иллюстрации сохранности ориентировки трещин в породах разного состава может служить рис. 137, представляющий собой точечную диаграмму трещиноватости аргиллитов и угля (треугольники) на Краснобродском разрезе Кузбасса.

Рис. 138 иллюстрирует сохранность ориентировки трещиноватости массива на разных глубинах. На рис. 138, а изображена точечная диаграмма трещиноватости угля и пород шахты «Пионерка» (Кузбасс) на глубине 23 м от поверхности. На рис. 138, б — то же, на глубине 270 м от поверхности.

§ 32. Обработка наблюдений и документация трещиноватости

При изучении трещиноватости накапливается большое количество измерений. Обработку и обобщение этих наблюдений удобно производить путем составления специальных графиков — диаграмм, карт и решеток трещиноватости.

Диаграммы трещиноватости

Результат графической обработки измерений ориентировки трещин в пределах участка наблюдений называется диаграммой трещиноватости. В разное время предложено много способов их построения. Приведем некоторые из этих способов, применяемых для решения горногеометрических задач в условиях разрывных структур.

Решение горногеометрических задач предъявляет к диаграммам трещиноватости два требования: 1) выделение систем наблюдаемых трещин по их ориентировке в пространстве и

2) определение максимумов или средних элементов залегания трещин внутри каждой выделенной системы.

В условиях горизонтального и полого залегания пластов секущие трещины в подавляющем количестве являются отвесными или крутопадающими. Следовательно, основным показателем, по которому производится выделение систем трещин, является азимут их простирации A . Используя этот показатель, диаграмму трещиноватости строят в виде диаграммы-розы (рис. 139).

Для построения диаграммы-розы все измерения азимутов простирации трещин по их значениям делятся на классы с некоторым угловым интервалом, например равным 10° . В пределах каждого интервала находится среднее значение азимута, в соответствии с которым проводится отрезок, по длине равный в принятом масштабе числу замеров,

произведенных в интервале. Масштаб (например, 5 замеров равны 1 см) выбирается исходя из общего количества замеров и требуемой крупности диаграммы-розы. Затем концы направлений во всех интервалах последовательно соединяют прямыми, в результате чего получают лепестки диаграммы-розы. Как следует из рис. 139, на диаграмме выделяются две системы трещин. Между ними намечается угол, свободный от трещин. С точки зрения безопасного ведения очистных горных работ область этого угла является наиболее благоприятной. Видимо, биссектриса указанного угла при данных условиях залегания пород будет фиксировать оптимальное направление очистного забоя. Таково одно из практических приложений диаграммы-розы трещиноватости. В этом случае ее часто называют паспортом трещиноватости пород кровли очистных забоев, который нормально должен составляться перед проходкой разрезной печи и во всех случаях проявления завала очистного забоя по условиям состояния пород кровли.

Диаграмма-роза является круговой диаграммой трещиноватости. Иногда для рассматриваемых условий строят прямо-

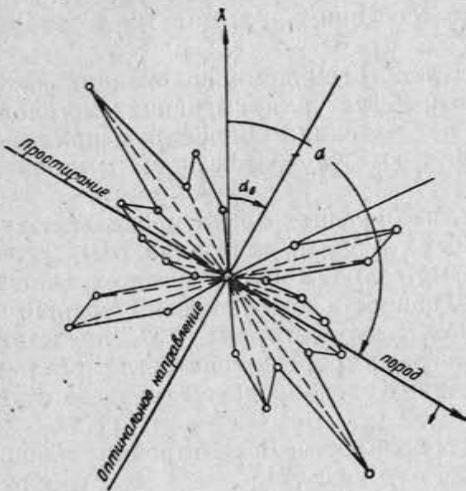


Рис. 139. Диаграмма-роза трещиноватости пород кровли угольного пласта, Донбасс

угольную диаграмму (рис. 140). Она проста в построении. По оси абсцисс откладывают измеренные азимуты, по оси ординат — число замеров в интервале. Однако диаграмма-роза дает более естественное восприятие ориентировки систем трещин, чем прямоугольная диаграмма.

При наклонном и крутом залегании пород ориентировка секущих трещин характеризуется простирианием A и углом падения Δ трещин. В этих условиях каждую трещину по ее элементам залегания удобно изображать в виде точки. Построенная таким образом диаграмма трещиноватости называется точечной. Точечные диаграммы трещиноватости по способу их построения могут быть круговыми и прямоугольными.

В зависимости от характера использования круговой точечной диаграммы выбирается сетка для ее построения. Известны сетки равнопромежуточной, равноугольной и равновеликой азимутальных проекций.

Для выделения систем трещин по их ориентировке и определения средних значений ориентировки каждой системы удобно пользоваться условной равнопромежуточной сеткой с заданным радиусом R и угловым интервалом. Так как в действительности преобладают трещины с наклонным и кривым падением, то удобнее брать 0° падения трещин в центре сетки, а 90° на периферии (рис. 141). При преобладании полого падающих трещин оцифровка кругов высот сетки должна быть обратной. Оцифровка азимутов на сетке берется в направлении часовой стрелки. Угловой интервал на рис. 141 взят равным 10° . Радиус в зависимости от числа измерений и удобства работы на сетке лучше брать равным 4,5 или 9 см.

Пусть при наблюдениях трещиноватости измерялись азимуты падения и углы падения трещин. Каждая трещина по своим элементам залегания изобразится на сетке точкой. Так, например, трещина с азимутом падения, равным 140° , и углом падения 60° на сетке изобразится точкой a . Построив таким образом все трещины, мы получим круговую точечную диаграмму трещиноватости. На ней четко выделяются три (I , II ,

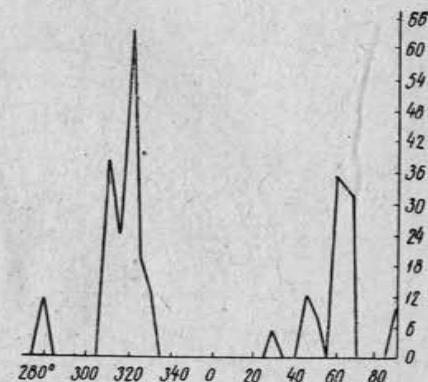


Рис. 140. Прямоугольная диаграмма трещиноватости

III) скопления точек, включающих большинство наблюдений. Указанные скопления фиксируют системы трещин по их ориентировке и характеризуют трещиноватость массива на участке наблюдения, в данном случае на участке шахт № 8-а и № 9 «Подземгаз» в Центральном районе Донбасса.

Границы выделяемых систем трещин по их ориентировке определяются естественным скоплением точек на диаграмме,

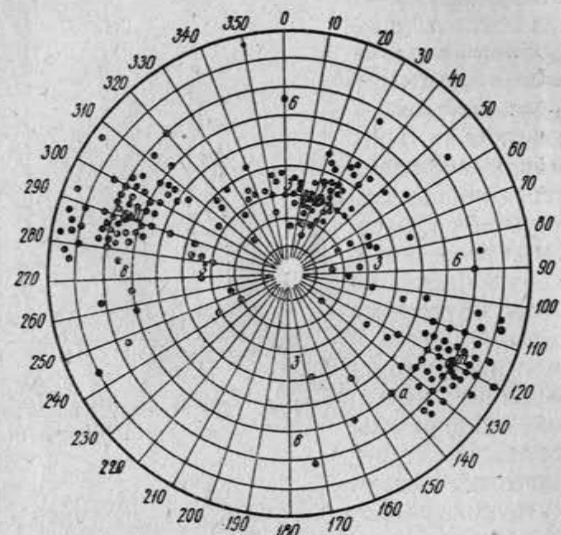


Рис. 141. Круговая точечная диаграмма трещиноватости. Шахты № 8-а и № 9 «Подземгаз», Донбасс

практически необходимой дробностью разделения трещин на группы. На рис. 141 эти границы по азимутам и углам падения трещин не выходят за пределы 30° .

Далее для каждой выделенной системы трещин по диаграмме находят средние элементы залегания.

Исходя из характера распределения точек внутри выделенных скоплений, среднее значение элементов залегания удобно находить как точку пересечения равноделящих линий (азимута и дуги круга высот), проведенных в границах выделенной системы трещин, т. е. обе линии в указанных границах делят число точек на равные части. Точки пересечения этих линий на диаграмме отмечены крупными зачерненными кружками. Поним на сетке отсчитывают средние значения азимута линии падения и угла падения. В средние значения азимутов вводят поправку за величину магнитного склонения и в необходимых

случаях вычисляют средний дирекционный угол простирания системы трещин.

Недостатком круговой точечной диаграммы трещиноватости является неравноточность построений в разных частях диаграммы. Точность построений на периферийных частях сетки выше, чем на внутренних и особенно центральных частях.

Для устранения отмеченного недостатка построение точечной диаграммы трещиноватости удобно вести в прямоугольных координатах. При этом по оси абсцисс откладывают азимутальные измерения A , а по оси ординат — измерения углов падения Δ трещин. На рис. 142 представлено построение прямоугольной точечной диаграммы трещиноватости. По естественным скоплениям точек выделены две (I , II) системы трещин. Для них методом равноделящих линий найдены точки, отмеченные зачерненным кружком, фиксирующие средние элементы залегания выделенных систем трещин.

При установлении угловых отношений между выделенными системами трещин, напластованием и основными тектоническими разрывами полезно пользоваться обобщенными точечными диаграммами, построенными по средним значениям ориентировки указанных элементов. На рис. 143 представлены обобщенные точечные диаграммы для участков наблюдения Главной антиклинали Донбасса, на которых элементы залегания плоскостей даны средними простирациями и углами падения. Угол падения изображен прямой линией. Расстояние от центра диаграммы до центра кружка при радиусе R диаграммы, приравненном 90° , выражает углы падения плоскостей, а направление этих отрезков от центра диаграммы к центрам кружков — соответствующие простирания плоскостей. Радиус R для обобщенных точечных диаграмм удобно брать равным 4,5 см.

Как следует из рис. 143, выделенные системы секущих трещин по отношению к напластованию пород являются как согласно-, так и несогласнопадающими при преимущественном развитии последних. По отношению к простирию пород

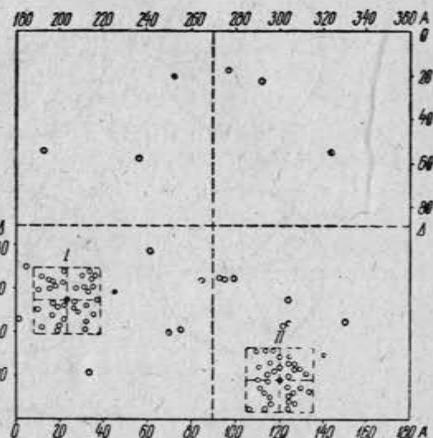


Рис. 142. Прямоугольная точечная диаграмма трещиноватости

системы секущих трещин являются поперечными и продольными при отнесении к тем и другим тяготеющим диагональным системам. Углы между плоскостями должны определяться с помощью сеток. Большинство трещин относится к нормальному-секущим, образующим с напластованием углы в 70–90°. Эта

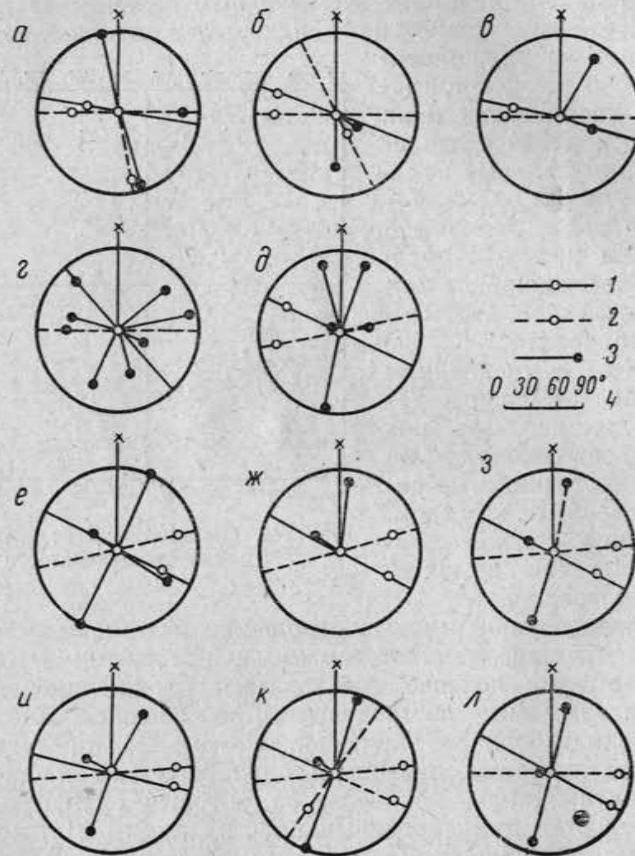


Рис. 143. Обобщенные точечные диаграммы для участков наблюдения Главной антиклинали Донбасса:
1 — залегание пород, 2 — залегание основных разрывов, 3 — залегание систем трещин, 4 — углы падения

особенность и редко наблюдалась притертость поверхностей стенок указывает на преобладание первичных трещин отрыва. Имеет место преобладание восточного падения трещин, что хорошо увязывается с общим погружением складки на северо-запад. Связь трещин с основными тектоническими разрывами остается более завуалированной, чем с элементами складки.

Таким образом, обобщенные точечные диаграммы дают возможность делать ряд практически важных выводов.

В случае необходимости обобщения данных по нескольким близким по геологическому строению участкам или месторождениям составляются сводные диаграммы трещиноватости, на которые наносятся все измерения ориентировки трещин. При этом число изображаемых трещин (точек) может достигать большой величины.

Иногда для обширных районов с целью получения общих выводов составляют синоптические диаграммы путем использования обобщенных диаграмм по отдельным участкам; при этом за точки синоптической диаграммы берут средние значения ориентировки систем трещин или центры максимумов частных диаграмм.

В ряде случаев при общей характеристике структуры месторождения ориентировку систем трещин рассматривают в плане относительно простирания и падения пород и основных тектонических разрывов.

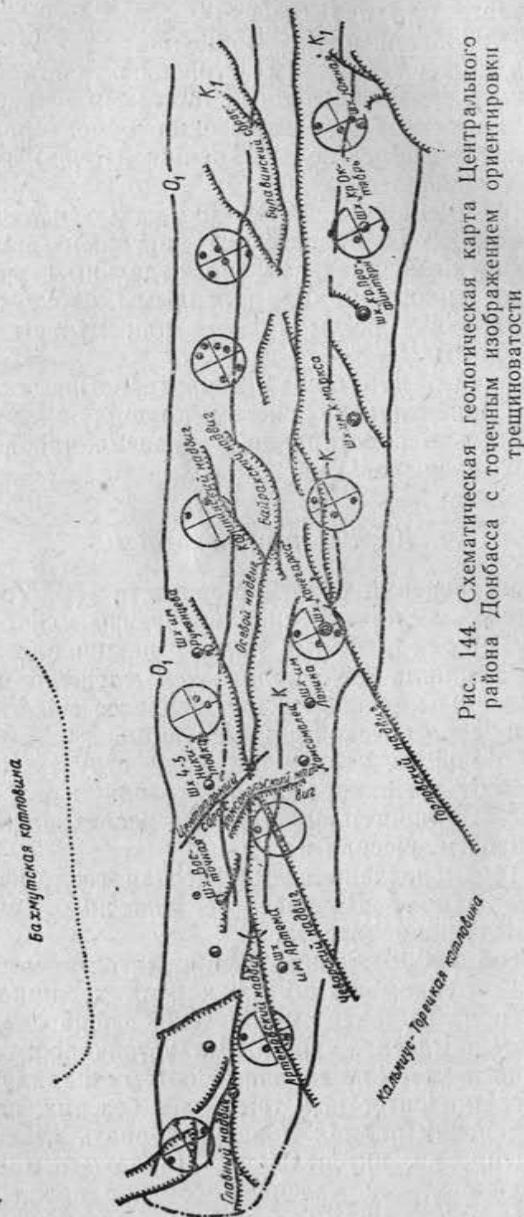
Карты трещиноватости

Обобщение сведений о трещиноватости горного массива по шахтному полю, месторождению, интрузиву или более обширному району дается в форме карты трещиноватости. Степень обобщения материала обусловливается масштабом карты. Последний может быть разным и определяется масштабами маркшейдерской и геологической документации.

Известно большое количество карт структурного анализа интрузивов, карт трещиноватости, составляемых в связи с геологическими и гидрогеологическими исследованиями, изучением устойчивости массива и т. д.

На рис. 144 приведена схематическая геологическая карта Центрального района Донбасса с точечным изображением ориентировки трещиноватости.

Этот способ изображения трещиноватости массива можно встретить на крупномасштабных картах трещиноватости, составляемых при решении технических вопросов, связанных с устойчивостью массива. Проблема устойчивости массива затрагивает многие горные задачи. Поэтому наряду с составлением карт трещиноватости, и тем более без них, целесообразно на маркшейдерских планах концентрировать сведения, касающиеся ориентировки, интенсивности (частоты) и других показателей трещиноватости массива, особенно пород кровли разрабатываемых пластов или залежей. При этом маркшейдерский план как основной технический документ на шахте будет содержать достоверные и важные для решения горнотехнических



задач сведения и в то же время служить базой для составления если это потребуется, специальных графиков — карт трещиноватости.

На рис. 144 условный знак ориентировки трещиноватости представляет собой уменьшенное изображение обобщенной точечной круговой диаграммы трещиноватости участка наблюдения при $R=9$ м. Здесь зачерненные кружки характеризуют средние элементы залегания выделенных систем трещин. Среднее простирание трещиноватости данной системы определяется углом между положительным направлением оси x и прямой, соединяющей центр условного знака с центром соответствующего зачерненного кружка; средний угол падения — длиной этой линии при масштабе 1 мм = 10° .

Не отвергая общепринятых способов изображения трещиноватости на картах и планах, для маркшейдерских планов следует рекомендовать точечный способ изображения ориентировки трещиноватости, как удобный во многих случаях дополнительный прием. Он позволяет при расчетах давать достаточную количественную характеристику ориентировки систем трещин на участке.

При необходимости изображения трещиноватости на карте и плане обычным способом в виде линий последние могут быть построены по данным точечного изображения. Сравнительно медленное изменение показателей трещиноватости в пределах той или иной геологической структуры подтверждает целесообразность применения на крупномасштабных планах и картах точечного способа характеристики трещиноватости.

Как отмечалось выше, вторым важным показателем трещиноватости является частота видимых (наблюдаемых) трещин. Видимые трещины являются плоскостями наибольшего ослабления пород. Выше отмечалось, что интенсивность трещиноватости количественно может характеризоваться величинами t и t . Так как в подавляющем числе случаев секущие трещины ограничиваются поверхностями ослабления, параллельными напластованию, то величина t одновременно характеризует мощность литологически однородных слоев.

Расслоение массива над выработанным пространством происходит по этим поверхностям ослабления. При определенных условиях вдоль них происходит движение блоков разрывной структуры. Поэтому величина t является необходимым показателем частоты поверхностей ослабления по нормали к напластованию.

Величина t количественно характеризует частоту секущих трещин.

Так как величины t и t подвержены колебаниям в некоторых пределах, то характеристику частоты трещиноватости

целесообразно осуществлять средними их значениями, полученными из ряда наблюдений по участку. При наблюдениях t и t' выражают в сантиметрах. При документации на маркшейдерских планах их лучше выражать в относительной форме — числом трещин, приходящихся на 1 м расстояния по нормали к трещинам в виде цифровой колонки $\begin{matrix} (3) \\ 1(3), 2(5), 3(4) \end{matrix}$, ко-

торая в данном случае дана для трех систем секущих трещин. Здесь в числителе — показатель частоты поверхностей ослабления, параллельных напластованию, а в знаменателе цифрами перед круглыми скобками обозначены выделенные системы секущих, в скобках — показатели частоты соответствующих систем трещин.

Полная характеристика трещиноватости на плане участка наблюдения включает знак ориентировки систем трещин и цифровую колонку — показатель частоты трещин. Не исключено использование в отдельных случаях для характеристики частоты трещиноватости метода изолиний.

Ориентировка и частота трещин позволяют судить о форме и размерах элементарного структурного блока массива, используемого при решении некоторых задач.

Решетки трещиноватости

При решении ряда задач требуется изобразить структуру массива в плане или на разрезах в соответствии с установленной ориентировкой и частотой трещин. Такого рода график называется решеткой трещиноватости. Его основное назначение — оценка выделенных систем трещин с точки зрения влияния их на условия работы или поведение массива.

В проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости решетка трещиноватости в соответствии с ориентировкой и частотой секущих трещин изобразится системами параллельных линий. Количество систем линий равно числу выделенных систем секущих трещин.

На разрезах изображаются параллельными линиями системы секущих трещин, попадающие в плоскость разреза, и поверхности ослабления, параллельные напластованию. При этом не находят своего отражения на разрезе системы секущих трещин, совпадающие с плоскостью разреза или параллельных ей.

Пусть в точке I известны элементы залегания пород (a, δ) и двух (I, II) систем секущих трещин — A_I, Δ_I и A_{II}, Δ_{II} (рис. 145), а также показатели густоты трещин. Примем условно отметку точки I равной величине сечения h горизонталей. Требуется построить в заданном масштабе решетку

трещиноватости в разрезе по простирианию пород. По углам падения систем секущих трещин (Δ_I и Δ_{II}) для заданного сечения h находят заложения L_I и L_{II} (рис. 145). Пользуясь ими, проводят горизонтали трещин с отметкой 0 . Далее по заложениям $1—2$ и $1—3$ (рис. 145, а) находят видимые углы падения (Δ'_I и Δ'_{II}) трещин на разрезе (рис. 145, б). По видимым углам падения и показателям частоты трещин вычерчивают решетку трещиноватости (рис. 145, в). При заданном направлении разреза поверхности ослабления, параллельные напластованию («пластовые» трещины), изображают горизонтальными линиями.

Из рис. 145, в следует, что влияние I и II систем секущих трещин в рабочем пространстве до очистного забоя на устойчивость пород кровли под действием их веса будет разным, так как совершенно разными будут нормальные и касательные напряжения в плоскостях трещин. Оценка их и направления движения пород кровли в рабочее пространство по плоскостям трещин позволит более объективно подойти к выбору направления отработки участка.

Аналогично строятся решетки трещиноватости по другим заданным направлениям.

На рис. 146 представлена в разрезе решетка трещиноватости борта висячего бока залежи. Из нее видно, что наиболее опасными поверхностями ослабления являются продольные нормальноsekущие и продольные кососекущие несогласнопадающие трещины при условии, если те и другие падают под

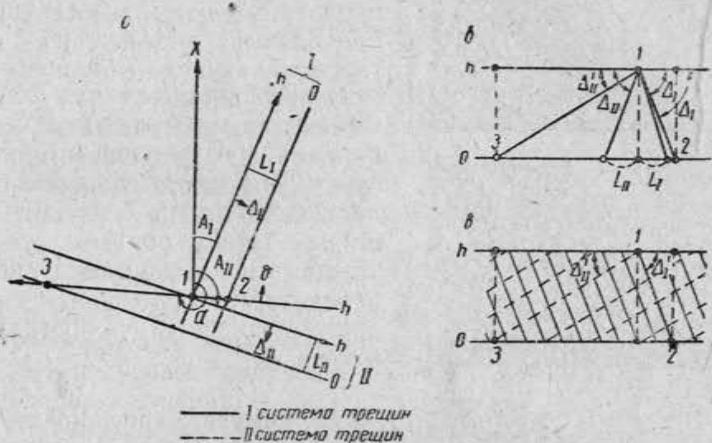


Рис. 145. Построение решетки трещиноватости в разрезе по простирианию пород

углом, меньшим угла откоса. Продольные кососекущие согласнопадающие трещины не окажут существенного влияния на устойчивость борта висячего бока.

Для борта лежачего бока залежи (рис. 146, б и в), заоткосенного под углом падения слоев (б) или положе-

нного (в), наибольшее влияние на устойчивость оказывают продольные кососекущие согласнопадающие системы, в то время как продольные нормальносекущие и продольные кососекущие несогласнопадающие не окажут существенного влияния.

На торцовых участках разреза влияние на устойчивость борта будут оказывать поперечные и диагональные кососекущие трещины. Таким образом, участие трещин в деформации бортов определяется положением систем трещин относительно поверхности откоса.

§ 33. Об учете трещиноватости массива при решении некоторых горных задач

Опыт использования результатов изучения трещиноватости массива для решения разнообразных горногеологических задач описан во многих работах и специальных курсах. Приведем несколько примеров, показывающих необходимость изучения трещиноватости и учета ее при решении некоторых горных задач.

Решение многих горнотехнических задач связано с проблемой устойчивости массива при разработке месторождений.

Одной из основных задач при оценке устойчивости бортов карьеров, сложенных трещиноватыми породами, является определение поверхностей механического ослабления, которые при некоторых условиях могут реализоваться в поверхности обрушения. Поверхность ослабления представляет чередование последовательно расположенных, приблизительно одинаково ориентированных трещин, по которым не существует значительных природных механических связей, и межтрещинных

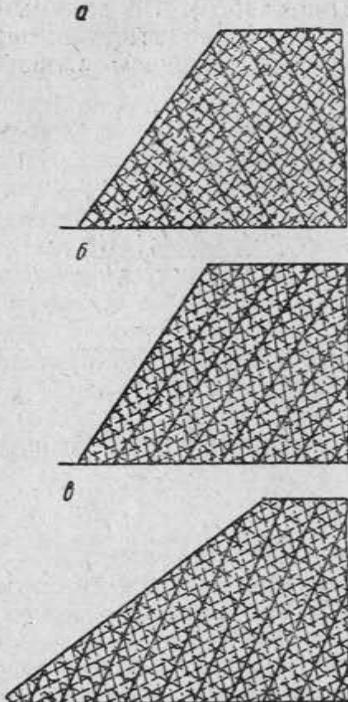


Рис. 146. Решетки трещиноватости бортов карьера (по Н. Н. Кубаеву)

участков, прочностные характеристики которых близки к прочностным характеристикам образца.

Известно, что несоответствие между сцеплением в образце и сцеплением в массиве вызывается структурными особенностями массива. Для перехода от первого ко второму необходимо знать величину структурного ослабления сцепления. Имея величины сцепления по натурным K_m и лабораторным K_k испытаниям, можно получить отношение

$$\frac{K_m}{K_k} = \lambda_i, \quad (\text{VIII}, 1)$$

которое в первом приближении будет характеризовать структурное ослабление сцепления массива в том или ином направлении. Это отношение называется коэффициентом структурного ослабления сцепления в массиве.

Зная λ_i и K_k , можно приближенно вычислить K_m :

$$K_m = \lambda_i K_k. \quad (\text{VIII}, 2)$$

Для трещиноватых пород угленосных отложений в районах, где производились исследования устойчивости бортов карьеров, ВНИМИ получены следующие значения величин структурного ослабления сцепления:

- а) по отдельным трещинам $\lambda_i = 0,02 \div 0,04$;
- б) по поверхностям ослабления (по направлениям, совпадающим с трещинами) $\lambda_i = 0,07 \div 0,10$;
- в) по другим направлениям $\lambda_i = 0,015 \div 0,60$.

Приведенные данные указывают, что значения λ_i (а) и (б) хорошо выдерживаются в пределах месторождений.

По направлениям, не совпадающим с поверхностями ослабления, значения ослабления сцепления являются величиной переменной и, как показывают исследования ВНИМИ, зависящей от соотношения между размерами H деформирующейся призмы породы в направлении действия сил и размерами l в том же направлении элементарного структурного блока в пределах этой призмы, т. е.

$$\lambda_i = \frac{K_m}{K_k} = f\left(\frac{H}{l}\right). \quad (\text{VIII}, 3)$$

Характер этой зависимости по Г. Л. Фисенко [II, 32] представлен на рис. 147. Из этого графика вытекает, что с увеличением отношения $\frac{H}{l}$ коэффициент λ_i быстро убывает.

Кривая, выражающая эту зависимость, асимптотически приближается к оси абсцисс.

Кривая 1 по Г. Л. Фисенко аналитически выражается эмпирической формулой

$$y = \frac{1}{1+ax}, \quad (\text{VIII}, 4)$$

где $y = \frac{K_m}{K_k}$, а $x = \ln \frac{H}{l}$.

Значение a изменяется от 0 до 10; для пород угленосных отложений $a=2$.

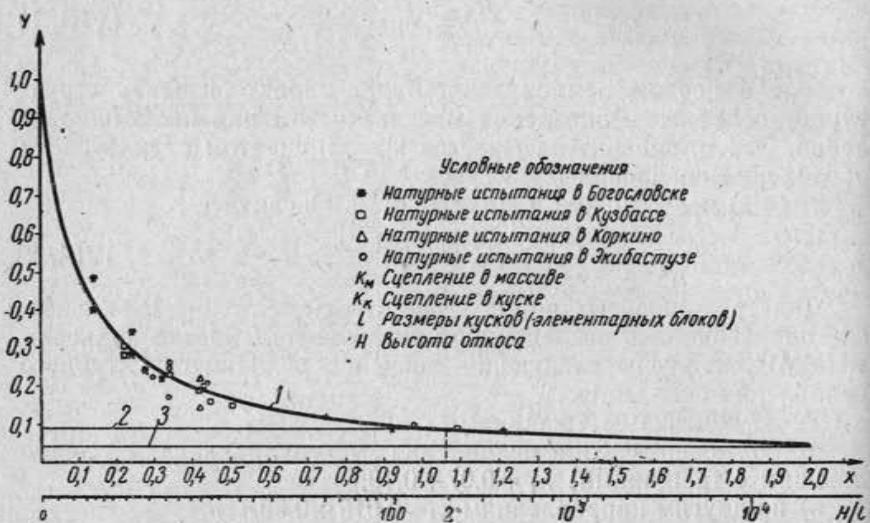


Рис. 147. График зависимости величины сплеления горных пород в массиве от сплеления в куске, степени трещиноватости и высоты откоса (по Г. Л. Фисенко)

График построен по сравнительно небольшому числу натурных испытаний, произведенных на угольных разрезах, и требует дальнейших уточнений, особенно в области больших значений отношения $\frac{H}{l}$.

Откосы небольшой высоты деформируются путем плоского скольжения по некоторым ориентированным поверхностям ослабления. Откосы, высота которых значительна, обрушаются по криволинейной поверхности, сформированной из совокупности разно ориентированных трещин, т. е. характер деформирования высоких откосов приближается к характеру деформирования квазизотропной среды. Наблюдаемые поверхности обрушения сложнее, чем круглоцилиндрические.

Указанный характер деформирования откосов, сложенных трещиноватыми породами, подтверждается рядом наблюдений за их устойчивостью.

Высоту откоса, при которой он получает способность деформироваться по криволинейной поверхности, в первом приближении, можно определять по графику, изображеному на рис. 147. На нем величины структурного ослабления прочности в массиве выражаются:

- 1) под углом к трещинам и контактам — кривой 1;
- 2) по направлениям, совпадающим с трещинами, — прямой 2;
- 3) по контактам слоев — прямой 3.

Абсциссы точек пересечения прямых линий, соответствующих значениям λ_i , полученным из натурных и лабораторных испытаний, с кривой зависимости между λ_i и H , будут соответствовать тем высотам откоса, при которых данные поверхности перестают проявляться как поверхности анизотропного деформирования. Следовательно, точки пересечения указанных линий будут соответствовать тем высотам откоса, при которых последний деформируется не путем плоского скольжения по этим поверхностям ослабления, а путем обрушения по сложным криволинейным поверхностям при вращательном перемещении отдельных блоков или, как говорят, деформируется по законам квазизотропной среды. В этих случаях поверхность обрушения представлена не одной поверхностью ослабления, что может быть только при плоском скольжении, а их совокупностью.

Например, для карьеров Кузбасса [II, 14] средние расстояния между трещинами, определяющие величину l , равны примерно 30 см, $\lambda_i=0,09$. В первом приближении по графику (см. рис. 147) можно установить, что точка пересечения кривой 1 и прямой 2 имеет абсциссу $\frac{H}{l} = 200$. Подставив в это выражение значение $l=0,3$ м, получим $H=0,3 \cdot 200=60$ м.

Таким образом, ориентировочно можно считать, что откосы высотой более 60 м на указанных карьерах будут деформироваться по криволинейной поверхности (по законам квазизотропной среды) и для расчета их устойчивости следует применять методы, рекомендуемые для этой среды. Исключения будут составлять лишь те случаи, когда в массиве имеются ярко выраженные поверхности ослабления (контакты слоев, дислокации и т. д.), которые по своему положению могут реализоваться в поверхности скольжения. В таких случаях откосы любой высоты деформируются путем плоского скольжения по этим поверхностям ослабления.

Из изложенного следует, что выбор схемы расчета откосов определяется характером решетки трещиноватости и высотой откоса.

При изучении процесса сдвижения горных пород над выработанным пространством в последнее время начали уделять больше внимания геологической и гидрогеологической характеристике исследуемого участка, в том числе характеристике трещиноватости подрабатываемой толщи пород. Так, Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений 1959 г. уже включает в себя методические указания по изучению трещиноватости горных пород.

Использование имеющихся материалов и проведение в необходимом, обычно небольшом, объеме дополнительных наблюдений в этом отношении позволит построить по линиям наблюдательных станций отвечающие реальным геологическим условиям решетки трещиноватости. Последние, несомненно, будут содействовать правильной интерпретации результатов инструментальных наблюдений за процессом сдвижения и общему совершенствованию методики изучения процесса сдвижения горных пород и поверхности над выработанным пространством.

Обеспечение безопасных и производительных условий работы в очистных забоях требует учета ориентировки и интенсивности трещиноватости при установлении направления отработки участка и оптимального направления очистного забоя.

Выше, при рассмотрении диаграмм трещиноватости для условий горизонтального и пологого залегания пластов, было установлено (см. рис. 139) оптимальное направление очистного забоя.

В условиях наклонного и крутого падения пластов эта задача также может возникать. В практике работы известны случаи разного установления ориентировки очистных забоев и направления отработки участка. При учете всей суммы факторов, очевидно, должен приниматься во внимание и характер решетки трещиноватости. В подтверждение приведем некоторые примеры.

На рис. 148 в разрезе (а) по простиранию и в проекции на вертикальную плоскость (б) представлена решетка трещиноватости пород кровли пласта Кемеровского (шахта «Центральная», Кузбасс) двумя системами трещин. Угольный пласт отрабатывался лавами, идущими навстречу друг другу.

Практика показала, что управление кровлей сложнее в южных лавах, чем в северных. В южных лавах блоки породы по трещинам движутся в рабочее пространство к забою, вовлекая в это движение крепление. В результате этого в сторону завала поддержание кровли становится ослабленным и приводит к нежелательным крупным вывалам и резким обруше-

ниям кровли. В северных лавах — положение обратное. Здесь движение блоков кровли по трещинам, направленное от забоя к завалу, усиливает крепление в опасных местах. Кроме того, рабочее пространство у забоя от обрушения кровли защищается целиком углем.

При потолкоуступной системе разработки уголь отбивается полосами сверху вниз. При этом в северных лавах (а) отбойный молоток легко скальвает уголь по трещинам, падающим

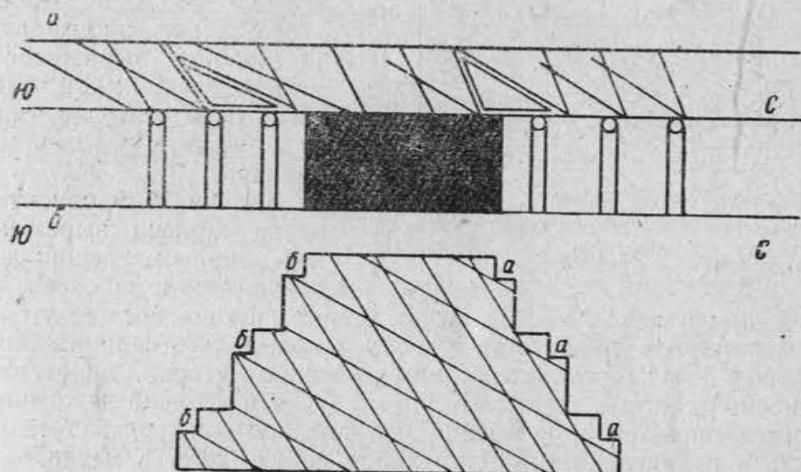


Рис. 148. Схема, показывающая влияние ориентировки трещиноватости на условия очистных работ в лавах разного направления (по А. А. Белицкому)

в сторону выработанного пространства (см. рис. 148). В южных лавах (б) трещиноватость падает от забоя в сторону целика угля и при отбойке угля не способствует откалыванию угля. В связи с разными горногеологическими условиями в северных и южных лавах показатели работы (производительность труда, подвигание очистного забоя) были различными, в северных лавах — значительно более высокими.

Влияние трещиноватости на производительность оборудования можно иллюстрировать примером работы комбайна на шахте «Чертинская 2/3» (Кузбасс). Здесь по пятому угольному пласту производились работы двумя лавами, идущими навстречу друг другу.

Лава № 3 двигалась в северо-западном направлении, а лава № 5 — в юго-восточном. Положение забоев лав и решетка трещиноватости представлены схематически на плане (рис. 149). Мощность пласта 1,75 м, угол падения 30—35°, кровля пла-

ста — алевролит, почва — аргиллит. В обеих лавах из двух систем трещин лучше выражена одна, изображенная сплошными линиями и имеющая падение под углом 55—60°. Вторая, менее выраженная система расположена в плане приблизительно перпендикулярно первой и изображена пунктирными линиями.

Работа комбайна в лаве № 3 протекала нормально с подвиганием очистного забоя до 52 м в месяц. Уголь легко скальвался по хорошо выраженной системе трещин; при этом куски отбитого угля имели транспортабельные размеры.

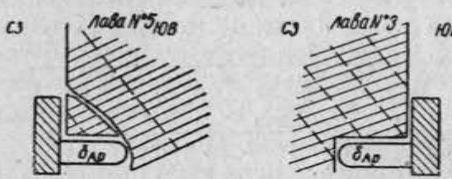


Рис. 149. Схема, показывающая влияние ориентировки трещиноватости угля на работу комбайна (по А. А. Белицкому)

иная, чем в лаве № 3. Здесь по данной системе трещин угля не мог легко разрушаться, поэтому откалывались сравнительно большие глыбы угля по редким трещинам второй, менее выраженной системе трещин. Крупные куски постоянно зажимали и перекаивали бар комбайна, что снижало его производительность и подвигание очистного забоя до 22—28 м в месяц.

Трещины в горных породах являются путями, по которым происходит перемещение газа. На шахтах «Центральная» и «Северная» в Кемеровском районе Кузбасса шахтный геолог О. И. Чернов установил закономерную связь внезапного выделения угля и газа с хорошо выраженными на этих шахтах двумя системами трещин. Было подмечено, что подавляющее количество выбросов угля и газа приходится на выработки, которые подвигаются с юга на север. Так, на шахте «Центральная» по пласту Кемеровскому было отмечено 28 выбросов, а по пласту Владимирскому — 38; из них на долю северных выработок падает соответственно 26 и 37 выбросов. Геологические условия в том и другом направлении одинаковы. Например, на всем протяжении пласта Кемеровский имеет мощность 4 м, в кровле — аргиллит, в почве — алевролит. Существенных нарушений залегания пород тоже нет. Схема расположения выработок и решетка трещиноватости иллюстрируются на рис. 150.

Наблюдения показали, что свыше 80% всех выбросов приурочивается к печам, остальные — к забоям штреков.

В южном направлении (рис. 150) каждая печь *a* пересекает системы трещин, уже ранее подрезанные основным штре-

ком, обеспечивающие дегазацию участков, подлежащих выемке. В забое штрека внезапный выброс становится затруднительным, так как при данной ориентировке трещиноватости газ должен прорываться снизу (*b*). Наблюдения показывают, что полости, из которых выбрасываются уголь и газ, располагаются перпендикулярно к трещинам. Газ в положении *b* не может преодолеть силу тяжести пород и горного давления.

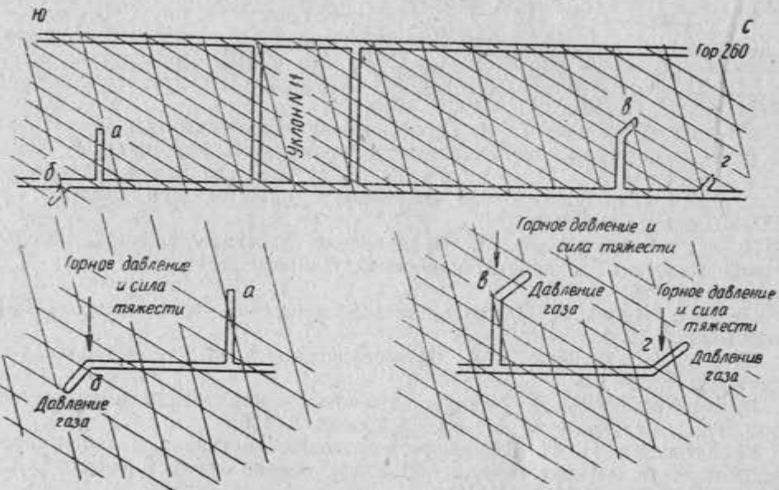


Рис. 150. Схема, объясняющая влияние ориентировки трещиноватости на проявление выбросов угля и газа (по А. А. Белицкому)

В северном направлении печи часто пересекают трещины, которые еще не вскрыты штреками. Кроме того, здесь в забоях печей (*c*) и штреков направление давления газа суммируется с горным давлением, в результате чего создаются более благоприятные условия для проявления внезапных выбросов угля и газа.

Известно, что стоимость крепления прямо связана с интенсивностью трещиноватости пород кровли. Так, например, расход крепежных материалов на шахте «Ново-Кондратьевская» значительно выше, чем на шахте им. М. И. Калинина (Донбасс). Это находит отчасти свое объяснение в том факте, что на поле первой шахты среднее значение величин *t* и *t'*, характеризующих интенсивность трещиноватости, в 1,5—2 раза меньше аналогичных величин на второй шахте.

Приведенные примеры убедительно показывают необходимость изучения трещиноватости горного массива и учета ее при решении горных задач.

ЛИТЕРАТУРА КО II РАЗДЕЛУ

1. Бауман В. И. К вопросу о сбросах, сдвигах и других смещениях жил и пластов. Зап. горн. ин-та, т. 1, вып. 1, 1907.
2. Белицкий А. А. Классификация тектонических разрывов и геометрические методы их изучения. Госгеолиздат, 1953.
3. Белоусов В. В. Тектонические разрывы, их типы и механизм образования. Изд. АН СССР, 1952.
4. Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. Госгеолтехиздат, 1954.
5. Биллингс М. П. Структурная геология. Иниздат, 1945.
6. Вилесов Г. И. Геометризация угольных месторождений, разрабатываемых подземным способом. Тр. СГИ, вып. XXIX. Металлургиздат, 1957.
7. Вольфсон Ф. И., Лукин Л. И. и др. Структура рудных полей и месторождений. Изд. АН СССР, 1960.
8. Герасименко Г. И. Геологическая документация и геометризация при разведке и разработке угольных месторождений. Углетехиздат, 1958.
9. Добкин И. И., Рябов Ю. И. О точности получения координат точки пересечения разведочной скважины с пластом при разведке угля. XXXV сборник ВНИМИ, 1960.
10. Журавский А. М. Определение пространственного положения буровой скважины по данным измерений. Записки ЛГИ, т. Х/1, вып. 2, Госгортехиздат, 1961.
11. Забродин А. С. Опыт поисков смещенной части угольного пласта. Углетехиздат, 1952.
12. Казаковский Д. А. Маркшейдерское дело и геометризация недр. Углетехиздат, 1948.
13. Королев А. В. Методы изучения мелкой трещиноватости горных пород. Тр. Ин-та геологии АН Уз. ССР, вып. 6, 1951.
14. Куваев Н. Н. Особенности методики изучения и характеристики трещиноватости массива горных пород для оценки его устойчивости. XXXII сборник ВНИМИ, 1958.
15. Куликов П. К. Методы поисков смещенной части пласта. Углехиздат, 1956.
16. Леонтовский П. М. Элементы залегания пластов (Горная геометрия). ЕВГУ, 1905.
17. Михайлов А. Е. Полевые методы изучения трещин в горных породах. Госгеолтехиздат, 1956.
18. Михайлов А. Е. Основы структурной геологии и геологического картирования. Госгеолтехиздат, 1958.
19. Молчанов И. А. Геометрический метод исследования дизъюнктивов и его применение для поисков смещенной части месторождения. Изв. Томского индустриального ин-та, т. 60, 1939.
20. Новикова А. С. О трещиноватости осадочных пород восточной части Русской платформы. Изв. АН СССР, вып. 5, 1951.
21. Омельянович В. М. Тектоника шахтных полей Донбасса. ЦИТИ, 1955.
22. Попов В. С., Лапкин И. Ю. Основные черты геологического строения северной окраины Донецкого бассейна. БМОИП, отд. геол., т. 28, вып. 3, 1953.
23. Рыжов П. А. Геометрия недр. Углехиздат, 1952.
24. Соболевский П. К. О смещениях. Тр. I Общесибирского маркшейдерского съезда, Томск, 1925.
25. Трофимов А. А. Метод определения вектора относительного перемещения крыла тектонического разрыва по геологическим данным при помощи изолиний «Советская геология», сборник № 54. Госгеолтехиздат, 1957.
26. Упир А. Т. Опыт геометризации месторождений Челябинского буроугольного бассейна. Тр. Всесоюз. науч.-техн. совещания по маркшейдерскому делу. Углехиздат, 1958.

27. Усов М. А. Формы дизъюнктивных дислокаций в рудниках Кузбасса. Сборник по геологии Сибири, Томск, 1933.
28. Усов М. А. Структурная геология. Госгеолиздат, 1940.
29. Ушаков И. Н. Об упрощении геометрической классификации смещений. XXXI сборник ВНИМИ. Углехиздат, 1957.
30. Ушаков И. Н. Определение относительного перемещения блоков разрывной структуры при разработке нарушенных участков угольных месторождений. Известия вузов, «Горный журнал», 1958, № 10.
31. Ушаков И. Н. Трещиноватость горного массива в центральном районе Донбасса и точечный способ ее характеристики. Зап. ЛГИ, т. XXXVI, вып. 1, 1958.
32. Фисенко Г. Л. Прочностные характеристики массива горных пород. Кн. «Механика горных пород и маркшейдерское дело», 1959.
33. Келль Н. Г. Смещения. XXIII сборник ВНИМИ. Углехиздат, 1950.

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глава IX

АНАЛИЗ СКРЫТЫХ И УСЛОВНЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 34. Общие положения

В предыдущем разделе были рассмотрены горногеометрические задачи применительно к плоскостным, складчатым и разрывным формам залегания пластовых месторождений.

Геометрическая характеристика пластовых месторождений касалась только формы их залегания. Сравнительная простота форм позволяла все построения и расчеты осуществлять при ограниченном числе разведочных (съемочных) точек.

Геометрическая характеристика более сложных по форме и составу месторождений требует большого числа разведочных точек и изучения значительного числа показателей.

Одни из этих показателей относятся к форме, строению месторождения и являются элементами структурных планов и графиков. Другие относятся к вещественному составу руд, свойствам и особенностям вмещающих пород и являются элементами так называемых качественных планов и графиков.

Совокупность показателей может характеризовать не только форму и свойства, но и процессы, происходящие в недрах. Так, например, наблюдая за оседанием поверхности над выработанным пространством, можно составить себе представление относительно процесса движения толщи, лежащей над горными выработками.

Геологическая и эксплуатационная характеристики месторождений полезных ископаемых путем составления указанных выше структурных и качественных планов и связанных с ними документов называются геометризацией месторождений. Своевременно и систематически осуществляемая работа по геометризации месторождений является необходимым условием правильной организации горногоразведочных и горных работ на каждом предприятии.

Ниже рассматриваются вопросы геометризации применительно к задачам детальной разведки и эксплуатации.

Разработка методики геометризации месторождений на основе использования метода изолиний применительно к месторождениям твердых полезных ископаемых у нас в СССР принадлежит П. К. Соболевскому.

П. К. Соболевский начал разработку методики геометризации месторождений твердых полезных ископаемых еще в 1900—1905 гг. В течение многих лет эта методика настойчиво осваивалась и усиленно пропагандировалась, но реальное ее применение стало возможным после Великой Октябрьской социалистической революции, и к настоящему времени она утвердилась в горной промышленности как одна из методик в геологоразведочном и маркшейдерском деле.

Геометризация месторождения складывается из следующих работ:

- 1) производство наблюдений в натуре и их документация;
- 2) обработка наблюдений и имеющихся материалов;
- 3) составление структурных и качественных планов.

Однако не следует думать, что материал сначала собирается по всему месторождению, затем обрабатывается и, наконец, получается результат в виде структурных и качественных планов. Наоборот, каждое наблюдение сразу же обрабатывается и представляется в виде, удобном для немедленного использования. В этом заключается действенность и оперативно-производственное значение полученных данных для правильной организации следующего этапа работ.

Вместе с этим указанное текущее использование результатов геометризации предполагает как само собой разумеющееся перспективное и научное значение полученных данных и обязывает производить непрерывное, систематическое их обобщение.

Своевременно составляемые структурные и качественные планы месторождения позволяют судить в каждый данный момент о правильности ведения геологоразведочных и горных работ. Последнее можно сделать только в результате рассмотрения отношений проведенных или проводимых выработок к форме и условиям залегания и качества полезного ископаемого, и, давая своевременно структурную и качественную характеристику месторождения в виде соответствующих графиков, можно более обоснованно планировать предстоящие геологоразведочные и горные работы.

Геометризация месторождений, будучи одной из методик горногоразведочных и маркшейдерских работ, должна быть органически слита с ними. Обособленное и изолированное проведение геометризации приводит часто к отрыву от запросов производства и к такому положению, что результаты работы имеют только архивное значение.

Как уже указывалось выше, каждому месторождению необходимо в результате его изучения дать структурную и качественную характеристики. Следовательно, в более общей постановке объектами геометрического изучения являются структурные и качественные показатели месторождения.

Форма залежи может быть самой разнообразной. В общем виде ее можно представить как тело, ограниченное топографическими поверхностями. Следовательно, отметку точки поверхности тела можно выразить как функцию горизонтальных координат:

$$z = f(x, y). \quad (\text{IX}, 1)$$

Вид функции определяется конкретными геологическими условиями.

Относительно качества (свойства) и особенностей полезного ископаемого и вмещающих пород можно утверждать, что они также изменяются, а не остаются одними и теми же в разных точках пространства. Нетрудно также себе представить, что изменение качества полезного ископаемого может происходить по любому направлению в пространстве в зависимости от условий, т. е. это изменение в смысле фиксации его в пространстве является функцией координат точки.

Таким образом, любое свойство полезного ископаемого и горных пород в смысле пространственной (геометрической) характеристики есть функция координат точки:

$$P = f(x, y, z). \quad (\text{IX}, 2)$$

Высказанное положение было бы не общим, если не связать его с моментом времени t .

В натуре мы имеем постоянно протекающий процесс изменения (движения) материи во времени. Это наблюдается, в частности, в геологических процессах, в результате которых породы находятся в состоянии постоянного изменения. Однако эти изменения во времени для большинства полезных ископаемых, особенно твердых, настолько медленны, что практически с ними в пределах срока продолжительности работы предприятия можно совершенно не считаться и пользоваться как общей характеристикой изменения выражением (IX, 2).

Однако выше мы уже отмечали, что в связи с разработкой месторождений твердых полезных ископаемых можно встретить доступные наблюдению процессы, как, например, процесс оседания поверхности (процесс движения пород) под влиянием горных разработок.

Из изложенного следует, что структурные показатели (форма) представляются как функция двух переменных и качествен-

ные показатели — как функция трех переменных. Представление этих функций в аналитическом виде не удается ввиду сложности условий и множественности факторов, обуславливающих характер (вид) функции. Поэтому остается единственный способ представления структурных и качественных показателей при их изучении — способ графического изображения их по ряду частных значений функции (IX, 1) или (IX, 2).

Выше нами уже указывалось, что использование метода изолиний при изучении и графическом изображении функций вида (IX, 1) и (IX, 2) возможно в том случае, если они удовлетворяют условиям, отмеченным П. К. Соболевским, а именно: а) конечности, б) однозначности, в) непрерывности и г) плавности.

Условие конечности означает, что для любой точки значение z конечно, т. е. не может быть бесконечно большого значения z ни положительного, ни отрицательного.

Условие однозначности означает, что для заданных x и y третья координата имеет только одно значение. Вытекает это из основного свойства топографической поверхности пересекаться с отвесной линией или линией, нормальной к плоскости проекций, только в одной точке.

Условие непрерывности гласит, что бесконечно малому перемещению точки в горизонтальной плоскости (приращению координат x и y) соответствует бесконечно малое приращение функции (координаты z).

Условие плавности означает, что кривые различных плоских сечений поверхности (горизонтали, профильные линии) являются плавными, т. е. имеют постепенно изменяющуюся кривизну.

Первые два условия очевидны и не требуют пояснений.

Третье условие следует понимать не как наличие сплошности показателя во всех точках. Например, на россыпных месторождениях золота по существу нет непрерывности в распределении металла, так как нет сплошного слитка, и частицы металла распылены во всей массе золотосодержащих песков.

Однако если все месторождение разбить на элементарные объемы, например кубические метры, и установленное содержание металла внутри каждого такого объема отнести к последнему, то мы для удобства графических построений условно будем считать в указанных практически элементарных объемах содержание металла и его распределение непрерывным.

Пусть на рис. 151, а изображено 8 кубических метров, взятых по произвольному направлению (AB) россыпи. Распределение металла в каждом кубометре показано на фигуре в виде распыленных частиц (точек). В каждом элементарном объеме определено содержание металла в граммах на единицу веса или объема. Полученные значения содержания вы-

писаны около каждого кубометра. На рис. 151, б, они, будучи отнесены к центрам элементарных объемов, отложены в виде ординат в точках 1, 2, ..., 8. Непрерывная ломаная линия, соединяющая концы ординат, с достаточной практической точностью характеризует изменение содержания металла по линии.

Плавность функции является менее определенным понятием, чем непрерывность. При графическом изображении функции плавность характеризуется постепенно меняющейся

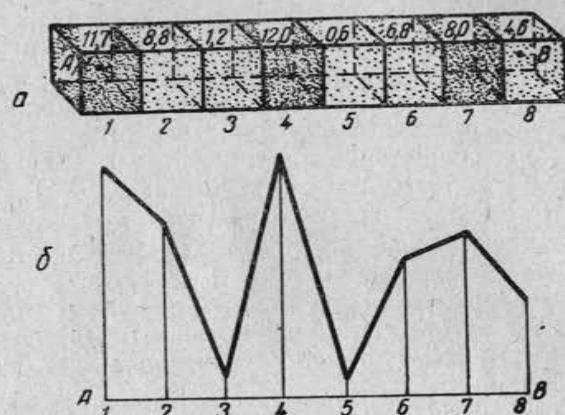


Рис. 151. К вопросу о непрерывности показателя залежи

кривизной линии или постепенным изменением ее ординат. Если совокупность наблюдений позволяет построить по ним в том или ином интервале плавную кривую, изображающую исследуемую функцию, то наблюдения можно считать достаточными. Таким образом, большое практическое значение условия плавности заключается в том, что оно определяет достаточность наблюдений.

Выше отмечалось, что аналитический вид функций $z = f(x, y)$ и $P = f(x, y, z)$ неизвестен. Поэтому при изучении месторождений графическое изображение функций (показателей) по их частным значениям является наиболее удобным и главное наглядным способом их характеристики. При этом к графическому изображению предъявляются два основных требования:

а) возможность определения функции по заданным ее аргументам непосредственно по чертежу (удобоизмеримость);
б) наглядное изображение изменения функции (наглядность). Указанным требованиям вполне удовлетворяет метод

проекций с числовыми отметками в приложении к изображению тел с неправильными (топографическими) поверхностями, носящий название метода изолиний.

Рассмотрим последовательно графическое изображение функций:

- одной независимой переменной $y = f(x)$;
- двух независимых переменных $z = f(x, y)$;
- трех независимых переменных $P = f(x, y, z)$.

Для изображения функции $y = f(x)$ возьмем прямоугольные координатные оси x, y (рис. 152). Построив ряд точек, отвечающих частным значениям функции, и соединив их плавной кривой, мы получим графическое изображение заданной функции. Таким образом, функция одной независимой переменной изображается одной кривой линией.

Профиль вертикального сечения поверхности по некоторой линии, линия горизонтального сечения поверхности и кривая изменения показателя по заданному направлению представляются кривыми вида $y = f(x)$ (см. рис. 152).

Функция двух независимых переменных $z = f(x, y)$ характеризует поверхность тел — форму залежей и изменение качественных показателей в плоском сечении.

Если зададимся рядом частных значений z , равных a_1, a_2, a_3 и т. д., то получим ряд выражений:

$$\begin{aligned} a_1 &= f_1(x, y); \\ a_2 &= f_2(x, y); \\ \dots &\dots \\ a_n &= f_n(x, y), \end{aligned}$$

которые можно переписать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} y &= \varphi_1(x, a_1); \\ y &= \varphi_2(x, a_2); \\ \dots &\dots \\ y &= \varphi_n(x, a_n). \end{aligned} \right\} \quad (\text{IX}, 3)$$

Последнее представляет собой ряд функций одной независимой переменной, каждая из которых по предыдущему графически представится одной кривой. Особенностью их является то,

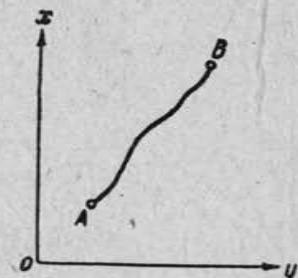


Рис. 152. Графическое изображение функции $y = f(x)$

что во всех точках каждой кривой z равняется одному и тому же значению.

Пусть на рис. 153 изображены функции вида (IX, 3) при $z=a_1$, $z=a_2$, $z=a_3$ и $z=a_4$.

Следовательно, функция двух независимых переменных $z=f(x, y)$ изображается рядом кривых линий, каждая из которых есть линия, соединяющая точки с одинаковыми значениями z .

Нетрудно видеть, что здесь мы имеем полную аналогию с изображением топографической поверхности.

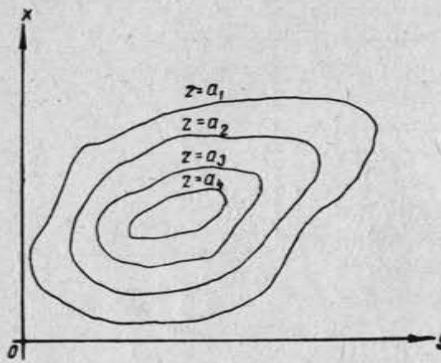


Рис. 153. Графическое изображение функции $z = f(x, y)$

строят линии равных значений отмечек, называемые изолиниями, или изогипсами. Полученный таким образом план называется гипсометрическим планом залежи.

Для ряда задач горного и геологоразведочного дела строят гипсометрические планы висячего и лежачего боков залежи, плотика россыпных месторождений, водоупорного горизонта и т. д. В виде топографической поверхности может быть представлена в графическом виде характеристика мощностей залежи. В этом случае последняя изображается линиями равных мощностей — изомощностями. Из изложенного следует, что форма залежей может быть представлена разнообразными структурными планами, в основе построения которых лежит метод изолиний.

Графическое изображение функции трех независимых переменных $P=f(x, y, z)$ сводится к получению из последней ряда функций двух независимых переменных, каждая из которых аналогично предыдущему изображается в виде топографической поверхности.

Пусть $P=f(x, y, z)$ выражает содержание металла в руде. Будем полагать в функции $P=f(x, y, z)$ координату z последо-

вательно равной a_1, a_2, a_3 и т. д.; тогда будем иметь ряд функций:

$$\begin{aligned} P &= \varphi_1(x, y, a_1); \\ P &= \varphi_2(x, y, a_2); \\ &\vdots \\ P &= \varphi_n(x, y, a_n), \end{aligned}$$

каждая из которых представляет собой функцию двух независимых, изображаемую в виде топографической поверхности. Следовательно, функция трех независимых переменных графически изображается рядом топографических поверхностей.

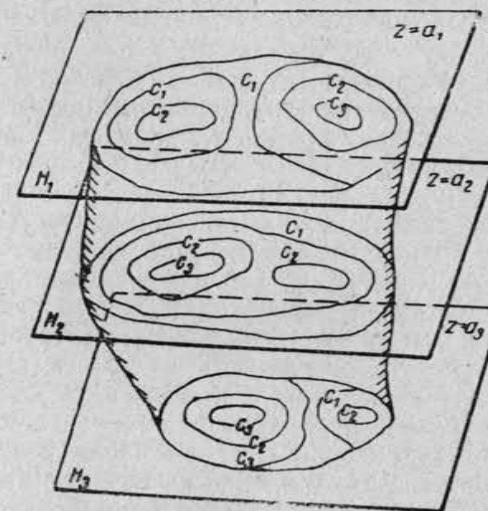


Рис. 154. Графическое изображение функции $p = f(x, y)$

Пусть на рис. 154 H_1, H_2, H_3 — горизонтальные плоскости, совпадающие с соответствующими отметками: $z=a_1, z=a_2, z=a_3$. В указанных плоскостях (горизонтах) получаются сечения рудного тела. В каждом сечении, вернее, в слое, прилегающем к сечению, например в сечении H_1 , содержание P изменяется от точки к точке. Характер этого изменения представляется функцией $P=\varphi_1(x, y, a_1)$, которую можно изобразить в виде топографической поверхности. В самом деле, в разных точках сечения H_1 содержание полезного компонента P имеет значения $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$. Принимая последние за отметки, построим в плоскости этого сечения линии равного содержания

металла, в совокупности дающие образ некоторой условной (в природе не существующей) топографической поверхности. Следовательно, изменение содержания металла в руде (его распределение) в плоскости данного горизонта горных работ H_1 изображается в виде условной топографической поверхности.

Аналогичные построения можно сделать и на других горизонтах работ H_2 и H_3 (см. рис. 154). Поэтому распределение содержания металла в рудном теле может быть представлено рядом топографических поверхностей.

Указанным путем может быть представлено изменение любого показателя месторождения полезного ископаемого, являющегося функцией трех независимых переменных. Графики, аналогичные представленным на рис. 154, дающие качественную характеристику месторождения, называются качественными графиками.

Метод изолиний применим к изображению разных объектов. Так, например, распределение работ и затрат, связанных с разработкой месторождения, процессы сдвижения поверхности и толщи пород над выработанным пространством и т. д. могут быть представлены графически при помощи метода изолиний.

П. К. Соболевский, разрабатывая методику геометризации месторождений, обратил внимание еще на одно важное обстоятельство, а именно на то, что с функциями вида $y=f(x)$, $z=f(x, y)$ и $P=f(x, y, z)$ можно производить любые математические действия, и от этого их основные свойства (конечность, однозначность, непрерывность и плавность) не изменяются. Следовательно, после того как те или иные математические действия с функциями произведены, их снова можно графически изображать в виде кривых линий или топографических поверхностей. Иными словами, производя математические действия с топографическими поверхностями, мы в результате получаем топографические же поверхности.

Одновременно П. К. Соболевский разработал и методику производства математических действий с топографическими поверхностями.

Практически математические действия (сложение, вычитание, умножение и др.) производятся разными способами. Если в результате наложения двух топографических поверхностей получается достаточное и более или менее равномерно распределенное по площади число точек пересечения горизонталей исходных поверхностей, то этими точками пересечения ограничиваются и переносят их на чистый лист. Отметки исходных поверхностей в указанных точках пересечения складывают, вычитают, умножают или производят другие действия с ними, в результате чего получают отметки для вычерчивания результативной поверхности. Удобство этого способа заключается

в том, что в качестве исходных берут отметки (численные значения показателей), кратные принятым сечениям горизонталей, и получают также кратные им или, во всяком случае, какие-то круглые значения результативных отметок, вычерчивание горизонталей по которым не затруднено необходимостью сложного интерполяирования между точками с дробными отметками.

Если указанных точек пересечения получается мало, то необходимые действия с исходными данными производят в точках, равномерно (например, по квадратной сетке) расположенных по площади. По полученным результатам вычерчивается искомая поверхность. Часто пользуются при этом и методом профилей, где по каждой намеченной линии получается результирующий профиль и в соответствии с принятым сечением горизонталей находятся ступенчатые отметки, по которым вычерчивается искомая поверхность.

При умножении поверхностей способом профилирования иногда рекомендуют действие непосредственного умножения отметок заменять действием сложения логарифмов этих отметок путем построения специальных графиков — логарифмических номограмм. Хотя действие сложения удобнее действия умножения, но при широком пользовании логарифмической линейкой (данные и требуемая точность результата позволяют применять ее) непосредственное перемножение отметок — операция простая и не будет понижать производительности труда. Применение же логарифмических номограмм требует столько внимания и времени, что преимущество действия сложения над умножением утрачивается. Практически приходится прибегать к сложению, вычитанию и умножению поверхностей. Другие действия с поверхностями производятся редко.

Дифференцирование и интегрирование поверхностей топографического порядка могут быть использованы при геометризации процессов и, в частности, по мысли П. К. Соболевского, относятся к проблеме автоматической регистрации деформаций поверхности (и массива) под влиянием горных разработок.

Решение ряда задач, рассмотренных в предыдущих разделах (построение линии выхода пласта или контакта на поверхность или горизонт работ, определение линий обреза пласта и т. д.), является выражением математических действий с поверхностями. Вычитание топографических поверхностей используется также при оценке характера распределения и величины ошибки крупномасштабной аэросъемки путем сравнения ее с результатами мензулярной съемки.

Таким образом, мы установили, что показатели, характеризующие структуру месторождения или вещественный состав полезного ископаемого, могут быть представлены в форме того

или иного графика, в частности в виде топографической поверхности. Топографическая поверхность, используемая при этом как средство выражения наших представлений об изучаемом объекте, в большинстве случаев является скрытой поверхностью. Одни из них, например гипсометрия залежей или геологических контактов, являются реальными, другие, как, например, поверхности, характеризующие мощность или глубину залегания рудного тела, содержание полезных или вредных компонентов и т. д., будут условными поверхностями, реально не существующими, но используемыми как удобное средство выражения результатов изучения показателей залежи. Показатели залежи в процессе разведки или разработки изучаются вдоль тех или иных направлений или в пределах установленного (площадного или объемного) контура и в геометрическом отношении выступают как линейные или контурные показатели. Применительно к ним и рассмотрим некоторые вопросы анализа скрытых и условных топографических поверхностей, являющиеся общими для геометризации месторождений полезных ископаемых.

§ 35. Линейные и контурные показатели

Линейные показатели могут относиться к секущим выработкам, выработкам, проведенным по залежи, или к разведочным линиям.

Пронижем залежь рядом параллельных прямых произвольного направления. Если рудное тело однородное, залежь имеет резкие границы и секущие ее выработки (прямые) представляют собой определенные отрезки, ограниченные четко точкой входа и точкой выхода из залежи. В этом случае определяющей величиной тех или иных показателей будет длина указанных отрезков или мощность m залежи по данному направлению. Мощность залежи характеризует ее объем независимо от состава и свойств руды. Для определения других показателей мы каждую секущую залежь, выработку (пронизывающую прямую) мысленно сопровождаем некоторым сечением, например 1 м^2 , в виде призмы.

При подсчете объема можно считать, что по данной прямой мы имеем объем $V = m, \text{ м}^3$. При однородном составе руды линейный запас ее $q = mR_m$ и линейный запас полезного компонента $p = mRc_m$ или $p = mc_m$, где R_m — объемный вес руды (вес 1 м^3 руды), c или c' — содержание полезного компонента соответственно в 1 т или в 1 м^3 руды. При этом содержание компонента может выражаться в процентах или в весовой мере. Таким образом, величины V или m, q, p являются линейными показателями.

При неоднородной руде вместо написанных выше выражений для линейных показателей:

$$\left. \begin{aligned} V &= m, \text{ м}^3; \\ q &= mR_m; \\ p &= mRc = mc_m \end{aligned} \right\} \quad (\text{IX}, 4)$$

имеем

$$\left. \begin{aligned} V &= m, \text{ м}^3; \\ q &= \int_0^m R dm; \\ p &= \int_0^m (Rc) dm = \int_0^m c' dm. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IX}, 5)$$

Для определения линейного показателя в неоднородной среде произведем измерение отдельных значений показателя в ряде точек через определенные (чаще по условиям опробования равные) промежутки, называемые интервалами i .

Числа, выражающие показатель в общем виде, обозначим через ε , а линейный показатель через λ .

На рис. 155 вычерчена кривая $xdlrst$ изменения показателя вдоль прямой (выработки) m . Разобъем ее на равные интервалы i точками $1, 2, 3, \dots, k$, причем в точке $1 \varepsilon = 0$. Где-то в точке x кривая пересекает прямую (ось) m . Во всех точках $1, 2, 3, \dots, k$ измерены значения показателя $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k$. Точка встречи кривой с осью неопределенна. В ряде случаев ее трудно точно определить вследствие отсутствия четко выраженного контакта руды с боковыми породами.

Взяв $\Sigma \varepsilon$ всех измеренных значений показателя и умножив ее на интервал i , получим выражение для линейного показателя λ при данном расположении разведочных точек $1, 2, 3, \dots, k$:

$$\lambda = i \Sigma \varepsilon. \quad (\text{IX}, 6)$$

Оно вполне точно и определенно выражает величину λ . Последнюю можно представить в виде суммы площадей прямоугольников $i\varepsilon_2 + i\varepsilon_3 + \dots$ и т. д., построенных по соответствующим значениям показателя. Например, произведение $i\varepsilon_3$ на рис. 155 представлено прямоугольником $rgpq$. Сумма площадей указанных прямоугольников тождественно равна площади, заключенной между осью и ломаной линией $1dlr$, соединяющей концы ординат $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ и т. д.

Последнее вытекает из равенства прямоугольных треугольников lab и acd , def и fgl и т. д., так как $lb = b2$, $db = gl$. Следовательно, вычисление λ по формуле (IX, 6) равносильно измерению площади, выделяемой полигоном, вершинами которого служат концы измеренных ординат ε , в том числе и $\varepsilon_1=0$.

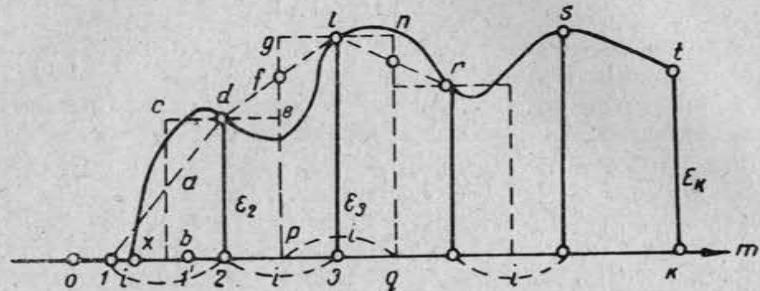


Рис. 155. Интервальная характеристика линейного показателя

Указанный полигон будет заменять собой кривую показателя при условии применения формулы (IX, 6). Можно ожидать, что при выпуклой или вогнутой на всем протяжении кривой показателя формула (IX, 6) будет давать ошибку одного знака (+) или (-).

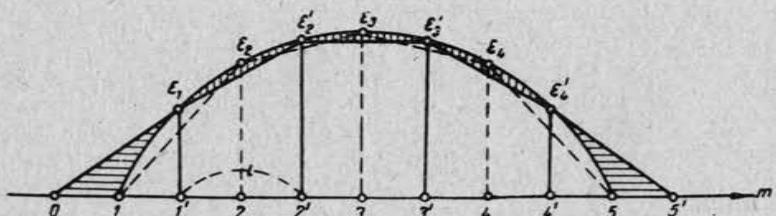


Рис. 156. Интервальная характеристика показателя, выражаемого выпуклой кривой

Из рис. 156 следует, что если кривая имеет форму дуги круга, мыслимо такое положение разбивки на интервалы, при котором полигон, построенный по формуле (IX, 6), отделяет меньшую или большую площадь, чем площадь, ограниченная дугой круга и хордой m . Так, полигон $1\varepsilon_2\varepsilon_3\varepsilon_45$, отвечающий разбивке $1, 2, 3, 4, 5$, дает площадь заведомо меньшую, чем площадь дуги круга с теми же точками, а полигон $O\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3\varepsilon_45'$ дает большую площадь, чем сегмент, ограниченный дугой круга и осью m . Увеличение площади здесь происходит за счет краевых площадок $O\varepsilon_1$ и $5'\varepsilon_4$.

Если разбивку на интервалы i по оси m передвинуть на некоторую величину $\Delta_1 i = \delta i = \frac{i}{p}$, то получится новая сумма Σ_{1i} измеренных значений показателя. При дальнейшем перемещении разбивки на величину δi , а всего на $\Delta_2 i = 2\delta i$ мы получим новое значение суммы Σ_{2i} и т. д. до Σ_{pi} , отвечающей $\Delta_p i = p\delta i = i$.

Отложим на ординатах в пределах одного интервала i (рис. 157) все эти суммы от Σ_{0i} до Σ_{pi} и соединим концы ординат плавной кривой. При достаточно большом p или малых передвижениях δi эта кривая будет близка к истинной кривой сумм Σ_i . На рис. 157 такая кривая представлена в виде $oabn$. Среди всех сумм от Σ_{0i} до равной ей суммы Σ_{pi} имеется особая сумма Σ_{ui} , которая равна истинному значению линейного показателя λ , деленному на интервал i :

$$\Sigma_{ui} = \frac{\lambda_{\text{ист}}}{i}. \quad (\text{IX}, 7)$$

Проведем на рис. 157 прямую $A'B'$, параллельную AB на расстоянии Σ_{ui} от последней. Эта прямая пересечет кривую сумм не менее чем в двух точках — a и b , так как $\Sigma_{0i} = \Sigma_{pi}$. Более вероятно, что $A'B'$ пройдет посередине между Σ_{\max} и Σ_{\min} . Вообще следует считать, что Σ_{ui} реально существует и даже при значительном интервале i , но при удачном расположении разбивки можно получить для λ значение, близкое к истинному, если вычислить его по формуле (IX, 6).

В числе p положений разбивки два или даже несколько положений дают Σ_i , близкую к Σ_{ui} , которая, будучи помножена на i , дает λ , близкую к $\lambda_{\text{ист}}$.

При построении плавных кривых для каждого положения разбивки будут допускаться индивидуальные ошибки вследствие индивидуального подхода к построению этих кривых, и маловероятно, чтобы они были равны нулю. Изменяются они незакономерно — не по некоторой плавной кривой, а случайно, скачками.

Вычисление линейного показателя по формуле (IX, 6) основано на методе, предложенном Д. А. Казаковским и названном им методом общих цифр. Н. Г. Келль предлагает называть его методом интервальной суммы свойств.

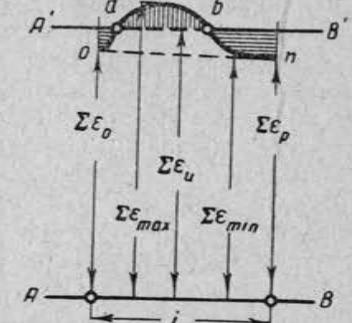


Рис. 157. Изменение интервальной суммы Σ_i от положения начальной разведочной точки на линии

При данном методе линейный показатель определяется в пределах крайних нулевых точек разбивки по формуле (IX, 6). Поэтому при построении кривой сумм на рис. 157 необходимо было при каждом передвижении разбивки на величину δi добавлять, если это требовалось, по краям точки с нулевыми значениями показателя (свойства). Так, на рис. 155 при передвижении всей разбивки вправо на отрезок $1-1'$ точка 1 пришла в положение $1'$, где ε уже имеет некоторое значение, отличное от нуля. Тогда пришлось добавить слева точку 0 , расположенную от точки $1'$ на расстоянии i , чтобы удовлетворить условиям применения метода.

То же самое на рис. 156 для разбивки $1', 2', 3'$ и $4'$ добавлены слева точка 0 и справа точка $5'$ с заведомо нулевыми значениями ε . При этом $1'-0$ и $4'-5'$ равны интервалу i .

Эти добавочные точки теоретически нужно принимать во внимание и в том случае, когда границы залежи (кривой показателя) ясно видны или обнаружены. Иначе изменится смысл подсчета по формуле (IX, 6). Практически в этом случае измерять ε в добавочных точках не приходится, так как заведомо в них нет самой залежи.

Пусть в точке k (рис. 155) на оси m линейный показатель λ делится на две части λ' и λ'' , причем крайнее (раздельное) значение свойства равно ε_k . Его в сумму ε при подсчете раздельно частей λ' и λ'' по формуле (V, 6) следует, очевидно, вводить в половинном размере, чтобы сохранить величину всего показателя λ .

Таким образом,

$$\lambda' = i(\Sigma \varepsilon - 0,5 \varepsilon_k), \quad (\text{IX}, 8)$$

где $\Sigma \varepsilon$ — сумма значений показателя вместе с крайним значением в данной части.

Если с обеих сторон имеются крайние значения точек разбивки с ε_k и $\varepsilon_{k'}$, то формула для λ в пределах этих крайних значащих точек примет вид:

$$\lambda' = i[\Sigma \varepsilon - 0,5(\varepsilon_k + \varepsilon_{k'})]. \quad (\text{IX}, 9)$$

При этом в выражении (IX, 9), в сумму $\Sigma \varepsilon$ входят все значения, в том числе и крайние.

Формула (IX, 9) применяется тогда, когда показатель (свойство), например содержание полезного компонента, приобретает определенное значение ε_k и $\varepsilon_{k'}$ от самого края залежи.

Во многих случаях необходимо характеризовать показатель залежи не только по линии, но и по целой площади в границах некоторого контура или в пределах всей залежи, основываясь на линейных показателях, взятых равномерно по всей площади. Например, если рудная залежь разведана вертикальными

скважинами, расположенными по квадратной сетке со стороной квадрата, равной l , и в каждой скважине известна вертикальная мощность m залежи, объем разведенной залежи по аналогии с формулой (IX, 6) выразится формулой

$$V = l^2 \Sigma m, \quad (\text{IX}, 10)$$

где Σm — сумма всех замеренных в скважинах мощностей в пределах нулевого контура.

Для любого другого показателя λ в виде запаса руды Q или запаса металла P мы будем иметь аналогичную формулу

$$\Lambda = l^2 \Sigma \lambda, \quad (\text{IX}, 11)$$

дающую значение объемного показателя или характеризующую скрытую топографическую поверхность в пределах нулевого контура.

Нахождение объемного показателя по формуле (IX, 10) носит название метода общих цифр (по Д. А. Казаковскому) или метода ячеистой суммы (по Н. Г. Келлю).

Показатель Λ можно себе представить как сумму элементарных объемов призм, имеющих основанием квадрат со стороной l и переменную высоту λ .

При этом верхние основания призм образуют ступенчатую поверхность, которую можно заменить плавной топографической поверхностью или поверхностью многогранника, ограничивающими тот же объем, что и ступенчатая поверхность.

Величина Λ и ее ошибка аналогии при вычислении Λ по формуле (IX, 10) зависят от положения разведочной сетки при одних и тех же размерах элементарной площадки (ячейки).

Ячейки могут иметь форму квадрата со стороной l , а также другой фигуры. Тогда в формуле (IX, 10) l^2 заменится величиной f , где последняя выражает собой площадь ячейки того или иного вида.

Ячейки целесообразно иногда разбивать в виде прямоугольников, когда изменчивость показателя по двум взаимно-перпендикулярным направлениям различна, например по простианию и по падению залежи. При размещении разведочных выработок в шахматном порядке форма ячеек представляется в виде параллелограммов или других равных фигур «ближайшего района». Расположение же разведочных точек в вершинах равносторонних треугольников создает фигуры, тяготеющие к отдельным точкам в виде правильного шестиугольника.

Для выяснения зависимости ячеистой суммы $\Sigma \lambda$ от положения разведочной сетки достаточно этой последней дать поступательное перемещение в двух взаимно-перпендикулярных направлениях по разведочным линиям в пределах стороны l в случае

квадратной сетки. Этим исчерпываются всевозможные положения разведочной сетки.

Построим на одной ячейке призму с объемом w , выражаемым равенством

$$w = \iint_0^l \Sigma \lambda dx dy. \quad (\text{IX, 12})$$

Эта призма ограничена сверху топографической поверхностью. Последняя выражает различные значения $\Sigma \lambda$ в зависимости от перемещения всей разведочной сетки в пределах одной ячейки.

Подходящая ячеистая сумма $\Sigma \lambda_{\text{и}}$ может быть выражена как частное от деления истинного Λ на l^2 :

$$\Sigma \lambda_{\text{и}} = \frac{\Lambda_{\text{ист}}}{l^2} = \frac{w}{l^2}. \quad (\text{IX, 13})$$

При определении объемного показателя в пределах внутреннего или разведенного контура часть, приходящаяся на межконтурную полосу, лежащую между границей залежи и внутренним контуром, отбрасывается. При этом отбрасываемая часть возьмет на себя меньшую долю от суммы $\Sigma \lambda_{\text{k}}$ показателей по краевым точкам, так как залежь выклинивается. Следовательно, объемный показатель Λ' в пределах внутреннего контура выразится в виде

$$\Lambda' = l^2 (\Sigma \lambda - c \Sigma \lambda_{\text{k}}), \quad (\text{IX, 14})$$

где коэффициент $c < 0,5$ находится эмпирически и во многих случаях принимается равным 0,2—0,3;

$\Sigma \lambda$ — сумма линейных показателей по всем рудным точкам в пределах внутреннего контура.

При другой форме ячейки, естественно, множитель l^2 формулы (IX, 14) заменяется множителем f , выражющим собой площадь соответствующего «ближайшего района» (ячейки).

Объемный показатель Λ' в пределах внутреннего контура можно выразить как произведение среднего значения $\lambda_{\text{ср}}$ на площадь F' внутреннего контура, исходя из следующего:

$$\Lambda' = l^2 \Sigma \lambda - \Lambda''. \quad (\text{IX, 15})$$

Здесь Λ'' — объемный показатель в пределах межконтурной полосы. В то же время

$$\Lambda' = \lambda_{\text{ср}} F', \quad (\text{IX, 16})$$

откуда

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{l^2 \Sigma \lambda - \Lambda''}{F'}. \quad (\text{IX, 17})$$

Приняв приближенно, что

$$\Lambda'' = \frac{1}{4} - l^2 \Sigma \lambda_{\text{k}}$$

и

$$F' = nl^2 - \frac{1}{2} n_{\text{k}} l^2,$$

будем иметь

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{2\Sigma \lambda - 0,5\Sigma \lambda_{\text{k}}}{2n - n_{\text{k}}}, \quad (\text{IX, 18})$$

где n — число всех рудных скважин (точек);
 n_{k} — число крайних рудных точек.

Подставив (IX, 18) в (IX, 16), получим выражение для Λ' :

$$\Lambda' = \frac{2\Sigma \lambda - 0,5\Sigma \lambda_{\text{k}}}{2n - n_{\text{k}}} F'. \quad (\text{IX, 19})$$

§ 36. Об ошибке метода общих цифр (интервальной и ячеистой суммы)

Ввиду недостаточной изученности вопросы оценки точности метода излагаются в общем виде.

Общая ошибка определения того или иного показателя складывается из технических ошибок (ошибок измерений) и ошибки аналогии. Оценка их производится раздельно. Не рассматривая здесь технических ошибок, остановимся на выяснении ошибки аналогии.

Ошибка λ , подсчитанная по формуле (IX, 6), является ошибкой аналогии. Последняя своим происхождением обязана тому обстоятельству, что значение показателя подсчитывается почти всегда по ограниченному числу разведочных данных.

Пусть на рис. 158 сплошная утолщенная кривая линия выражает действительное изменение показателя в промежутке кривой 1—8. Площадь указанной кривой, заштрихованная сплошными линиями, на рисунке обозначена буквой S .

В точках 1, 2, 3, ..., 8 данного промежутка через равные интервалы определены значения показателя, выписанные около каждого номера «съемочной» точки в знаменателе.

По ординатам, равным численным значениям показателя, построена ломаная кривая (на рис. 158 изображена пунктирной линией), представляющая собой «кривую» изменения показателя для данной разбивки «съемочных» точек. Площадь этой кривой, заштрихованная на фигуре пунктирующими линиями, обозначена буквой S' . При этом $S' \neq S$.

Разность $S' - S$ дает представление об ошибке аналогии в определении значения показателя и выражает ее величину для данной разбивки точек. Отношение этой разности к S выразит относительную величину ошибки аналогии. Различают реальную и предельную ошибки аналогии.

Под реальной ошибкой аналогии понимают относительную разность между подсчитанным значением показателя и его истинным значением при данном случайном расположении съемочных точек на линии.

Под предельной ошибкой аналогии понимается максимальная относительная разность между подсчитанным и истинным значением величины. Следо-

вательно, реальная ошибка аналогии ограничивается предельной ошибкой, т. е. не может быть больше последней при любом расположении разбивки точек измерения на линии. Предельную ошибку аналогии можно получить из измерений на неправильных кривых или на моделях неправильной формы. Измерения должны быть произведены в большом количестве, чтобы вывести определенную закономерность, выражаемую хотя бы таблично.

Для кривых, выражаемых аналитически, например для эллипса, предельная ошибка аналогии может быть подсчитана.

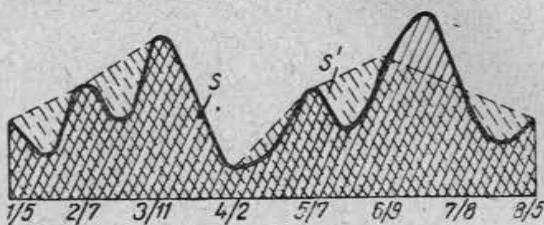


Рис. 158. К ошибке аналогии линейного показателя

Итак, ошибку аналогии для линейного показателя λ , подсчитанного по формуле (IX, 6), можно выразить в виде

$$\lambda - \lambda_{\text{ист}} = i(\Sigma \varepsilon - \Sigma \varepsilon_{\text{и}}). \quad (\text{IX}, 20)$$

Относительная же реальная ошибка аналогии линейного показателя выражается формулой

$$M(\lambda)_{\text{р}} = \frac{\lambda - \lambda_{\text{ист}}}{i \Sigma \varepsilon} = 1 - \frac{\Sigma \varepsilon_{\text{и}}}{\Sigma \varepsilon}. \quad (\text{IX}, 21)$$

Предельная ошибка аналогии выражается

$$\left. \begin{aligned} M(\lambda)_{\text{пред}} &= \frac{\Sigma \varepsilon_{\text{max}}}{\Sigma \varepsilon_{\text{и}}} - 1, \\ M(\lambda)_{\text{пред}} &= \frac{\Sigma \varepsilon_{\text{min}}}{\Sigma \varepsilon_{\text{и}}} - 1, \end{aligned} \right\} \quad (\text{IX}, 22)$$

где $\Sigma \varepsilon_{\text{max}}$ и $\Sigma \varepsilon_{\text{min}}$ — максимальная и минимальная сумма измеренных значений показателя при данном неизменном интервале i и переменном положении точек разбивки на линии в пределах нулевых точек. На рис. 157 случайно $\Sigma \varepsilon_{\text{min}} = \Sigma \varepsilon_0 = \Sigma \varepsilon_p$.

При весьма неправильной волнистой линии изменения показателя можно принять, что

$$\Sigma \varepsilon_{\text{max}} - \Sigma \varepsilon_{\text{и}} = \Sigma \varepsilon_{\text{и}} - \Sigma \varepsilon_{\text{min}},$$

откуда

$$M(\lambda)_{\text{пред}} = \frac{\Sigma \varepsilon_{\text{max}} - \Sigma \varepsilon_{\text{min}}}{2 \Sigma \varepsilon_{\text{и}}}. \quad (\text{IX}, 23)$$

С уменьшением интервала i уменьшается и предельная относительная ошибка $M(\lambda)_{\text{пред}}$, стремясь к нулю при стремлении к нулю интервала i .

Реальная же ошибка $M(\lambda)_{\text{р}}$ не выходит за пределы $M(\lambda)_{\text{пред}}$, принимая при этом различные значения, в том числе и равные нулю.

Определенного закона убывания реальных ошибок нет. Вполне может случиться, что, например, с уменьшением интервала i в два раза реальная ошибка для конкретного положения разбивки на интервалы может оказаться большей, чем ошибка при неуменьшенном исходном интервале. Здесь можно говорить лишь о вероятности уменьшения реальной ошибки аналогии при уменьшении интервала.

Если представить предельную ошибку аналогии в виде кривой, асимптотически приближающейся к нулевой линии по мере уменьшения интервала от i до нуля, то реальная ошибка аналогии будет изменяться внутри площади между кривой предельной ошибки и нулевой линией, но путь ее при неподвижной разбивке и постепенном уменьшении интервала будет зигзагообразным. Это является дополнительным подтверждением того, что суждение о точности подсчета по формуле (IX, 6) должно основываться только на предельной ошибке аналогии. Как показывают проведенные Д. К. Казаковским наблюдения на моделях тел неправильной формы, ошибки аналогии зависят от изменчивости показателя (мощности), расстояния между точками измерения ее и расположения сетки замерных точек. При этом численная ошибка может достигать 20% и более.

Ниже, в отдельных местах при изложении последующего материала, мы будем еще возвращаться к вопросу об ошибках линейных и контурных показателей в том или ином виде.

§ 37. Изменчивость и изученность показателя залежи

Каждый показатель залежи изменяется в той или иной мере от точки к точке. Чем более изменчивы показатели залежи или месторождения, тем в большем числе точек должны быть определены при разведке их значения, иначе изученность месторождения может оказаться недостаточной.

В процессе геометризации месторождений полезных ископаемых необходимо численно выражать изменчивость показателей залежи. Для этого пользуются разными методами.

В математической статистике для характеристики абсолютной изменчивости показателя пользуются величиной среднего квадратического отклонения

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n-1}}, \quad (\text{IX}, 24)$$

где $\Sigma \Delta^2$ — сумма квадратов отклонений измеренных значений показателя от его среднего арифметического значения;

n — число наблюдений (определений).

Относительная изменчивость характеризуется коэффициентом вариации

$$V = \pm \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{ср}}} 100, \quad (\text{IX}, 25)$$

где σ — величина среднего квадратического отклонения по (IX, 24);

ε_{cp} — среднее значение показателя.

Ошибка определения среднего значения показателя по залежи (или ее части) по достаточному числу выборочных данных приближенно находится из выражения

$$m \cong t \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (\text{IX, 26})$$

Д. А. Казаковский [IV, 6] предложил для характеристики абсолютной изменчивости показателя пользоваться абсолютной величиной среднего значения вторых последовательных разностей из измеренных значений показателя

$$I_a = \frac{\Sigma |\Delta''_e|}{k}, \quad (\text{IX, 27})$$

где $\Sigma |\Delta''_e|$ — сумма абсолютных значений вторых разностей из измеренных значений показателя;

k — число вторых разностей.

При этом относительная изменчивость I показателя для правильной формы сетки «разведочных» точек определяется выражением

$$I = \frac{\Sigma |\Delta''_e|}{k\varepsilon_{cp}}. \quad (\text{IX, 28})$$

Величина I позволяет численно оценивать изменчивость показателя залежи по отдельным направлениям и по площади.

Наибольший практический интерес представляют направления по простираннию и падению залежи.

Подобная численная характеристика изменчивости показателя может оказаться полезной при выборе разведочной сетки точек, определении густоты точек и т. д.

Величина I , вычисляемая по формуле (IX, 28), имеет существенное преимущество перед коэффициентом вариации V . В отличие от него I зависит не только от изменений численных значений показателя залежи, но также и от характера этого изменения.

Для примера на рис. 159, а дан ряд измерений показателя по некоторой линии, дающий пример простейшего его изменения, а на рис. 159, б при тех же численных значениях показателя приведено более сложное его изменение. При характеристике

относительной изменчивости коэффициентом вариации V последний в обоих случаях будет один и тот же.

Использование для этих целей величины I в варианте (а) дает $I=0$, для второго варианта (б) величина $I=2,33$, т. е. при простом изменении показателя залежи I имеет меньшее численное значение, чем при более сложном.

Отмеченное преимущество I вытекает из существа вторых разностей, характеризующих кривизну кривой свойств залежи. При этом следует иметь в виду, что вторые разности начинают характеризовать кривую свойств с определенного предела ее дробления.

Если волны кривой изменения показателя размещаются в пределах одного интервала или части его, то значительная часть вторых разностей может стушеваться, и тем самым получится неправильное представление об изменчивости кривой.

Сгущение разбивки следует вести до такого предела, чтобы соседние «разведочные» точки попадали на часть волны. Только с этого момента величина интервала начинает выражать среднее расстояние между максимумами и минимумами волн кривой свойств или их размах и вторые разности однозначно определяют изменчивость.

При изучении профиля скрытой топографической поверхности вдоль некоторой разведочной линии критерием достижения указанной предельной величины интервала i или достаточной густоты разведочных точек является отсутствие перемены знака в первых разностях из значений показателя при задании дополнительных точек между имеющимися разведочными точками.

Число r , с которым ошибка аналогии в определении значения показателя залежи связана обратной зависимостью, называется изученностью. Его можно найти из выражения

$$r = \frac{n}{I} = \frac{k\varepsilon_{cp}n}{\Sigma |\Delta''_e|}. \quad (\text{IX, 29})$$

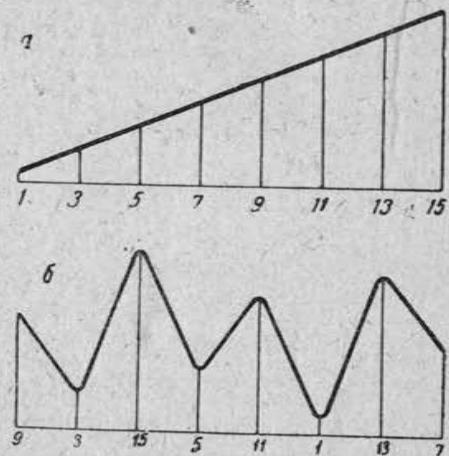


Рис. 159. К сравнению численной характеристики относительной изменчивости показателя путем использования U и J

Так как r по своему численному значению может быть большим, то для удобства пользования Д. А. Казаковский предложил его уменьшать в 1000 раз. Для определения ошибки аналогии значения показателя залежи Д. А. Казаковским дана в виде таблицы и графика (рис. 160) зависимость между $M(\Sigma\varepsilon)_{\text{пред}}$ и r , выявленная путем экспериментирования с моделями тел неправильной формы; указанная зависимость подтвердилась на практике на ряде месторождений. Рис. 160 показывает, что при малых значениях r предельная ошибка аналогии $M(\Sigma\varepsilon)_{\text{пред}}$ быстро изменяет свою величину, и наоборот, при значениях $r > 0,3$ она изменяется очень медленно.

Следовательно, начиная с некоторой определенной величины (например, $r \geq 0,3$) нет смысла увеличивать густоту точек определения показателей залежи, так как возрастание объема работ уже не будет оправдываться получаемым улучшением результата.

А. И. Осецкий [III, 5] в качестве показателя соответствия густоты разведочных точек характеру разведуемой залежи предложил величину K , определяемую из выражения

$$K = \frac{(\varepsilon_i + \varepsilon'_{i+1}) - (\varepsilon'_i + \varepsilon_{i+1})}{12}, \quad (\text{IX}, 30)$$

где ε_i и ε'_{i+1} (соответственно ε'_i и ε_{i+1}) — показатели залежи в противоположных углах разведочной ячейки, и называемую им красным числом.

Величина K , выражающая через значения показателя ε в угловых точках разведочной ячейки отклонение изучаемой поверхности от плоскости, характеризует изменчивость показателя залежи в пределах указанной ячейки. Совокупность же этих величин характеризует поверхность в пределах выделенного контура. А. И. Осецкий применительно к мощностям залежи показал, что K изменяет свои значения в пределах от 0 до $\frac{\varepsilon_{\text{ср}}}{3}$, где $\varepsilon_{\text{ср}}$ — среднее значение показателя в пределах ячейки из значений его в угловых точках последней.

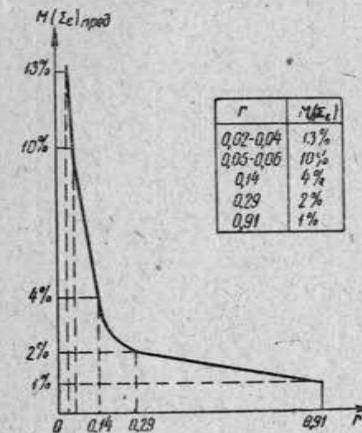
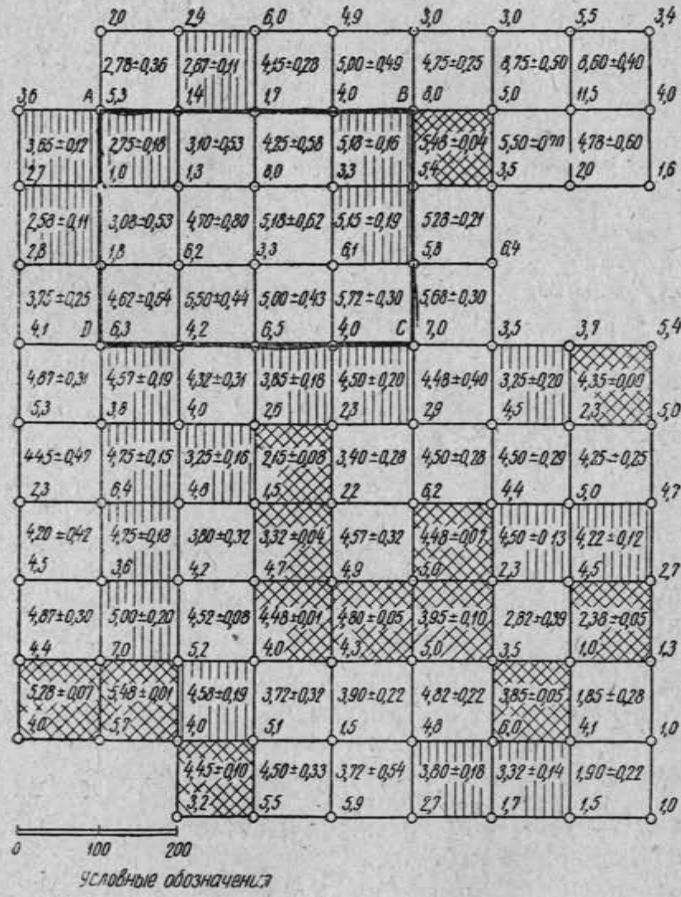


Рис. 160. Таблица и кривая зависимости между показателями изученности r и ошибкой аналогии $M(\Sigma\varepsilon)_{\text{пред}}$ (по Д. А. Казаковскому)

Красные числа K могут быть использованы для оценки густоты точек детальной разведки и вообще при организации разведки методом приближений.

На рис. 161 приведен план детальной разведки участка за-



- [Горизонтальная полоса] Ячейки 1-й группы
- [Вертикальная полоса] Ячейки 2-й группы
- [Пустой квадрат] Ячейки 3-й группы

Рис. 161. План детальной разведки участка залежи (по А. И. Осецкому)

лежи с указанием мощностей залежи по скважинам, средних мощностей и красных чисел в каждой разведочной ячейке. Все разведочные ячейки по величине K разбиты на три группы. К первой группе отнесены ячейки, где красное число не превы-

шает 0,1, полагая, что в этих ячейках густота скважины соответствует изменчивости показателя (мощности) залежи.

Во вторую группу отнесены ячейки с красными числами от 0,1 до 0,2 в предположении, что изменения мощности, вызывающие колебания K в указанных пределах, не окажут существенного влияния на точность определения запасов и процесс эксплуатации залежи. В третью группу отнесены ячейки, в которых K больше 0,2. В этих ячейках следует считать густоту скважины недостаточной, так как ими не вскрывается форма залежи, что без пояснения видно из двух принципиально разных планов изомощностей (рис. 162, а и б), которые вычерчены

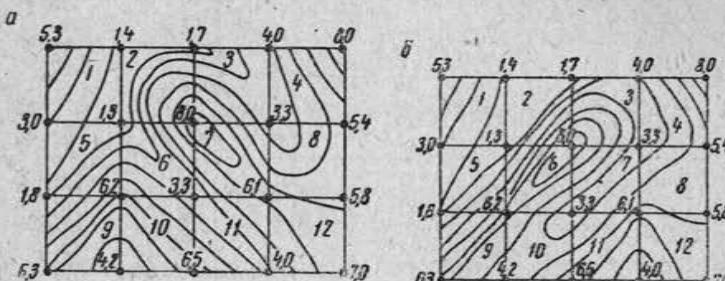


Рис. 162. План изомощностей участка залежи в контуре АВОД (рис. 161) (по А. И. Осецкому)

по одним и тем же данным разведки, взятым в контуре АВСД (рис. 161).

Отнесение ячеек к той или иной группе каждый раз должно обусловливаться конкретными условиями и целями разведки.

Сообразно с ними устанавливаются пределы красных чисел для выделяемых групп ячеек по степени разведанности.

Организация разведки методом приближений сводится в первой стадии к покрытию площади разведки некоторым минимальным количеством скважин, располагаемых равномерно, например по квадратной сетке.

Далее, анализируя результаты разведки с использованием красных чисел, намечают участки для сгущения разведки. В связи с этим в проекте разведки должны быть обоснованы для данных условий:

- минимальная плотность разведочных точек, которыми равномерно покрывается вся площадь разведки;
- допустимая величина K , являющаяся критерием сгущения разведочных точек;
- предел сгущения.

Рассматривая залежь в целом и отдельные ее показатели как результат сложного геологического процесса и выражая

каждый показатель в виде скрытой реальной или условной топографической поверхности, последнюю можно геометрически представлять как совокупность форм различного порядка.

Важность этого положения с точки зрения геометризации месторождений подчеркнул Е. И. Попов [III, 6, 7], который, развивая идею использования вторых последовательных разностей при численной характеристике изменчивости показателей залежи, предложил в изучаемой поверхности выделять основную и вторичные формы, сопровождающие основную и усложняющие ее.

Хотя данный вопрос был им рассмотрен применительно к гипсометрии угольных месторождений Подмосковного бассейна, сделанные выводы имеют более общее методическое значение, так как позволяют при изучении геометрических свойств условной поверхности применять методы интерполяции и математической статистики.

Каждое значение изучаемой поверхности является суммой показателей основной и вторичных ее форм.

При разведке месторождения значения изучаемых показателей определяются в отдельных точках, т. е. являются выборочными. Последние также состоят из показателей основной и вторичных форм или содержат систематическую и случайную составляющие выборочных значений показателя.

Систематическая составляющая определяется основной формой и частью вскрываемых вторичных форм. Она отражает характер и степень изменения выборочных значений показателя.

Случайная составляющая определяется невскрываемыми вторичными формами. Она также отражает характер и степень изменения выборочных значений показателя.

Величина систематической и случайной составляющих зависит от сложности изучаемой поверхности и плотности разведочных точек.

Совокупность выборочных значений показателя, полученная при той или иной плотности разведочных точек, является механической выборкой, которая может быть случайной, неслучайной или промежуточной между ними.

По справедливому замечанию Е. И. Попова, название «механическая выборка» не вполне удачно, так как с этим названием иногда связано неправильное понимание свойств механической выборки и возможностей ее использования для решения практических, например разведочных, задач. Удачнее было бы назвать механическую выборку, исходя из ее существа, последовательной.

Если показатели основной формы не изменяются в пределах выделенного контура, а вторичные формы до некоторого по-

рядка значительно искажают основную и в то же время плотность разведочных точек не вскрывает расположения и изменения вторичных форм, то механическая выборка близка по своему характеру к случайной.

Если основная форма незначительно искажена вторичными и подчиняется закономерностям, которые легко вскрываются даже при незначительной плотности разведочных точек, то механическая выборка носит неслучайный характер. Выборка будет

ненеслучайной и в том случае, если основная форма значительно искажена вторичными формами, но разведочная сетка сгущена настолько, что ею вскрываются закономерности основной и части вторичных форм до некоторого порядка, а вторичными формами последующих порядков можно пренебречь.

Механическая выборка носит промежуточный характер между случайной и ненеслучайной, если плотность разведочных точек достаточна для того, чтобы вскрыть основную форму и часть вторичных форм до некоторого порядка, но недостаточна, чтобы вскрыть вторичные формы последующих порядков, которые искажают вскрываемые закономерности изменения поверхности и вносят элемент случайности в выборочные значения показателя.

Таким образом, характер механической выборки изменяется при переходе от простых к сложным формам изучаемой поверхности и при изменении плотности разведочной сетки. При этих же условиях меняется структура выборочных значений показателя (рис. 163). При сгущении разведочной сетки (или при изучении поверхности, близкой к геометрически правильной) число вскрываемых вторичных форм увеличивается, а следовательно, увеличивается удельный вес систематической составляющей выборочных значений показателя. Наоборот, при разрежении разведочной сетки увеличивается число невскрываемых вторичных форм, а следовательно, увеличивается удельный вес случайной составляющей выборочных значений показателя.

В условиях разведки месторождений полезных ископаемых

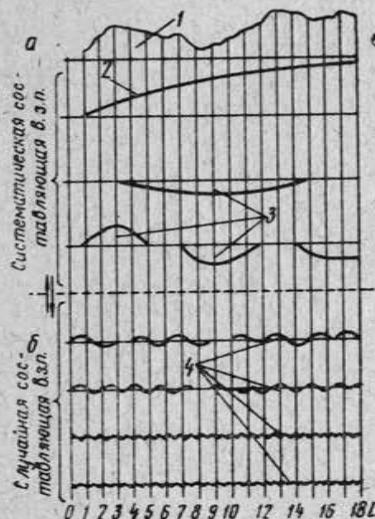


Рис. 163. Схема к разделению выборочных значений показателя на систематическую и случайную составляющие (по Е. И. Попову)

с применением правильных или близких к ним сеток возможны все три типа характера механической выборки. Однако встречаются они неодинаково часто.

Закономерность протекания геологических процессов и их сложность обуславливают преимущественное выявление в наблюдениях выборки промежуточного характера.

Из изложенного следует относительность понятия изменчивость показателя залежи. Численное выражение ее непостоянно, определяется сложностью изучаемого показателя (поверхности) и густотой разведочных точек, т. е. оно отражает степень нашего знания об изучаемом объекте.

Точность графического выражения изучаемого показателя по выборочным данным в виде поверхности зависит от степени и характера изменчивости ее и густоты разведочных точек, т. е. от характера выборки, а также от способа построения поверхности. Учитывая используемые величины для характеристики изменчивости, Е. И. Попов [III, 6, 7] рекомендует применять при построении поверхности в изолиниях параболическое интерполярование, представляя его как линейное интерполовирование между скважинами по сторонам разведочных ячеек и определение среднего арифметического из угловых значений показателя для центров разведочных ячеек.

Ошибки интерполяирования, так же как и выборочные значения показателя, при случайном характере выборки являются случайными величинами, при неслучайном — функциями изображаемой поверхности, при промежуточном — содержат случайную и систематическую части.

При различных характеристиках выборки следует применять разные методы оценки точности графического выражения показателя (геометризации). При неслучайном характере можно пользоваться известными интерполяционными формулами, при случайном — методами математической статистики.

При промежуточном характере выборки как первый, так и второй метод в чистом виде применять нельзя. Здесь следует сделать оценку точности для неслучайного и случайного характера выборки через одни и те же величины, чтобы определить пределы в которых заключена точность графического выражения показателя при промежуточном характере выборки.

В качестве таких величин применяют указанные выше вторые последовательные разности и красные числа.

При неслучайном характере выборки вторые разности являются приближенными значениями второй производной, поэтому ошибка интерполяирования между разведочными скважи-

нами по сторонам ячейки выражается по интерполяционной формуле Бесселя в виде [III, 6, 7]

$$P_{\text{ск/не}} \approx \sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{64k}}, \quad (\text{IX}, 31)$$

где $P_{\text{ск/не}}$ — среднее квадратическое значение ошибки интерполяции при неслучайном характере выборки; $\Sigma \Delta''^2$ — сумма вторых последовательных разностей из измеренных значений показателя в разведочных точках; k — число вторых разностей.

Средняя квадратическая ошибка интерполяции для центров ячеек при неслучайном характере выборки находится из выражения

$$P'_{\text{ск/не}} \approx 0,7 \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}}, \quad (\text{IX}, 32)$$

где k' — число значений K .

При случайном характере выборки соответствующие формулы имеют вид:

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{ск/сл}} \approx 1,2 \sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6k}}; \\ P'_{\text{ск/сл}} \approx 1,1 \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}}. \end{array} \right\} \quad (\text{IX}, 33)$$

Формулы (IX, 31), (IX, 32) и (IX, 33) позволяют определить пределы, в которых заключена среднеквадратическая ошибка интерполяции при промежуточном характере выборки:

$$\left. \begin{array}{l} 0,3 \sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6k}} < P_{\text{ск/пр}} \leq 1,2 \sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6k}}; \\ 0,7 \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}} < P'_{\text{ск/пр}} \leq 1,1 \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}}. \end{array} \right\} \quad (\text{IX}, 34)$$

Исходя из этих соотношений $P_{\text{ск/пр}}$ и $P'_{\text{ск/пр}}$, можно с достаточной практической точностью определять по приближенным формулам:

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{ск/пр}} \approx \sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6k}}; \\ P'_{\text{ск/пр}} \approx \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}}. \end{array} \right\} \quad (\text{IX}, 35)$$

где Δ'' — вторые последовательные разности, вычисляемые по выборочным значениям показателя; k — число вторых разностей; K — красные числа; k' — число значений K .

Таким образом, абсолютную изменчивость показателя численно можно характеризовать по формулам (IX, 27) и (IX, 35).

Неслучайный характер выборки определяется закономерным изменением величины последовательных разностей и закономерным чередованием их знаков.

При случайному характере выборки должно выполняться равенство

$$\sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6k}} \approx \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}} \approx \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}_{\text{ср}})^2}{n-1}};$$

при промежуточном — неравенство

$$\sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6k}} \approx \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}} < \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}_{\text{ср}})^2}{n-1}},$$

где n — количество выборочных значений показателя.

При случайному характере выборки наилучшим приближением к изучаемой поверхности при данной плотности сетки будет плоскость, проведенная на уровне общего среднего. В этом случае абсолютную изменчивость можно численно характеризовать по формуле (IX, 24).

Е. И. Поповым [III, 6, 7] в результате экспериментирования с реальными моделями получен вид зависимости точности гипсометрии залежи от плотности разведочной сетки (рис. 164). Несмотря на то, что исследуемые поверхности были различны по своему характеру, вид кривых, построенных по средним значениям $P_{\text{ск/пр}}$ для разных плотностей разведочной сетки и выражавших указанную зависимость, одинаков, т. е. кривая имеет плавную выпуклую форму.

Построение подобной кривой можно использовать для ориентировочного определения точности гипсометрии (или другой поверхности) при сетках более плотных, чем принятая. Действительно, результат оценки точности при данной плотности сетки и начало координат кривой — это уже две точки указанной кривой. Третью можно получить, производя оценку точности для сетки в два раза более редкой. Соединив эти три точки плавной кривой, получим кривую изменения точности для данной поверхности. Она будет вполне достаточна для решения поставленной задачи.

Изложенную методику можно использовать не только для правильных разведочных сеток, но и при другом расположении скважин, производя оценку точности по формулам (IX, 35).

При беспорядочном расположении скважин можно выбрать ряд направлений, по которым последние будут размещены на некотором, приблизительно равном расстоянии друг от друга. Изменяя это расстояние, можно получить точность линейного

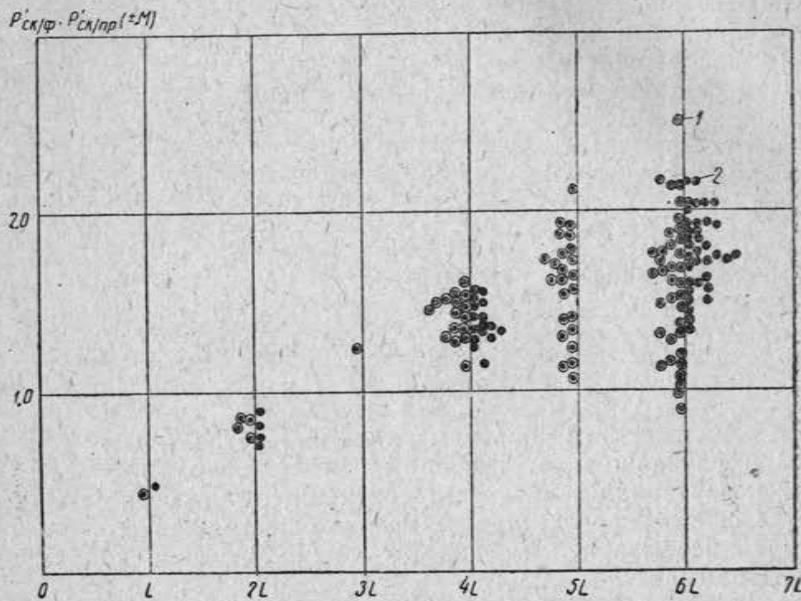


Рис. 164. Изменение точности гипсометрического плана залежи в зависимости от изменения плотности разведочной сетки (по Е. И. Попову):

1 — расчетные значения $P'_{ск/пр}$, 2 — фактические значения $P'_{ск/ф}$

интерполирования для различных расстояний между скважинами, т. е. получить указанную выше кривую зависимости точности от плотности разведочных выработок. Определив среднее расстояние между скважинами, можно снять с этой кривой соответствующее ему значение точности, которое будет отвечать беспорядочному расположению скважин.

§ 38. Сглаживание (обобщение) результатов наблюдений

Обобщение, или сглаживание, результатов наблюдения подразделяют на линейное, площадное и объемное.

При линейном сглаживании кривые свойств (показателей)

залежи (эмпирические кривые) строятся по измеренным значениям в точках, расположенных по линиям. Линейное сглаживание называется также сглаживанием эмпирических кривых.

Эмпирические кривые нередко имеют сложное очертание, затрудняющее ясную передачу характера изменения показателя, особенно при изображении последнего на плане в изолиниях.

Сложность эмпирических кривых определяется сложностью распределения и изменения показателя. Картина еще более усложняется наличием ошибок, которые неизбежно появляются при определении численных значений показателя в отдельных точках.

Из всех показателей залежи наиболее изменчивым является содержание компонентов в руде. Поэтому при резком и сложном изменении содержания того или иного компонента при линейном расположении «разведочных» точек производится так называемое линейное сглаживание эмпирических кривых.

Применяется оно главным образом при обработке эксплуатационного и секционного опробования скважин на рудных месторождениях.

Эмпирические кривые, характеризующие содержание компонента, часто изобилуют резкими переходами, скачками, или так называемыми «пиками».

Если для некоторого участка, пользуясь эмпирическими кривыми, дать общую картину изменения показателя в виде плана изолиний, то наличие «пик» при принятом сечении даст в ряде мест такое скопление изолиний, при котором ухудшится наглядность плана.

Необходимо иметь в виду, что эмпирическая кривая только приближенно характеризует содержание даже в тех точках, в которых оно установлено, так как ошибки определения показателя полностью отражаются на графике, вызывая в нем значительные искажения. Таким образом, план изолиний содержания, построенный по эмпирическим кривым, не обеспечивает точного представления о значениях показателя в отдельных точках. Однако последнее не является обязательным требованием к плану, так как практически необходимо знать среднее значение содержания в некоторых пределах. При подсчете запасов полезного ископаемого производится осреднение содержания, а при выемке руды происходит неизбежное ее перемешивание и вынутая руда характеризуется также средним содержанием компонента.

Следовательно, для того чтобы иметь более наглядные графики, выражющие характер изменения показателя, и уменьшить влияние случайных ошибок его определения, эмпириче-

ские кривые свойств (показателя) выравнивают, или, как говорят, «сглаживают».

Выравнивание эмпирических кривых содержания вызывает некоторое изменение данных химического анализа. Планы, построенные по выровненным, или сглаженным, кривым, характеризуют в каждой точке не присущее ей значение содержания, а среднее его значение для некоторого вполне определенного участка.

Так, практическими требованиями вызывается необходимость сглаживания эмпирических кривых.

Перед сглаживанием эмпирической кривой содержания решается вопрос об использовании «разведочных» точек с весьма высоким содержанием полезного компонента в руде. В практике в одних случаях указанные содержания не учитываются совершенно, в других случаях влияние проб (точек) с весьма высоким содержанием распространяется на половину интервала, т. е. на равных основаниях с пробами, дающими типичные для данного участка содержания, и, в-третьих, вводится некоторый коэффициент, зависящий от частоты появления проб этого класса.

Следует отметить, что исключение из обработки проб с весьма высоким содержанием не имеет под собой основания. При большой же густоте опробования, как это имеет место при опробовании эксплуатационных выработок, и достаточной частоте появления проб с весьма высоким содержанием, исключающей случайность или ошибочность получения результата, необходимость их учета очевидна.

Расстояние Δx , на которое следует распространить влияние пробы с весьма высоким содержанием внутри интервала i , находится из выражения

$$\Delta x = 0,5a. \quad (\text{IX}, 36)$$

Здесь

$$a = \frac{n'}{n''}, \quad (\text{IX}, 37)$$

где n' — частота появления проб с весьма высоким содержанием;

n'' — частота появления проб класса, к которому относится проба на другом конце взятого интервала.

Выражение (IX, 36) основано на том, что выявленная закономерность распределения содержания для некоторого участка учитывается при установлении степени влияния отдельных значений показателя. Это справедливо в той мере, в какой частное является выражением общего.

Приемы сглаживания разделяются на аналитические и механические.

При аналитических приемах сглаживания пользуются той или иной выравнивающей формулой, устанавливающей зависимость между значением показателя (ординатой) в некоторой точке и положением последней на «разведочной» линии. Однако следует иметь в виду, что функциональная зависимость, выражаемая принятой формулой, является приближенной. Выбор формулы сглаживания определяет степень этого приближения и устанавливает пределы, в которых оно действительно.

При механических приемах сглаживания для каждого выделенного участка эмпирической кривой свойств вычисляется среднее значение показателя и относится к середине этого участка. Полученные и отнесенные таким образом средние показатели являются ординатами сглаженной кривой. Называются они скользящими средними.

В качестве иллюстрации аналитического приема сглаживания можно привести параболическое сглаживание. Сущность его заключается в том, что ордината сглаженной кривой вычисляется по формуле параболы того или иного порядка.

Параметры сглаживающей параболы находятся по способу наименьших квадратов и основываются на условии

$$\Sigma(y' - y)^2 = \min, \quad (\text{IX}, 38)$$

где y' — ордината сглаженной кривой;

y — ордината эмпирической кривой.

При применении параболы второго порядка значения y' находятся по формуле

$$y' = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (\text{IX}, 39)$$

При этом параметры $a_0, a_1, a_2 \dots$ определяются из решения следующих нормальных уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} na_0 + a_1\sum x + a_2\sum x^2 = \sum y; \\ a_0\sum x + a_1\sum x^2 + a_2\sum x^3 = \sum xy; \\ a_0\sum x^2 + a_1\sum x^3 + a_2\sum x^4 = \sum x^2y. \end{array} \right\} \quad (\text{IX}, 40)$$

Приведем пример вычисления параметров параболы второго порядка и ординат y' сглаженной кривой, относящейся к обработке содержания кремнезема в железной руде, по данным опробования одной из камер рудника в Кривом Роге.

В приведенной табл. 2 столбцы 1, 2 и 6 представляют исходные данные, а остальные — результат вычислений, при этом абсцисса начальной пробы принята за нуль. При большой дли-

че линии опробования, чтобы не иметь дела с большими числами, за нуль следует брать абсциссу средней пробы. Для вычисления квадратов, кубов и четвертых степеней абсцисс следует пользоваться таблицами.

Таблица 2

Вычисление ординат сглаженной кривой

№ пробы	x	x^2	x^3	x^4	y	xy	x^2y	y'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
116	0	0	0	0	6,40	0	0	7,60
117	2,5	6,25	16	39,1	8,28	20,7	52	7,33
118	6,5	42,25	275	1785	8,40	54,6	355	7,90
119	11,5	132,25	1521	17490	11,46	131,8	1516	11,19
120	17,0	289,00	4913	83521	12,40	210,8	3584	14,87
121	21,5	461,25	9938	213675	20,72	445,5	9578	20,38
122	26,0	676,0	17576	456976	28,00	728,0	18928	27,39
$\Sigma = 7$	85,0	1608	34239	773838	95,66	1591,4	34013	96,66

Напишем нормальные уравнения:

$$7a_0 + 85a_1 + 1608a_2 - 95,66 = 0;$$

$$85a_0 + 1608a_1 + 34240a_2 - 1591 = 0;$$

$$1608a_0 + 34240a_1 + 773800a_2 - 34010 = 0.$$

Решая их, получим искомые значения параметров параболы, а именно: $a_0=7,60$, $a_1=-0,201$, $a_2=0,037$, после чего уравнение выравнивающей параболы второго порядка для взятого примера примет вид:

$$y' = 7,60 - 0,201x + 0,037x^2.$$

Вычисленные по этому уравнению значения содержания выписаны в столбец 9 приведенной выше таблицы.

Как следует из изложенного, вычислительная работа при применении параболического сглаживания значительна. При этом эмпирические кривые не всегда имеют вид параболы второго порядка.

Таким образом, в ряде случаев вызывается необходимость пользоваться уравнением параболы высшего порядка. А выравнивание по параболе третьей степени уже требует времени в 1,5–2 раза больше, чем выравнивание по параболе второй сте-

пени. Поэтому громоздкость вычислительной работы часто служит помехой применения параболического сглаживания.

Приложение же гармонического анализа к сглаживанию эмпирических кривых затрудняется тем, что последние редко имеют выраженную периодичность. Отсюда является понятным преимущественное применение механических способов выравнивания эмпирических кривых.

Простым способом механического сглаживания является замена ординат эмпирической кривой так называемой скользящей средней. При этом если значение выровненных ординат находится графически при помощи палетки, изображенной на рис. 165, то этот способ носит название способа «скользящего окна». Он является наиболее распространенным. Степень одного сглаживания зависит от величины «окна» (расстояния между крайними ординатами палетки) и шага перемещения палетки при сглаживании (расстояния между соседними ординатами палетки). Величина «скользящего окна» выбирается в зависимости от характера выравниваемых кривых. Часто применяются палетки с пятью ординатами (см. рис. 165) с величиной «окна» в 2 см и шагом перемещения 0,5 см. Пользуются признаком и трехординатные палетки. Для удобства пользования палетки вычерчиваются тушью на восковой бумаге или кальке. При накладке палетки на эмпирическую кривую последняя на ординатах палетки отсекает определенные отрезки — ординаты эмпирической кривой, а горизонтальные равноотстоящие линии палетки, проведенные через 2 мм, облегчают определение ординат эмпирической кривой.

Рассмотрим сглаживание эмпирической кривой способом «скользящего окна».

Пусть на рис. 166 эмпирическая кривая представлена ломаной линией $abcd$. Ее необходимо сгладить. Пусть величина выбранного окна равна l . На основании m кривой от начальной точки a откладывают отрезки, равные $0,25l$, т. е. расстоянию между соседними ординатами палетки. Затем палетка $NMKL$ (здесь NM и KL — крайние ординаты палетки) накладываются на график эмпирической кривой таким образом, что ее основание MK совпадает с осью m , а ордината NM проходит через начальную точку a кривой. Это первое положение палетки. Для

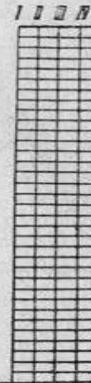


Рис. 165. Палетка для определения скользящей средней

него находится среднее значение из пяти ординат эмпирической кривой, отсеченных ординатами палетки, и относится к середине «окна». Значение указанной средней ординаты, являющейся ординатой сглаженной кривой, фиксируется на рис. 166 точкой 1. Линия rq , проходящая через точку 1 и параллельная оси m , должна отсекать в пределах палетки («окна») прямоугольник $MabK$, по площади равный многоугольнику $MabK$,

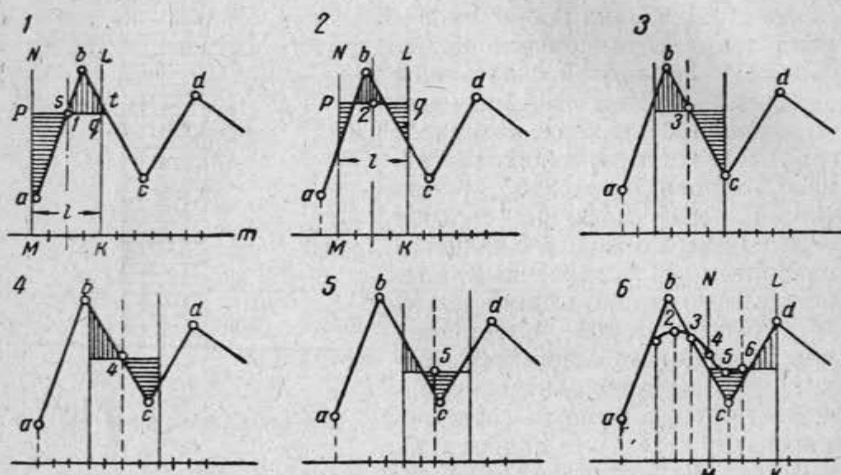


Рис. 166. Определение скользящей средней при помощи палетки

или, что же, площади, заштрихованные горизонтальными и вертикальными линиями, должны быть равны друг другу. Перемещая последовательно палетку вправо на величину 0,25 l (см. рис. 166, положения 2, 3, 4, 5, 6), находим аналогично предыдущему по ординатам эмпирической кривой соответствующие значения ординат сглаженной кривой, фиксируемые на рис. 166 точками 2, 3, 4, 5, 6. Соединяя нанесенные точки плавной кривой, мы получим в заданном промежутке сглаженную кривую (показана утолщенной линией). Исходя из положений, лежащих в основе этого способа сглаживания, следует, что площадь, ограниченная сглаженной кривой, должна равняться площади, ограниченной эмпирической кривой.

Как следует из приведенной фигуры, вне сглаживания остаются участки в начале и в конце эмпирической кривой, равные вдоль оси последней половине «окна».

Результат полученного сглаживания может быть улучшен повторным сглаживанием.

На рис. 167 тонкой пунктирной линией изображена эмпирическая кривая, построенная по данным опробования выработки одного из золоторудных месторождений.

Утолщенной линией изображена сглаженная кривая, построенная указанным выше приемом. Здесь же для принятой величины сечения изолиний содержания (5 единиц содержания) на линию опробования спроектированы точки сглаженной кривой со значениями, кратными выбранному сечению, — точки со ступенчатыми отметками с целью использования их в последующем при составлении качественного плана.

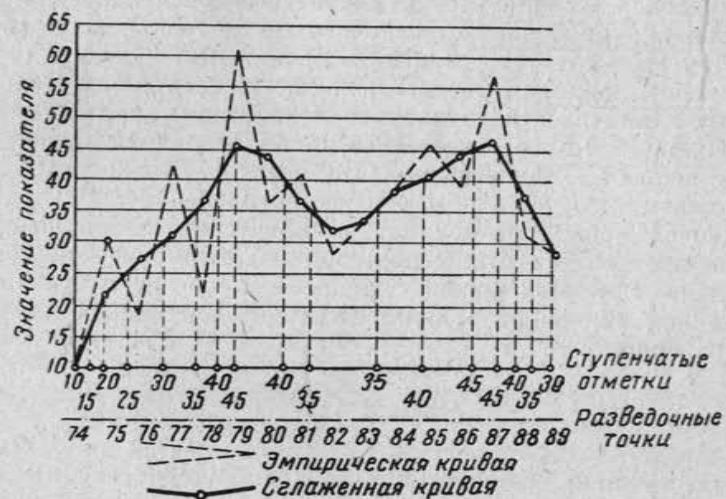


Рис. 167. Сглаживание эмпирической кривой методом «скользящего окна»

При любом способе сглаживания должны удовлетворяться два следующих основных требования:

- минимальное отклонение ординат сглаженной кривой от ординат эмпирической кривой и
 - обеспечение достаточной плавности сглаженной кривой.
- Кроме того, сглаживание должно обеспечить:
- освобождение кривой от влияния случайных ошибок в определении показателя;
 - наглядность плана изолиний и
 - сохранение характера изменения показателя.

Нетрудно видеть, что указанные основные требования к сглаживанию находятся между собой в противоречии. В самом деле, чем большую плавность мы будем сообщать выровненной кривой, тем большими отклонениями выровненных ординат от эмпирических она будет сопровождаться.

Достоинством того или иного выравнивания вовсе не является только малая величина отклонения ординат сглаженной кривой, так как в этом случае идеальным сглаживанием было бы его отсутствие. Не следует также забывать, что хотя опробование неизбежно сопровождается погрешностями, оно все же является единственным критерием для оценки качества руды. Поэтому, производя сглаживание эмпирических кривых содержания, следует его производить в такой мере, при которой выровненные кривые сохранили бы характер изменения содержания. Следовательно, сглаживание следует производить в разумных пределах, сообразуясь с характером распределения компонентов в рудной залежи и точностью материалов опробования. При этом следует установить правильный критерий, чтобы не прийти к ложным выводам и не затушевать действительную картину изменчивости изучаемого показателя. Трудность этого заключается в том, что здесь нет явных оснований точного решения вопроса. Единственно, что в этом отношении можно предложить, это то, чтобы среднее отклонение Δy_{cp} ординат сглаженной кривой от ординат эмпирической кривой было не больше предельного отклонения ординат эмпирической кривой от ординат истинной кривой. Среднее отклонение Δy_{cp} ординат сглаженной кривой от ординат эмпирической кривой найдется из выражения

$$\Delta y_{cp} = \frac{S_0}{L}, \quad (IX, 41)$$

где S_0 — площадь, заключенная между эмпирической и сглаженной кривыми (с учетом масштаба значений показателя);

L — длина промежутка, в пределах которого дана кривая свойств залежи.

Так как предельное отклонение ординат эмпирической кривой от ординат истинной кривой равно $P_{ск/пр}$, то в качестве условия достаточности сглаживания может быть принято выражение

$$\Delta y_{cp} > t \sqrt{\frac{\Sigma \Delta''^2}{6z}}, \quad (IX, 42)$$

где t — коэффициент вероятности.

Площадное сглаживание обычно производится на горизонтных планах опробования, когда точки опробования распределяются в пределах опробованного контура более или менее равномерно, а изучаемый показатель (содержание полезного компонента) изменяется неравномерно. При этом изолинии по-

казателя строятся после обработки (обобщения) данных опробования методом «скользящего окна». Сглаживание по площади сводится к объединению частных проб в пределах выбранного «окна» и нахождению по ним среднего значения показателя с отнесением его к центру «окна». «Окно» выбирается чаще в форме квадрата со стороной 2 см в масштабе плана. Перемещение «скользящего окна» производится на половину стороны квадрата в двух перпендикулярных направлениях (рис. 168), последовательно занимая положения $a_1, a_2, a_3 \dots b_1, b_2, b_3$ и т. д. до тех пор, пока не будет «окном» обследована вся площадь опробованного контура. На рис. 168 положение окна a_1 отмечено сплошной жирной линией. Здесь в его границах имеются три точки опробования с соответствующими значениями показателя, дающими среднее его значение, равное 4, отнесенное к центру «окна». Аналогичным путем получены средние значения для всех других положений скользящего окна, отмеченных на рис. 168 пунктирными линиями. Указанные средние значения обычно обнаруживают более закономерное изменение показателя по площади и служат основанием для вычерчивания плана в изолиниях исследуемого показателя.

Практически при площадном сглаживании пользуются вычерченной на кальке или восковке палеткой в форме пронумерованных квадратов. Накладывают ее на план опробования и для всех квадратов палетки в пределах опробованного контура вычисляют средние значения показателя с отнесением их к центрам квадратов. Затем палетка смещается на половину стороны квадрата («окна») вправо с аналогичной предыдущему обработкой данных опробования в каждом квадрате и, наконец, она перемещается на такое же расстояние вниз относительно первого (исходного) своего положения с такой же обработкой данных опробования.

Степень сглаживания определяется размером квадратной ячейки палетки, называемой «скользящим окном». Размер «окна» устанавливается опытным путем.

П. А. Рыков [III, 8] при вскрытии геометрии распределения компонентов одного Алтайского полиметаллического месторождения очень эффективно впервые в 1940—1941 гг. применил к решению указанной задачи метод объемного сглаживания. Сделанные им выводы носят общий методический характер и

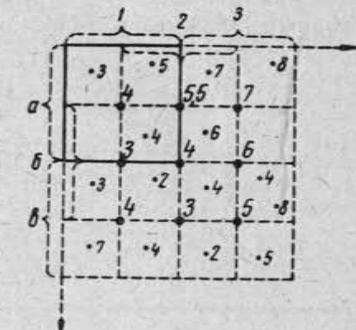


Рис. 168. Сглаживание по площади

имеют значение для обобщения данных опробования на месторождениях с весьма неравномерным распределением в руде полезных компонентов.

Рассмотрим кратко этот пример объемного сглаживания. По принятой системе подготовки месторождения к разработке оно в пределах этажа расчленяется на ряд вертикальных призм с произвольными, но приблизительно равными основаниями. Ребрами этих призм служат гезенки, представленные в плане

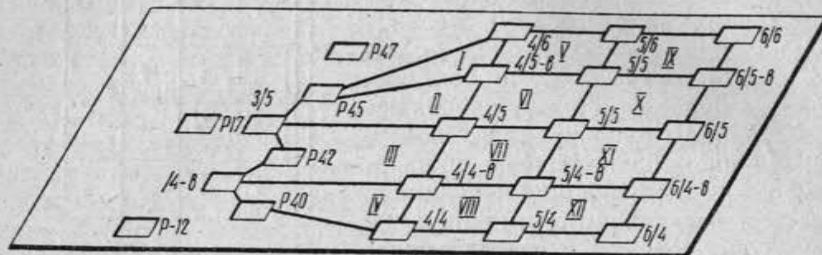


Рис. 169. Схема разделения участка месторождения в пределах этажа на вертикальные призмы (по П. А. Рыжкову)

рис. 169 и по принятой системе подготовки проходящие через 10 м друг от друга.

Одна из таких призм (призма VI) изображена на рис. 170. Она, в свою очередь, расчленена горизонтальными плоскостями на шесть малых скользящих призм с теми же основаниями, но с высотами, равными тройной высоте шоры. Каждая малая призма перекрывает по вертикали соседнюю на две трети своей высоты.

Поступая таким образом со всеми призмами, представленными на рис. 169, получили в пределах исследуемого объема 72 малые призмы. По пробам, оказавшимся в объемах соответствующих малых призм, вычислены средние значения содержаний металла и отнесены к центрам призм.

По полученным средним значениям показателя построены по «средним» шарам изолинии содержаний металла. Обработка данного опробования по гезенкам и очистным забоям дала хорошую сходимость результатов.

Объединение индивидуальных проб в сравнительно небольшие группы позволило вскрыть через их средние значения стабильное распределение металла в исследуемом пространстве. При этом средние значения объединенных проб перестали носить случайный характер и приобрели лучшую устойчивость и отмеченную выше закономерность пространственного распределения металла.

В заключение следует отметить, что при линейном, площадном или объемном сглаживании методом «скользящего окна» имеет место искажающее влияние на результат корреляции, существующей между скользящими средними. Поэтому при обобщении (сглаживании) результатов наблюдений в случае достаточного их количества лучше пользоваться не скользящими средними, а участковыми средними значениями показателя.

§ 39. О построении скрытой или условной топографической поверхности

В предыдущих разделах были рассмотрены способы построения скрытых или условных поверхностей, основанные на использовании показателей изучаемой поверхности, расположенных вдоль некоторых направлений (линий), и в основном пригодные для линейных структур.

Отсутствие у изучаемых поверхностей вытянутости в одном направлении в ряде случаев вынуждает точки исследования располагать без определенной системы. В этом случае при изображении поверхности изолиниями пользуются широко известным из топографии способом многогранников (рис. 171).

Следует иметь в виду, что точное изображение скрытой поверхности по ограниченному количеству разведочных точек затруднено, а во многих случаях невозможно. Но поскольку на горном предприятии постоянно возникают конкретные вопросы, связанные с проектированием, капитальным строительством и эксплуатацией, часто в первом приближении сложная поверхность заменяется поверхностью многогранника, имеющей иногда существенные отклонения от действительной поверхности.

Для построения топографической поверхности по способу многогранников намечают систему треугольников, заключенных между разведочными точками. В пределах треугольни-

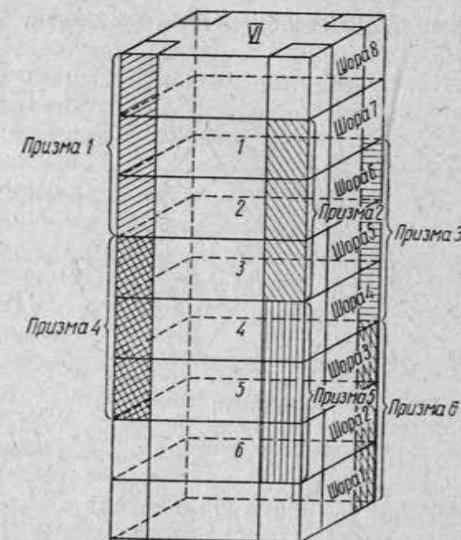


Рис. 170. Схема разделения вертикальной призмы VI на малые скользящие призмы (по П. А. Рыжкову)

ков методом линейной интерполяции с учетом принятого сечения строятся плавные кривые изолиний (рис. 171).

Недостатком этого способа является то, что изучаемый участок может быть разбит на треугольники разными вариантами. Но так как при геометризации месторождений построения выполняются не по изолированным наблюдениям, а в увязке со всеми фактическими материалами, то имеется возможность из этого ряда вариантов выбирать наиболее обоснованный.

В связи с этим, однако, полезно привести ряд соображений, высказанных А. И. Осецким при рассмотрении вопроса оценки полноты детальной разведки залежи с учетом предстоящей геометризации ее свойств.

При геометризации месторождений методом изолиний нередко бывают случаи, когда в пределах той или иной ячейки, образованной разведочными точками, по одним и тем же данным можно по-разному провести изолинии залежи, например мощности (рис. 172).

Подобная неопределенность обусловливается главным образом недостаточностью исходных данных и иногда величиной сечения изолиний.

Перед изображением топографической поверхности целесообразно провести предварительный анализ имеющихся разведочных данных, основываясь на следующих геометрических соображениях.

Предположим, что изменение показателя между соседними точками происходит прямолинейно. Кроме того, в пределах разведочной ячейки представим показатель залежи в виде некоторой условной прямой четырехгранной призмы с высотами боковых ребер, равными соответствующим значениям показателя залежи в разведочных точках, и основанием, равным площади ячейки.

Если некоторая горизонтальная плоскость будет пересекать два верхних ребра такой условной призмы, то можно провести между точками пересечения одну горизонталь. При пересечении всех четырех верхних ребер призмы (см. рис. 172) возникает

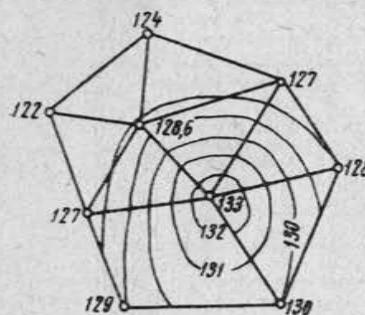


Рис. 171. Построение топографической поверхности по способу многогранников

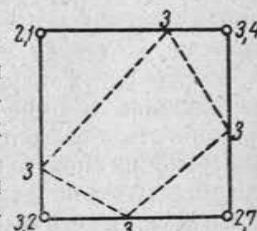


Рис. 172. Неопределенность проведения изолиний поверхности в пределах разведочной ячейки

неопределенность в построении изолиний. Требуется установить, в каких ячейках будут иметь место однозначные решения и в каких ячейках возникает неопределенность. Для этого расположим четыре боковых ребра призмы условно в ряд по мере их увеличения и проследим, в каких направлениях может происходить это увеличение.

Оказывается, что в пределах одной четырехгранной призмы (ячейки) последовательное увеличение высот боковых ее ребер может иметь место только в трех следующих направлениях:

- по периметру ее основания (рис. 173, а);
- в направлении через одну из диагоналей ее основания (рис. 173, б);
- через обе диагонали основания (рис. 173, в).

Из анализа рис. 174 следует, что в четырехугольной ячейке, в которой увеличение значений показателя залежи происходит по периметру (рис. 174, а) или через одну из ее диагоналей (рис. 174, б), задача геометризации данного показателя залежи решается всегда однозначно.

Возьмем призму, у которой последовательное увеличение высот боковых ребер происходит в направлении через обе диагонали ее основания (рис. 175).

Условимся называть наименьшее и наибольшее ребра призмы крайними, а два других — средними. Проведем через вершины средних боковых ребер, т. е. через точки *b* и *c*, горизонтальные плоскости $AbCD$ и $A_1B_1CD_1$ (рис. 175). Обе плоскости дают соответственно на верхних ребрах призмы по две точки пересечения *m*, *n* и *m*₁, *n*₁, через которые можно провести по одной изолинии.

Из рис. 175 следует, что любая горизонтальная плоскость, проведенная ниже плоскости $AbCD$ и выше плоскости $A_1B_1CD_1$, дает пару точек пересечения с верхними ребрами призмы, через которые можно провести только одну изолинию. Наоборот, любая горизонтальная плоскость, заключенная между плоскостями $AbCD$ и $A_1B_1CD_1$ пересечет все четыре верхних ребра призмы (точки *k*, *f*, *q*, *h*) и тем самым создаст неопределенность геометризации показателя. Таким образом, можно утверждать, что неопределенное решение задачи геометризации показателя в пределах четырехугольной ячейки может иметь место лишь в случае, когда увеличение значений показателя залежи происходит в направлении через две диагонали и только в интервале между средними значениями показателя.

При геометризации интересует построение изолиний, кратных выбранному сечению. Пусть изомощности залежи проводятся кратно 1 м. На рис. 175 последовательное увеличение мощности залежи направлено через обе диагонали ячейки и средние ребра призмы равны 2,7 и 3,2 м. Следовательно, в дан-

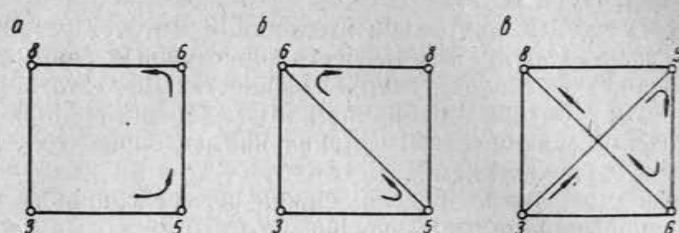


Рис. 173. Направления последовательного увеличения боковых ребер условной четырехгранной призмы
(по А. И. Осецкому):

a — по периметру ее основания, *б* — через одну из диагоналей основания призмы, *в* — через обе диагонали основания

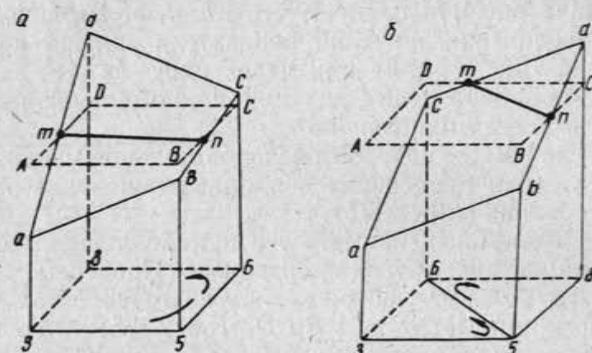


Рис. 174. К построению изолиний показателя в пределах ячейки при последовательном увеличении боковых ребер по периметру призмы (*а*) и по одной из диагоналей ее основания (*б*) (по А. И. Осецкому)

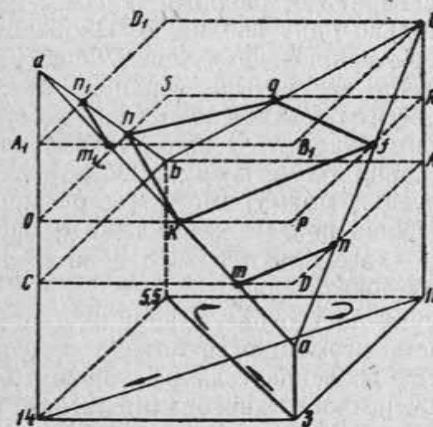


Рис. 175. К построению изолиний показателя в пределах ячейки при увеличении показателя в направлении через обе диагонали ячейки
(по А. И. Осецкому)

ром интервале имеет значение неопределенность для построения изомощности со значением 3 м.

При построении же изомощностей, кратных 2,5 м, эта неопределенность в указанных условиях исчезает.

Пусть на плане разведки (рис. 176) около каждой разведочной выработки вычислено процентное содержание подлежащего геометризации полезного компонента руды, распределение которого необходимо представить изолиниями с интервалом в 5%.

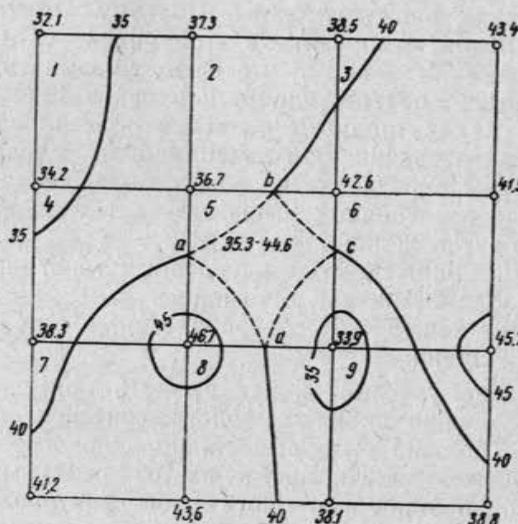


Рис. 176. К построению плана изолиний содержания полезного компонента руды
(по А. И. Осецкому)

В ячейках 1, 2, 7, 8, 9 изменение содержания компонента происходит по периметрам этих ячеек. Следовательно, в них построение изолиний решается однозначно. Та же самая однозначность решения будет в ячейке 4, в которой изменение содержания компонента происходит в направлении одной ее диагонали.

В ячейке 3 хотя это изменение и происходит в направлении обеих ее диагоналей, но так как в интервале между средними значениями компонента (41,9 и 42,6) нет места для числа, кратного 5%, то и в ячейке 3 неопределенность не возникает. То же самое можно сказать относительно ячейки 6. В ячейке 5 средними значениями компонента являются 36,7 и 42,6%, здесь пройдет изолиния 40%. Следовательно, для этой изолинии в ячейке 5 нет определенного решения. Поэтому при составлении

качественного плана данную изолинию следует обрывать на границе ячейки b в точках a , b , c , d (см. рис. 176), так как если провести изолинии в направлении ab и cd , то мы вправе предполагать содержание компонента в центре ячейки b равным $\frac{46,7+42,6}{2} = 44,6\%$. Соединив же плавными линиями попарно точки ad и bc , можно ожидать в центре той же ячейки содержание компонента равным $\frac{36,7+33,9}{2} = 35,3\%$.

Оба варианта равновозможны. Поэтому вместо изображения распределения компонента в этой ячейке следует выписывать содержания 35,3—44,6%, что будет указывать на недостаточность вскрытия интересующего нас показателя залежи.

Подобный анализ полноты разведки полезно производить в процессе самой разведки. Это позволило бы своевременно восполнить пробелы в разведке и, может быть, сократить некоторое количество разведочных выработок в тех местах, где они заведомо окажутся излишними.

При изображении скрытых и условных топографических поверхностей изолиниями, как отмечалось ранее, наиболее широкое применение нашел себе способ профилей с использованием инвариантных линий.

Многообразие условий может вызвать применение разных способов построения скрытых топографических поверхностей. Но постоянно должно быть выдержано одно основное требование — не отрывать задачи построения от реальных геологических условий. Ни один из геологических факторов не должен быть упущен. Является совершенно обязательным самое тщательное изучение значений показателя в разных точках, сопоставление их в тех или иных группировках, в наметившейся общей и локальной зависимости, находящей свое объяснение в конкретной геологической обстановке.

Так внимательно и критически должны нащупываться реальные основания для выделения структурных элементов скрытой топографической поверхности — инвариантных линий и точек, а также линий скатов. По указанным структурным элементам производится интерполярование и построение скелетных (ломаных) изолиний. Последние затем заменяются плавными изолиниями на тех же основаниях, на которых были выделены структурные элементы.

Следуя упомянутой последовательности этапов работы при построении плана изолиний скрытой топографической поверхности, на рис. 177, заимствованном у П. А. Рыжова [III, 8] представлено изображение изучаемой скрытой топографической поверхности в изолиниях (рис. 177, б) по данным листа разведки (рис. 177, а).

Эта работа — не простое техническое выполнение графика, а ответственная операция, требующая квалифицированного подхода и достаточного опыта. Нужно помнить, что от хорошего и удачного построения плана изолиний, того или иного показателя зависит правильность и надежность ряда ответственных выводов относительно данного месторождения.

Нередко составленный график принимают за непреложный документ. Имея это в виду, следует при пользовании готовыми структурными и качественными планами проявлять

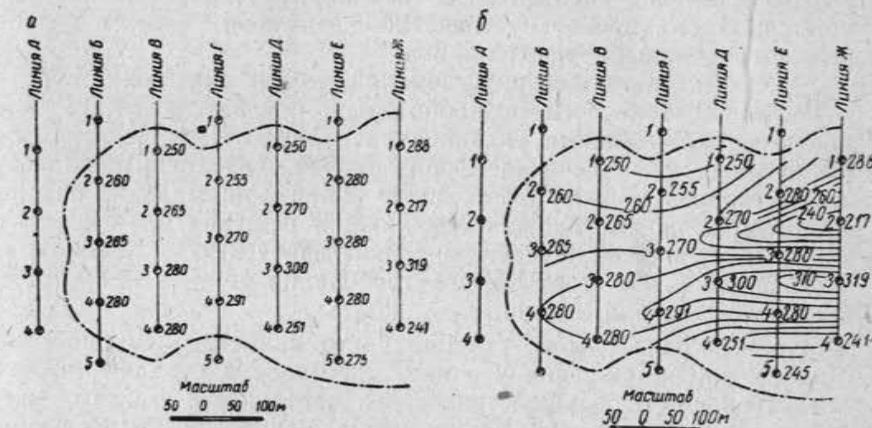


Рис. 177. Изображение изучаемой скрытой топографической поверхности в изолиниях по данным листа разведки

здравое критическое к ним отношение, чтобы не быть введенным в заблуждение. При этом прежде всего нужно обращать внимание на расположение, количество и качество (точность и достоверность) разведочных точек, на основании которых составлен план, и только после этого стремиться извлечь из них то ценное, что они по существу могут дать. Нередко по плану стараются получить выводы с такой детальностью, которые никак не вытекают из непосредственно полученных данных разведки.

При составлении плана следует более серьезно относиться к результатам линейного или площадного сглаживания, а также к выбору величины сечения «горизонталей» (изолиний).

Изолинии, построенные на основании сглаженных профильных линий, должны представлять изображаемую поверхность не слишком детально и в то же время достаточно обобщенно. Ранее нами был рассмотрен вопрос о пределе линейного сглаживания. Он определялся выражением (IX, 42). Критерием оценки результатов сглаживания, допущенного при изображе-

нии поверхности, служит тот же принцип, который был положен в основу формулы (IX, 42). Поэтому пределы сглаживания здесь определяются выражением, аналогичным указанному.

Степень сглаживания поверхности определяется величиной среднего отклонения $\Delta_{ср}$ значений показателя, полученных с плана изолиний поверхности, от значений этого же показателя, измеренных в натуре.

Как уже ранее отмечалось, при составлении горногеометрических графиков неизбежно встают вопросы о масштабе их и величине сечения горизонталей (изолиний). Первый из них решается просто, поскольку масштабы графиков связаны с масштабами маркшейдерских планов.

Что же касается сечения изолиний, то для скрытых топографических поверхностей разнообразных показателей дать какие-либо определенные указания затруднительно. Но и здесь выбор величины сечения горизонталей (изолиний) должен удовлетворять общему требованию — при минимальном числе изолиний точно, наглядно и удобно для решения практических задач изображать изучаемую топографическую поверхность. Однако принятие этого общего требования еще не дает практического решения задачи.

Произвольный выбор сечения часто является причиной излишнего нагромождения изолиний на плане и создает ложное представление о большой точности и детальности его. Это приводит к несоответствию между изображенной поверхностью и фактической, служит причиной ошибочных выводов и незаслуженного разочарования в методе изолиний как изобразительном приеме.

Исходя из принятых выше общих положений, в основу выбора величины сечения горизонталей на структурных и качественных планах должно быть положено требование соответствия изменчивости и изученности показателя, детальности его изображения. Полученное на основе этого принципа сечение будет являться минимальным и может быть изменено в сторону увеличения исходя из соображений удобства построения и использования или назначения графика.

Таким образом, решение вопроса разбивается на две части:

- 1) определение величины минимального сечения изолиний и
- 2) установление величины оптимального сечения.

Исходя из изложенного минимальное сечение изолиний должно связываться с величиной $P_{ск/пр}$ и должно быть не менее этой величины.

Если принять в качестве условия для выбора величины минимального сечения h_{min} изолиний выражение (см. IX, 35)

$$h_{min} \geq 1,5 P_{ск/пр}, \quad (IX, 43)$$

то с большой вероятностью можно ожидать, что $P_{ск/пр}$ не будет превосходить h_{min} .

Величина оптимального сечения горизонталей выбирается исходя из целого ряда практических соображений, как-то:

- а) масштаба плана и характера изменения показателя;
- б) удобства пользования изолиниями, кратными некоторым круглым значениям показателя;

в) удобства проектирования на плане горных выработок при принятых элементах системы разработки;

г) необходимости выделения участков по мощности залежи, по сортам полезного ископаемого и т. д.

Во всех случаях величина оптимального сечения должна быть больше величины минимального сечения.

Приведенный в настоящей главе анализ скрытых топографических поверхностей дает некоторые основания для оценки изменчивости и изученности этих поверхностей.

Кроме того, указанный анализ позволяет решать вопрос о том, когда возникает необходимость изображать скрытую топографическую поверхность изолиниями и когда достаточно характеризовать ее по методу общих цифр.

Глава X

СТРУКТУРНЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ГРАФИКИ

§ 40. Общие положения

Структурные и качественные графики, составляемые на основе геологической и маркшейдерской съемок в процессе разведки и разработки месторождений, являются результатом геометрической интерпретации геологических наблюдений и средством, помогающим более правильно решать задачи последующего этапа разведки и разработки месторождений.

Основными объектами геометризации является форма, строение залежей и содержание полезных компонентов.

Каждая залежь имеет три измерения в пространстве. В зависимости от соотношения величин этих трех измерений в геологии различают три типа форм рудных тел: 1) изометрические, имеющие примерно равными все три измерения; 2) столбообразные, у которых один размер велик по сравнению с двумя другими — длина большая, ширина и мощность значительно меньше; 3) плитообразные, у которых два измерения (длина и ширина) велики, а третье (мощность) мало.

Кроме того, в природе встречаются такие формы рудных тел, которые приходится выделять в четвертый тип,— тела сложной формы, так как они не подходят ни к одному из первых трех типов.

Между телами разных типов нельзя проводить резкую границу; часто встречаются переходные типы от одного к другому.

Примерами изометрических тел могут служить штоки и гнезда, чаще встречающиеся в сингенетических месторождениях.

Когда шток или гнездо сплющенены в одном направлении и наблюдается переход от этих тел к плитообразным, возникают линзы или линзообразные тела. Они характерны для сингенетических, магматогенных и многих эпигенетических месторождений.

Столбообразные тела встречаются сравнительно редко. Классическими их представителями являются алмазные труб-

ки. Столбообразные рудные тела всегда эпигенетические, т. е. более молодые, чем вмещающие их породы.

Третий, самый распространенный тип тел — плитообразные — представлен пластами и жилами. Первые являются сингенетическими, а вторые — эпигенетическими образованиями.

Среди многочисленных рудных тел сложной формы типичными представителями являются штокверки. Они состоят из целой сети пересекающихся между собой мелких рудных жил и прожилков, общая форма распространения которых является изометрической и напоминает шток. Штокверки характерны для многих месторождений олова, золота, меди, молибдена и других металлов.

Серию сложных форм образуют жилы (рубцовые, четковидные, камерные, лестничные и другие жилы). Жильные рудные тела редко бывают одинаково богаты на всем своем протяжении. Обычно в них рудные минералы концентрируются в определенных участках, называемых рудными столбами.

Рудные столбы могут возникать в благоприятных открытых полостях трещин, которые образуются при относительном движении противоположных стенок трещины. Часто образуются они в местах пересечения трещин. Здесь по трещинам различного простирания могут поступать растворы разной температуры и разного состава. Смешивание таких растворов вызывает выпадение и накопление рудного вещества в местах пересечения трещин. Кроме того, в этих местах породы более раздроблены, что благоприятствует рудоотложению. Рудные столбы могут возникать также под влиянием экранирующего действия боковых пород в результате подпруживания рудоносных растворов непроницаемыми барьерами, как, например, глинистыми сланцами или тектоническими глинками.

Некоторые боковые породы, особенно карбонатные и битуминозные, являются катализаторами и восстановителями. Во время движения рудоносного раствора по трещине под влиянием их воздействия их последнего осаждаются рудные минералы.

Изменения простирания и падения трещин, места перегибов также благоприятствуют образованию рудных столбов. Наличие большого числа оперяющих трещин имеет большое значение для рудоотложения.

Способствует образованию рудных столбов резкое падение температуры и давления рудоносных растворов, например в залегающих близ поверхности раздробленных и брекчированных породах.

Часто в рудном теле встречается несколько рудных столбов, имеющих более или менее одинаковую форму, величину и скло-

нение и одинаковые интервалы между собой. В случае серии параллельных жил нередко во всех жилах рудные столбы имеют склонение в одну и ту же сторону.

Перечисленное свидетельствует о большом разнообразии типов месторождений и условий, в которых они находятся, обуславливающих особенности их геометризации.

В практике работы геологической службы и горных предприятий установились требования к комплекту и содержанию структурных и качественных планов. Результаты геологического изучения и детальной разведки для целей оценки месторождения, подсчета запасов и проектирования горного предприятия обычно представляются в виде комплекта указанных графиков.

В процессе разработки месторождения на эксплуатируемой его части необходимость ведения отдельных структурных и качественных планов выступает менее остро, так как элементы этих графиков в значительной своей части входят в содержание основных маркшейдерских планов. Достаточное отражение на последних горногеометрических данных является одним из основных требований к составлению маркшейдерских планов.

Участки месторождения, на которых проектируется проведение капитальных и подготовительных горных выработок, нуждаются в детальной геометризации.

Последняя представляет собой результат уточнения имеющихся представлений об указанных участках вследствие получения более достоверных данных, добытых при эксплуатации прилегающих к ним участков.

В зависимости от сложности залежи, изменчивости показателей ее и назначения структурных и качественных планов масштаб последних варьирует в некоторых пределах от масштаба основных маркшейдерских планов до масштабов, в которых составляются планы геологических паспортов месторождений. Составление структурных и качественных планов основывается на хорошо продуманной, вытекающей из особенностей месторождения исходной документации разведочных и горных выработок, а также на надлежащей обработке этой документации.

Обобщение документации производится в каталогах выработок, где концентрируются сведения о пространственном их расположении и показателях залежи в каждой выработке. Результатом графического обобщения документации являются геологическая карта (план) и система разрезов.

Все горногеометрические графики делятся на структурные, характеризующие форму, строение рудных тел и условия их залегания, и качественные, характеризующие состав и качество полезного ископаемого.

Все горногеометрические графики составляются и ведутся в пределах распространения залежи. Оконтуривание залежи производится по мощности и содержанию полезных компонентов в руде.

Здесь будем полагать контур залежи известным.

§ 41. Структурные и качественные графики

В зависимости от типа месторождения (залежи) и вида полезного ископаемого устанавливается соответствующий комплект структурных и качественных планов.

Для пластовых угольных месторождений параллического типа, разрабатываемых подземным способом, достаточно иметь гипсометрический план по каждому пласту.

Для линзообразных угольных месторождений, кроме гипсометрического плана, требуется составление плана изомощностей залежи. Если такого рода залежь разрабатывается открытым способом, то к указанным горногеометрическим графикам добавляется еще план изоглубин.

Все рудные месторождения и некоторые месторождения неметаллических полезных ископаемых, а также и россыпные месторождения требуют кроме перечисленных структурных планов составления качественных планов в изолиниях содержания полезных и вредных компонентов в руде. Составление и ведение перечисленных планов особенно необходимо при разведке и разработке месторождений редких металлов и рассеянных элементов.

Кратко остановимся на общей характеристике и назначении основных структурных и качественных планов.

Системы разрезов

Структура любой сложности в первую очередь представляется системой ее вертикальных и горизонтальных сечений (разрезов). Геологическую карту нельзя составить без системы вертикальных разрезов по характерным направлениям, а сводный маркшейдерский и геологический план рудника (шахты), разрабатывающего свиту наклонно и крутопадающих пластов и жил или сложное по форме месторождение, нельзя себе представить без системы горизонтальных разрезов (погоризонтных планов). Наконец, построение структурного плана любого более или менее сложного месторождения в изолиниях невозможно без использования системы разрезов. Следовательно, системы разрезов являются очень важными структурными графиками. Они в одних случаях, представляя собой результат графического обобщения первичной документации, являются

окончательными материалами, в других случаях используются в процессе дальнейшего обобщения как промежуточный материал, например при составлении структурных планов в изоляциях, блок-диаграмм и т. д.

Поэтому при геометризации месторождений обращается самое серьезное внимание на документальность и хорошее выполнение этих структурных графиков.

Гипсометрический план

Поверхность залежи или геологической структуры можно изобразить как топографическую поверхность при помощи линий равных высот, называемых изогипсами. План залежи в изогипсах называется гипсометрическим планом. Приемы построения гипсометрических планов достаточно подробно были рассмотрены в пятой главе.

При изображении залежи, имеющей выдержанную нормальную мощность, обычно ограничиваются изображением одного лежачего бока залежи. Как мы видели выше, в условиях разработки мощных пластов слоями в нисходящем порядке большое практическое значение имеет гипсометрия кровли пласта.

При изображении залежи сложной формы с изменчивой мощностью строятся изогипсы кровли и почвы залежи, так как гипсометрия лежачего бока не дает полного представления о форме залежи.

Гипсометрический план залежи, являясь системой горизонтальных равноотстоящих сечений, характеризует форму залежи и ее положение в пространстве. Одновременно этот план позволяет определять размеры залежи по тому или иному направлению и элементы залегания в различных точках.

Расстояние между одноименными изогипсами висячего и лежачего боков залежи по тому или иному направлению представляет собой горизонтальную мощность залежи по этому направлению.

Разность отметок, полученных по изогипсам кровли и почвы залежи в некоторой точке плана, характеризует вертикальную мощность залежи в этой точке.

Пользуясь изогипсами висячего и лежачего боков залежи, легко получить мощность ее по любому направлению.

Имея гипсометрический план залежи, легко строить вертикальный разрез ее по любому направлению.

Дирекционный угол линии, касательной к изогипсе в любой ее точке, характеризует простижение бока залежи в этой точке. Направление, перпендикулярное к указанной линии в той или иной точке, является направлением падения поверхности залежи в этой точке.

При совмещении гипсометрического плана залежи с топографическим планом земной поверхности легко в любой точке плана определить глубину залегания или расстояние по вертикали от поверхности до залежи как разность отметок указанных поверхностей в данной точке плана. Большое значение для характеристики условий залегания имеет гипсометрия геологических контактов — плотика россыпных месторождений, известнякового фундамента бокситовых залежей, водоносных и водупорных горизонтов, тектонических разрывов и т. д.

Проектирование горных выработок опирается на гипсометрию залежи и геологических контактов.

График изомощностей залежи

Хотя гипсометрический план залежи и дает представление о форме залежи и ее положении в недрах земли, тем не менее решение ряда задач, связанных с характеристикой и использованием мощности залежи, заставляет прибегать к дополнительным расчетам и построениям.

При решении этих задач удобнее пользоваться специальным структурным графиком — планом залежи в изомощностях. Эти планы дают наглядное представление об изменении мощности и позволяют производить определение ее в любой точке без дополнительных построений.

При построении плана залежи в изомощностях дело сводится к замене тела, ограниченного со стороны висячего и лежачего боков топографическими поверхностями, более простым телом, ограниченным со стороны висячего бока топографической поверхностью, а со стороны лежачего бока плоскостью. Последняя является плоскостью проекций, на которую по нормали «осаждается» залежь. Осаджение чаще производят на горизонтальную или вертикальную плоскость, в зависимости от угла падения залежи. Однако иногда в целях получения на изображении меньшего искажения размеров залежи осаждают (проектируют) последнюю на наклонную плоскость, имеющую простижение и падение, равные среднему простианию и падению залежи.

При осаждении залежи на горизонтальную плоскость проектируют ее вертикальные мощности, а при осаждении на вертикальную плоскость — горизонтальные мощности. При осаждении на наклонную плоскость, имеющую элементы залегания, близкие к элементам залегания залежи, получают значения мощностей, близкие к нормальным мощностям залежи.

План залежи в изомощностях можно рассматривать как гипсометрический план поверхности залежи, «осажденной» на горизонтальную плоскость.

В результате осаждения полученная топографическая поверхность, ограничивающая залежь сверху, является условной поверхностью, используемой как средство характеристики мощностей залежи на том или ином участке.

На рис. 178, а изображен вертикальный разрез залежи по одной из разведочных линий. Разобъем мысленно сечение залежи на элементарные площадки, которые в пределе будут

характеризовать в отдельных точках вертикальную мощность залежи. Перемещая их по вертикали до плоскости проекций 0, отметку которой примем за нуль, получим профиль кровли залежи (рис. 178, б). В любой точке этого профиля, например в точке 3, высота l_3 численно равна вертикальной мощности залежи. Если этот профиль рассечь горизонтальными равноотстоящими линиями и точки пересечения спроектировать на горизонтальную плоскость 0, то на линии 0—0 получим точки со ступенчатыми отметками (вертикальными мощностями), кратными выбранному сечению.

По совокупности таких линий со ступенчатыми отметками на плане путем соединения точек с одинаковыми вертикальными мощностями строится план изомощностей залежи. На рис. 178, в изображена полоса такого плана, прилегающая к разведочной линии, по которой были построены на рис. 178, а и б вертикальный и осажденный разрезы.

План залежи в изомощностях позволяет путем линейной интерполяции определять вертикальную мощность залежи в любой ее точке. Он характеризует в плане размещение масс полезного ископаемого, позволяет подсчитывать его запас в объемной мере и определять объемы проектируемых или выполненных работ и устанавливать нулевой контур или контур промышленной мощности залежи.

При использовании графиков схвивания планом изомощностей могут характеризоваться мощности между пластами.

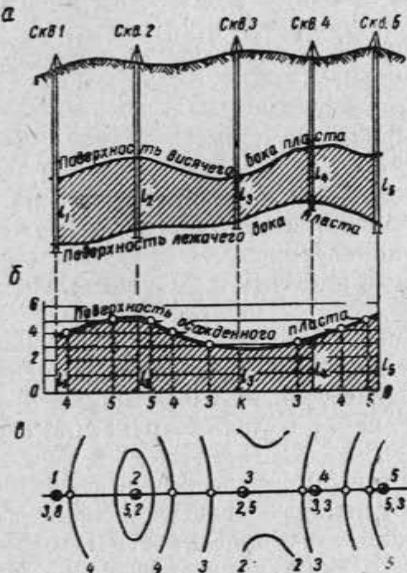


Рис. 178. Построение изомощностей залежи (по В. А. Букринскому):

а — вертикальный разрез залежи,
б — осажденный на горизонтальную
плоскость вертикальный разрез залежи.
в — план изомощностей залежи

щая к разведочной линии, по которой были построены на рис. 178, а и б вертикальный и осажденный разрезы.

План залежи в изомощностях позволяет путем линейной интерполяции определять вертикальную мощность залежи в любой ее точке. Он характеризует в плане размещение масс полезного ископаемого, позволяет подсчитывать его запас в объемной мере и определять объемы проектируемых или выполненных работ и устанавливать нулевой контур или контур промышленной мощности залежи.

При использовании графиков схвивания планом изомощностей могут характеризоваться мощности между пластами.

График изоглубин

При помощи изолиний можно характеризовать глубину залегания рудного тела в любой точке. Линии равных глубин называются изоглубинами, а сам график — планом изоглубин.

Построение плана изоглубин, как и всякой топографической поверхности, производится по ряду точек, в которых глубина залегания известна непосредственно из разведки или из предварительно построенных разрезов.

Система изоглубин на плане представляет собой скрытую условную топографическую поверхность, которая получается в результате мысленного осаждения на горизонтальную плоскость 0 всей толщи покрывающих залежь пород. На рис. 179, а показан разрез A—A, в плоскости которого изображены профили земной поверхности, пласта и поверхности осажденных на горизонтальную плоскость 0 покрывающих пород. Примем отметку плоскости 0 равной нулю. Проведем систему горизонтальных равноотстоящих линий с отметками, кратными выбранному сечению. Точки пересечения их с профилем поверхности осажденных покрывающих пород спроектируем на плоскость 0, получим в плоскости разреза A—A точки со ступенчатыми отметками (глубинами залегания). По совокупности на плане линий со ступенчатыми отметками строится поверхность в изоглубинах. На рис. 179, б показана полоса этой поверхности, прилегающая к линии разреза A—A.

План изоглубин одновременно является планом изомощностей покрывающих пород. Используется при решении ряда технических задач.

Изоглубина со значением, равным нулю, фиксирует положение линии выхода пласта на поверхность. Изоглубина со значением, равным средней мощности наносов, фиксирует положение линии выхода пласта под наносы. Последняя необходима

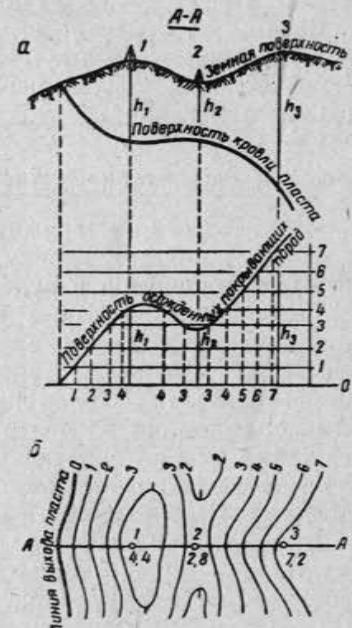


Рис. 179. Построение изоглубин залегания пласта (по В. А. Букринскому):
а — профиль пласта и профиль поверхности осажденных покрывающих пород, б — план изоглубин залегания пласта

для задания разведочных шурфов и скважин с целью уточнения положения линии выхода пласта под наносы.

Отношение мощности покрывающих пород к мощности залежи позволяет определять в разных точках коэффициент вскрыши. Пользуясь планами изоглубин, изомощностей и технико-экономическими расчетами, устанавливают границу открытых разработок.

По плану изоглубин удобно устанавливать объемы проектируемых и выполненных вскрышных работ.

Выше уже отмечалось, что структурными графиками можно характеризовать разные геологические контакты, гидрогеологические условия, литологический состав пород кровли и другие условия залегания.

Графики, характеризующие содержание полезных компонентов

Из качественных графиков наибольший практический интерес представляют графики, характеризующие содержание полезных компонентов в руде.

Содержание полезных компонентов является наиболее изменчивым показателем залежи. Его характеристика основывается на результатах опробования и графически представляется кривыми содержания по отдельным выработкам, кривыми содержания по разведочным линиям и графиками изосодержаний, характеризующими распределение содержания по плоским сечениям по площади залежи или в объеме рудного тела.

Выше мы видели, что для устранения технических ошибок результатов определения содержания и выявления основных особенностей его распределения производится линейное, площадное или объемное сглаживание.

Кривые содержания по разведочным линиям строятся по среднему значению содержания в отдельных разведочных выработках, поэтому обычно не возникает необходимости в их сглаживании. Среднее содержание по отдельной разведочной выработке вычисляется как среднее арифметическое или среднее взвешенное по интервалам опробования или оно может быть получено путем деления площади, ограниченной кривой содержания по разведочной выработке, на длину опробованной части выработки.

На рис. 180 представлен результат опробования скважины и кривая содержания Cu. Среднее содержание Cu равно площади, ограниченной этой кривой, деленной на длину AB опробованной части скважины.

Для удобства дальнейшего использования сглаженных кривых содержания по ним берут точки со значениями, кратными выбранному сечению изолиний на графиках изосодержаний.

По совокупности линий со ступенчатыми отметками на плане обычным путем строят график изосодержаний.

Изолинией содержания компонента называется линия, соединяющая точки равных численных значений содержания этого компонента в единице объема или веса руды.

Наибольший интерес представляют планы изосодержаний компонентов, определяющих кондиционность руды.

При разработке залежи одновременно на всю мощность план изолиний содержания характеризует среднее содержание компонента на всю мощность. Примером такого графика может служить рис. 181, на котором построены изолинии средних содержаний компонента участка жильной залежи в проекции на наклонную плоскость.

При разработке массивных залежей отдельными слоями план изосодержаний характеризует среднее содержание компонента по мощности слоя. Изосодержания в плоских сечениях рудного тела необходимы для характеристики пространственного распределения компонентов. На рис. 182 в аффинной проекции изображен блок залежи, заключенный между двумя разведочными линиями I—I и II—II. По скважине № 6 на всю мощность рудного тела построена по данным опробования полигональная кривая содержания полезного компонента. Плавной кривой изображена сглаженная кривая содержания. По ступенчатым отметкам средних содержаний компонента на профильных сечениях (боковых граниях призмы) построены изолинии содержания. Кроме того, на блок-диаграмме выделены три слоя. По скважинам для каждого слоя определены средние содержания компонента и по ним построены изолинии средних содержаний.

На блок-диаграмме видна взаимная связь изосодержаний, построенных в вертикальных сечениях и по горизонтальным

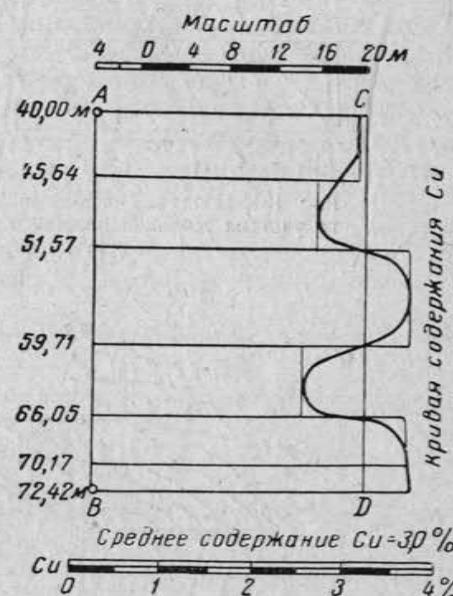


Рис. 180. Кривая содержания Cu по скважине

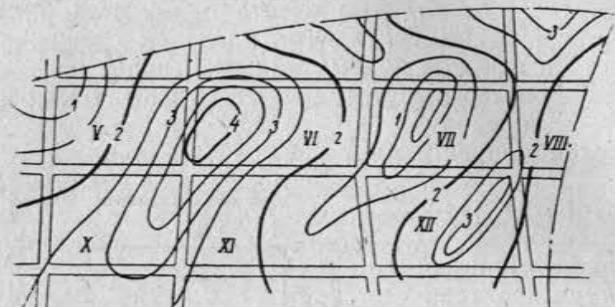


Рис. 181. Изолинии содержаний полезного компонента участка жильной залежи в проекции на наклонную плоскость

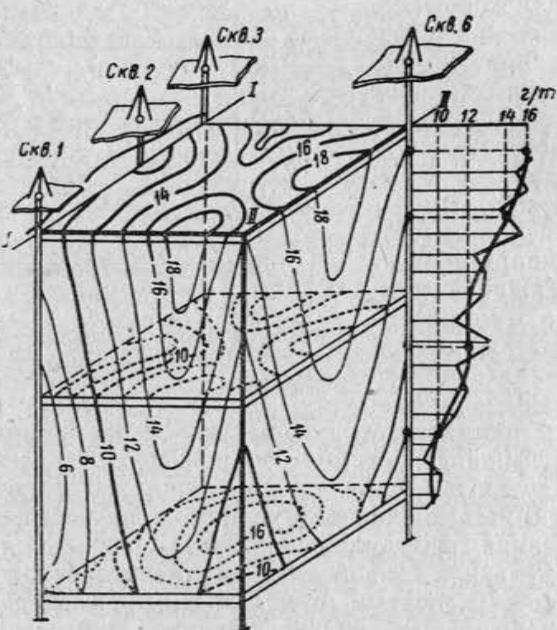


Рис. 182. Пространственная характеристика содержания полезного компонента в блоке рудной залежи (аффинная проекция по В. А. Букинскому)

слоем. Аналогичная блок-диаграмма могла быть построена по данным опробования в подготовительных горных выработках.

Графики, характеризующие содержание компонентов в руде, используют при оконтуривании залежи по минимальному промышленному содержанию компонентов, подсчете запасов, планировании добычи руды с заданным содержанием компонентов, технико-экономических расчетах и т. д.

В ряде случаев необходимо составление графиков содержания вредных компонентов. Построения их выполняются так же, как и построения графиков содержания полезных компонентов.

Из изложенного следует, что на качественных графиках изолинии характеризуют скрытую условную поверхность топографического порядка. На плане по изолиниям нельзя определять значения показателя в данной точке. Оно будет относиться не к самой точке, а к участку, центром которого является эта точка, равному площади «статистического окна», при помощи которого произведено сглаживание данных опробования.

По характеру распределения компонентов месторождения делятся на пять групп:

- 1) месторождения с весьма равномерным распределением компонентов;
- 2) месторождения с равномерным распределением компонентов;
- 3) месторождения с неравномерным распределением компонентов;
- 4) месторождения с весьма неравномерным распределением компонентов;
- 5) месторождения с крайне неравномерным распределением компонентов.

Для каждой группы в соответствии со степенью и характером изменчивости показателей принимается густота опробования от 1 до 50 м и более.

При изучении состава и качества полезного ископаемого нередко приходится пользоваться существующими зависимостями между компонентами. Это дает возможность по более легко определяемому компоненту судить о более трудно определяемом компоненте, находящемся с первым в определенной природной корреляционной связи.

Для оценки силы и формы корреляционной связи пользуются формулами и выводами математической статистики.

Линейная корреляционная связь между двумя показателями, например между показателями x и y , выражается известным из математической статистики уравнением регрессии:

$$\bar{y}_x - y = \rho_y(x - \bar{x}), \quad (X\ 1)$$

где \bar{y}_x — частная средняя значений y , соответствующих некоторому заданному значению x ;
 \bar{x}, \bar{y} — общие средние значений xy ;
 ρ_y — коэффициент регрессии, определяемый из выражения

$$\rho_y = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \quad (\text{X}, 2)$$

Здесь σ_y, σ_x — средние квадратические отклонения x и y от их средних арифметических значений;
 r — коэффициент корреляции, выражающий меру силы линейной связи между y и x и вычисляемый по формуле

$$r = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}. \quad (\text{X}, 3)$$

Здесь, в свою очередь, величина

$$C_{xy} = \frac{\Sigma n_{xy} (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n}, \quad (\text{X}, 4)$$

равная частному от деления на общее число наблюдений суммы произведений отклонений $(x - \bar{x})$ и $(y - \bar{y})$ значений x и y от средних \bar{x} и \bar{y} на соответственные частоты, носит название ковариации x и y .

Из изложенного видно, что в характеристике связей между коррелирующими показателями залежи коэффициент корреляции r имеет важное значение. Его величина заключена между (-1) и $(+1)$. Когда $r = +1$ или -1 , то коррелирующие величины x и y связаны точной прямолинейной связью.

При $r = 0$ прямолинейная связь между x и y не существует. хотя криволинейная связь между ними существовать может. Следовательно, чем ближе r к единице, тем точнее и теснее прямолинейная корреляционная связь между коррелирующими показателями. И наоборот, эта связь ослабевает при значениях r , близких к нулю.

При недостаточно большом численном значении коэффициента корреляции возникает вопрос о реальности существования корреляционной связи между изучаемыми показателями. В этом случае, так же как и при оценке коэффициента вариации, в математической статистике вопрос решается сравнени-

ем численного значения r с его среднеквадратической ошибкой σ_r , определяемой из выражения

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}. \quad (\text{X}, 5)$$

При этом принимается, что

$$\frac{|r|}{\sigma_r} \geq 3. \quad (\text{X}, 6)$$

В случае криволинейной связи между двумя показателями мерой силы этой связи служит корреляционное отношение η . Оно имеет разные значения для корреляции y с x и для связи x с y . В первом случае оно обозначается η_y и находится из выражения

$$\eta_y = \frac{\sigma(\bar{y}_x)}{\sigma_y}, \quad (\text{X}, 7)$$

где σ_y имеет обычное значение, а $\sigma(\bar{y}_x)$ равно корню квадратному из дисперсии частных средних \bar{y}_x около общей средней \bar{y} из значений \bar{y} . В свою очередь, дисперсия частных средних \bar{y}_x определяется из равенства

$$\sigma^2(\bar{y}_x) = \frac{1}{n} \Sigma n \bar{y}_x^2 - \bar{y}^2. \quad (\text{X}, 8)$$

Корреляционное отношение всегда

$$0 < \eta \leq 1 \text{ и } \eta \geq |r|.$$

При $\eta_y = (r)$ регрессия y на x точно линейна. При отсутствии связи между y и x $\eta_y = 0$. Значение $\eta_y = 1$ указывает на однозначную связь между y и x .

Если характеризуется корреляция x и y , то корреляционное отношение обозначается η_x и определяется из выражения

$$\eta_x = \frac{\sigma(\bar{x}_y)}{\sigma_x}. \quad (\text{X}, 9)$$

При значительных n корреляционное отношение, например η_y , оценивается при помощи приближенного значения его среднеквадратической ошибки σ_{η_y} :

$$\sigma_{\eta_y} = \frac{1 - \eta_y^2}{\sqrt{n}}. \quad (\text{X}, 10)$$

Здесь, так же как при оценке r , принимается, что

$$\frac{\tau_y}{\sigma_{\tau_y}} \geq 3. \quad (\text{X}, 11)$$

Для иллюстрации приведем характеристику корреляционной связи между объемным весом R сланца и содержанием в нем золы A по одной из шахт Эстонского сланцевого бассейна.

Исходные данные приведены в корреляционной таблице (табл. 3).

Результаты вычислений дают следующую характеристику показателей и их корреляционной связи:

$$R_{cp} = 1,372 \text{ и } \sigma_R = \pm 0,1101; A_{cp} = 59,13\% \text{ и } \sigma_A = \pm 8,18; \\ r = 0,6688, \sigma_r = 0,0885 \text{ и } 3\sigma_r = 0,2655; \tau_R = 0,7175, \sigma_{\tau_R} = 0,0777 \\ \text{и } 3\sigma_{\tau_R} = 0,2331.$$

Разность $\tau_R - r = 0,0487$.

Таблица 3

A, %	R	1,22	1,26	1,30	1,34	1,34	1,38	1,42	1,46	1,50	1,54	1,58	1,62	R
		1,24	1,28	1,32	1,36	1,40	1,44	1,48	1,52	1,56	1,60	1,64	1,68	
44—48	46	4	2	—	1	—	—	—	—	—	—	7	1,27	
48—52	50	—	2	—	—	1	—	—	—	—	—	3	1,32	
52—56	54	1	—	3	—	1	—	—	—	—	—	5	1,32	
56—60	58	1	2	2	1	1	1	—	—	—	—	8	1,33	
60—64	62	—	—	—	—	1	—	2	—	—	—	3	1,45	
64—68	66	—	—	—	1	—	2	—	1	1	—	5	1,46	
68—72	70	—	—	1	—	—	1	—	1	1	—	4	1,46	
72—76	74	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	2	1,48	
76—80	78	—	—	—	—	1	—	1	—	—	2	1,48		
—	—	6	6	6	4	4	5	2	3	2	1	39	—	
A	A	49,3	51,3	58,0	61,0	56,0	67,6	62,0	71,3	68,0	74,0			

Из приведенного следует, что r и τ_R получены достаточно надежно, а небольшое значение разности $\tau_R - r$ указывает, что линейная связь между объемным весом R и зольностью A сланца достаточно тесная, выражаемая уравнением регрессии R на A :

$$R = 1,372 + 0,009(A - A_{cp}). \quad (\text{X}, 12)$$

Известна тесная корреляционная связь между свинцом и цинком, золотом и серебром в ряде полиметаллических месторождений, между содержанием глинозема и кремнезема в бокситовых рудах, железом и кремнеземом в железных рудах и т. д.

Планы изолиний линейных запасов

Под линейным запасом руды q или полезного компонента p понимается их весовое количество, приходящееся на единицу площади залежи, т. е. вес руды или металла в призме с высотой, равной мощности залежи (или слоя), и с основанием 1 м^2 .

Величины q и p в весовой мере могут быть подсчитаны из выражений:

$$q = mR; \quad (\text{X}, 13)$$

$$p = \frac{mRc}{100} = \frac{qc}{100}, \quad (\text{X}, 14)$$

где m — мощность залежи (или слоя), м;

R — объемный вес руды;

c — содержание полезного компонента, %.

В случае, если c выражено в весовых единицах на 1 т руды, то

$$p = mRc = qc. \quad (\text{X}, 15)$$

При c , выраженному в весовых единицах на 1 м^3 руды,

$$p = mc. \quad (\text{X}, 16)$$

Линейный запас полезного ископаемого на угольных месторождениях, называемый производительностью пласта, характеризует вес угля в тоннах, приходящегося на 1 м^2 площади пласта.

Величина p на россыпных месторождениях золота называется площадным содержанием золота. На фосфоритных месторождениях p называют продуктивностью залежи.

Установив q и p в различных точках залежи и пользуясь ими, можно построить линии равных значений q и p . Совокупность такого рода изолиний дает план изолиний линейных запасов руды или полезного компонента залежи.

При вертикальных разведочных выработках линейные запасы находятся непосредственно по данным опробования. При разведке же наклонными выработками величины m и c , необходимые для вычисления линейных запасов, находятся по разрезам и кривым содержания.

Так как в выражение величин q и p входит мощность залежи, то в выражение величин q и p входит мощность залежи.

жи, то внешний контур залежи на плане линейных запасов представится нулевой изолинией.

Планы изолиний линейных запасов дают наглядное представление о распределении запасов руды и полезного компонента в границах залежи. Они необходимы для планирования добычи руды и подсчета запасов.

Кроме перечисленных основных структурных и качественных планов применяют многие другие горногеометрические графики. Останавливаться на них нет необходимости.

Правильное использование общих положений, изложенных ранее, обеспечит верный выбор приемов и средств при решении методами геометрии той или иной горнотехнической задачи.

§ 42. Некоторые примеры геометризации месторождений полезных ископаемых

Выше отмечалось, что в практике работы геологической службы и горных предприятий установились требования к комплексу структурных и качественных графиков и их использованию.

В предыдущих разделах было приведено достаточно примеров по геометризации пластовых месторождений в разных условиях залегания. Поэтому рассмотрим несколько примеров геометризации месторождений более сложной формы.

Геометризация меднорудного месторождения

Основное рудное тело месторождения — вытянутая в меридиональном направлении линза. В результате разведки оно обнажено в большом количестве выработок. Все выработки тщательно задокументированы и этот материал сведен в каталог.

Верх месторождения — железная шляпа — разведен канавами, дудками и шурфами. На горизонте +405 месторождение вскрыто шахтой с квершлагом.

На основании разрезов отдельных выработок построены сводные геометрические разрезы по линиям (направлениям), идущим примерно вкrest простирации линзы. В той части линзы, которая разведана скважинами, построено пять сводных геометрических разрезов, представленных рис. 183. Выработки, не совпадающие с плоскостью разреза, на последнюю спроектированы. Сводные геометрические разрезы, дающие представление о форме линзы в этих сечениях, используются для оконтуривания залежи и построения гипсометрии линзы. Путем переноса с разрезов точек с нулевой мощностью на плане построен внешний контур залежи.

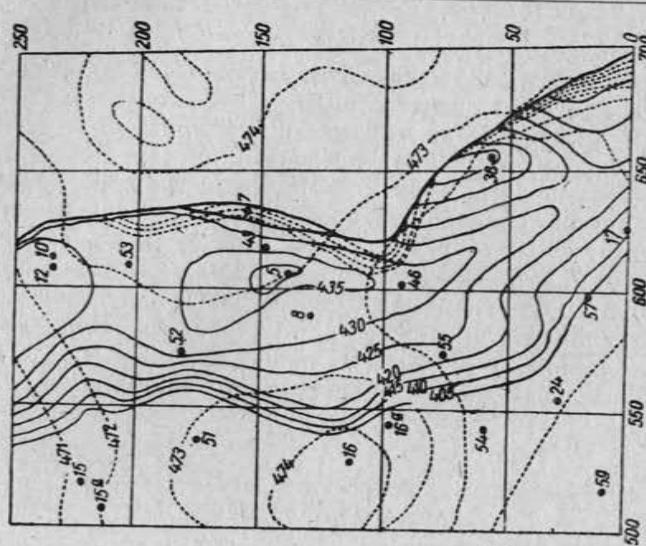


Рис. 184. Гипсометрический план верхней части линзы (до горизонта 405).

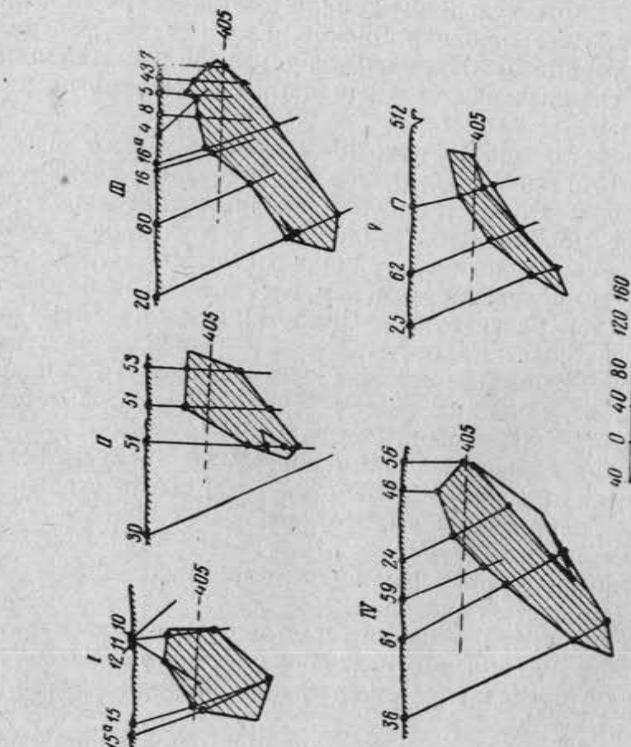


Рис. 183. Сводные геометрические разрезы по разведочным линиям.

В пределах этого контура построен гипсометрический план линзы до горизонта 405 (рис. 184). Сечение изогипс через 5 м. На рис. 184 изогипсы висячего бока линзы проведены сплошными линиями, а изогипсы лежачего бока и горизонты поверхности — пунктирными. Гипсометрический план дает хорошее пространственное представление о форме линзы на верхнем горизонте и является основой для проектирования горных работ на этом горизонте.

Для расчетов, связанных с объемами, а также для подсчета запасов руды по имеющимся данным составлен план изомощностей той же части линзы (рис. 185). Пространственное распределение полезного компонента в пределах линзы представлено планом изосодержаний меди с сечением изолиний через 0,5% (рис. 186).

Геометризация россыпного месторождения (дражного полигона)

Основой для составления горногеометрических графиков для россыпного месторождения служит исходная документация разведочных выработок. Промежуточной операцией является составление сводных разрезов и кривых содержания по разведочным линиям.

Для удобства работы некоторые данные разведки сводятся в одно место и представляются в виде графика, называемого листом разведки. Он составляется при предварительной разведке в масштабе 1/5000 и при детальной — в масштабе 1/2000.

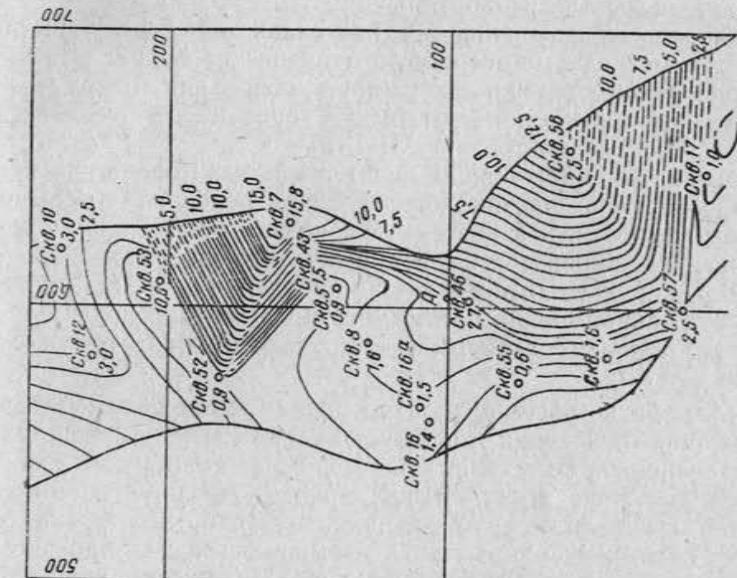
Содержанием листа разведки в масштабе 1/2000 являются опорная сеть, основные элементы ситуации и разведочная сеть. Около каждой разведочной выработки кроме ее номера записывается глубина выработки (слева), содержание полезного компонента (справа) и отметка устья выработки (внизу). Глубина выработки надписывается синей тушью, содержание — красной, остальное — черной тушью.

На листах разведки в масштабе 1/5000 надписывается только номер линии и номер выработки. Остальные сведения, относящиеся к разведочным выработкам, записываются на свободных местах листа разведки.

Масштаб остальных горногеометрических графиков определяется детальностью разведки.

При геометризации любого месторождения важное значение имеет план изолиний лежачего бока залежи. Применительно к россыпям он представляется графиком постели россыпи или ее основания.

Этот график позволяет при заданном уровне подтопа определять глубину черпания в любой точке дражного полигона.



Так как разведочные выработки задаются вертикально, то отметки поверхности основания в этих точках получаются вычитанием из отметки устья выработки глубины последней. На современном уровне техники поверхность основания между разведочными выработками может быть уточнена с поверхности подтопа с помощью ультразвука [III, 4].

Построение плана изолиний постели россыпи ведется при тщательном учете геологического строения основания россыпи.

Петрографические разности и физическое состояние пород (скальность, трещиноватость, ребристость и другие показатели) определяют характер отложения и накопления полезного компонента. Указанное важно потому, что полезный компонент, обладая значительным удельным весом, сосредоточивается около основания залежи.

При разработке россыпи драгами важно знать объем металлосодержащих отложений, подлежащих промывке, и распределение их в пределах россыпи. Здесь деление толщи отложений на торф и пески не имеет смысла, поэтому эксплуатационная глубина, установленная в разведочных выработках, является отметкой для вычерчивания плана изомощностей металлосодержащих отложений. Такого рода план представлен на рис. 187.

Сечение горизонталей для масштаба 1/2000 обычно берут 0,5 м и для масштаба 1/5000 — 1,0 м. Мощности металлосодержащих отложений в промежутках между разведочными точками и разведочными линиями также могут уточняться при помощи ультразвуковой аппаратуры.

Представление о средней насыщенности металлом в 1 м³ отложений дает график или план объемного содержания металла. Исходными данными для построения изолиний этого графика служат величины среднего содержания по каждой разведочной выработке. Значения средних содержаний получаются в результате аналитического подсчета по данным опробования, и химического анализа или они получаются по кривым содержания каждой выработки.

График, характеризующий распределение содержания металла в россыпи, строится способом профилей. Последние представляют собой кривые содержания металла по разведочным линиям. При необходимости кривые содержания сглаживаются в допустимых пределах. План объемного содержания металла для указанного выше участка показан на рис. 188. В сочетании с планом изомощностей он позволяет определить границу промышленного контура дражного полигона, которая строится с учетом рентабельности разработки и минимальной глубины черпания. Построение границы можно получить в результате совмещения двух графиков: плана изомощностей металлосодержащих отложений и плана изолиний объемного содержания ме-

талла. Пересечение изолиний этих двух графиков, принятых на-ми за исходные (минимальная глубина черпания и минимальное промышленное объемное содержание), даст ряд точек, совокупность которых определит границу промышленного контура дражного полигона. Уточнение установленной таким обра-

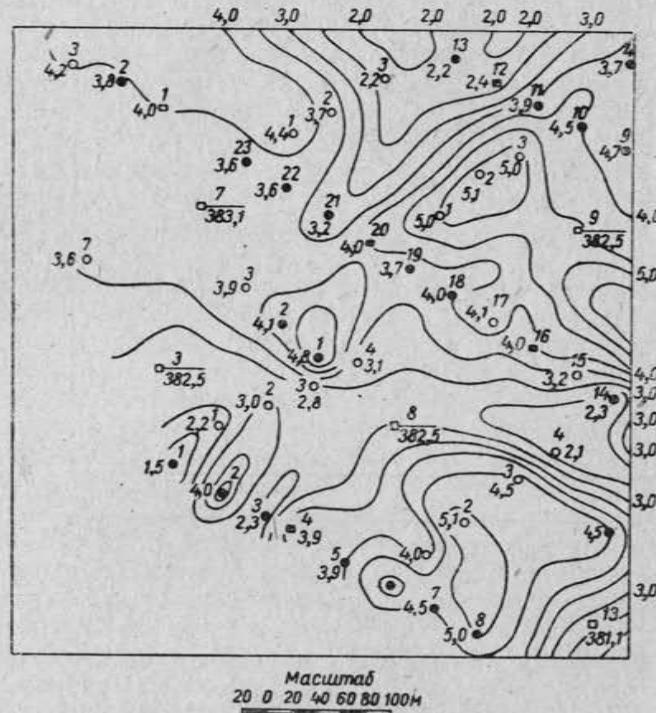


Рис. 187. План изомощностей металлосодержащих отложений россыпи

зом границы производится путем экономических расчетов и выяснения возможности отработки отдельных участков.

Представление о распределении массы металла по площади россыпи дает план площадного содержания (рис. 189), являющийся планом изолиний линейных запасов полезного компонента. Необходим он главным образом для подсчета запасов металла и планирования добычи. Исходными данными к составлению этого графика служат численные значения, получаемые как произведение среднего содержания металла в выработке на ее эксплуатационную глубину. Для этого можно было бы произвести умножение двух топографических поверхностей — плана изомощностей и плана изолиний объемного содержания ме-

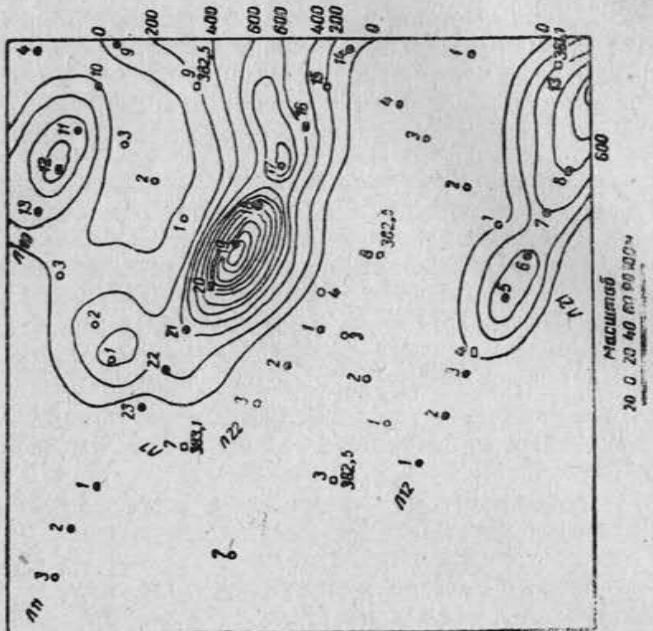


Рис. 189. План линейных запасов металла

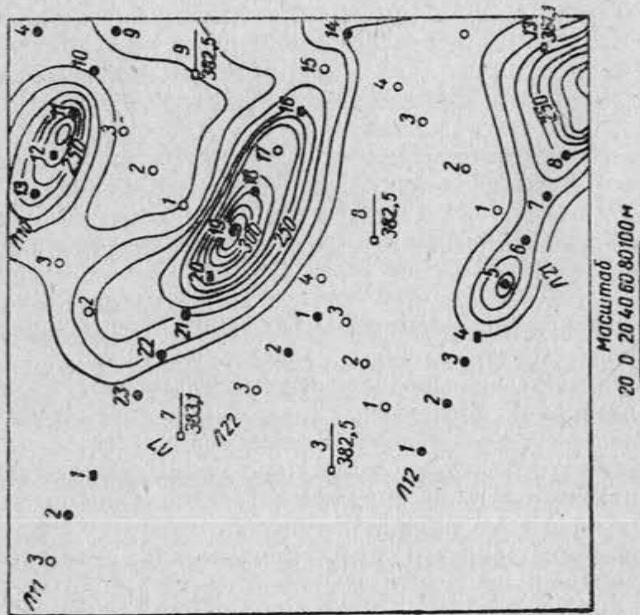


Рис. 188. План изосодержаний металла россыпи

тала — и получить результирующую поверхность — план изолиний площадного содержания. Однако в данном случае не следует уходить от реально полученных величин по разведочным выработкам. Поэтому указанные произведения следует брать по выработкам и, пользуясь ими, далее строить кривую линейных запасов по разведочной линии. Последняя при необходимости сглаживается и применяется для построения искомой топографической поверхности.

Сопоставляя план изолиний площадного содержания металла с планом изолиний основания россыпи, можно получить ценные указания относительно характера отложения и накопления металла в россыпи.

Геометризация бокситового месторождения

Многолетний опыт разведки и разработки бокситовых месторождений (месторождения платформенного типа) позволил коллективу рудничных маркшейдеров и геологов установить для данных условий методику геометризации.

Интенсивная изменчивость показателей залежи и полезного ископаемого, а также отсутствие видимых контактов обусловливают большой объем работ по бурению, опробованию и химическому анализу. Густота скважин при детальной разведке достигает 40—60 м, а при эксплуатационной — колеблется от 10—12 до 20—25 м. Секционное опробование производится с интервалом 0,25 м. Условия залегания позволяют применять открытый способ разработки. В данных условиях маркшейдер и геолог обязаны ежедневно следить за заданным ходом экскаватора, производя призабойное опробование и определение высот инструментальным путем.

Составление структурных и качественных планов в процессе разведки и разработки месторождений позволит постоянно корректировать, направлять разведочные и горные работы. Необходимость систематического наблюдения за размещением руд и их составом иллюстрируется сопоставлением рис. 190 и 191.

На рис. 190 дается распределение марок Б-5 и Б-6 по данным детальной разведки, на основании которой составляется проект разработки залежи, а на рис. 191 — по данным эксплуатационной разведки. Как видно, разница значительна.

При геометризации составляются в масштабе основных планов общераспространенные структурные графики — гипсометрические планы кровли и почвы залежи, а также план изомощностей. Гипсометрия кровли залежи необходима для проектирования и проведения вскрышных работ, а гипсометрия почвы — для проектирования и проведения работ по выемке руды. План

изомощностей залежи используется для характеристики размещения запасов руды и вычисления их в объемной мере.

В рассматриваемых условиях большое значение имеет со-ставление качественных планов, характеризующих основные по-казатели боксита (Al_2O_3 , SiO_2 и Fe_2O_3). Главным показателем боксита является содержание глинозема Al_2O_3 . Его распределение

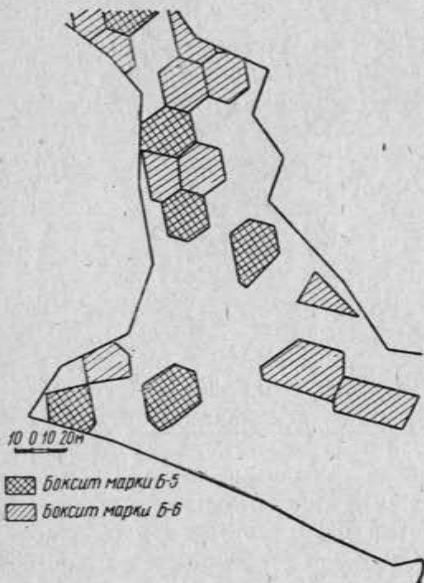


Рис. 190. Распределение марок боксита по данным детальной разведки



Рис. 191. Распределение марок боксита по данным эксплуатационной разведки на участке, представленном на рис. 190

ние по площади залежи представляется планом изосодержа-
ний Al_2O_3 .

Такие же планы составляются в изосодержаниях SiO_2 и Fe_2O_3 . На всех указанных планах сечение изолиний содержания берется равным 1%.

На основании планов изосодержаний Al_2O_3 и SiO_2 состав-
ляется график кремневых модулей $\left(\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}\right)$, используемый при
выделении марок боксита.

Кремнезем (SiO_2) является вредным компонентом.

Наличие окиси железа в руде также определяет ее качество.
Совокупность перечисленных графиков и их использование поз-

воляют более обоснованно планировать эксплуатационную раз-
ведку, выделять марки боксита по ГОСТу и планировать добычу
руды заданного состава.

Имея кальки указанных графиков и совмещая их друг с
другом, можно определять качество добываемого боксита в лю-
бой точке, если известно положение экскаватора в забое. Это
тем более важно, что по физическим свойствам бокситы разных
марок не различаются между собой и не отличаются от вмеша-
ющих пород.

Все качественные графики составляются по средневзвешен-
ным содержаниям компонентов на всю мощность, установлен-
ную по химическим анализам бокситов. Это построение соотве-
тствует применяемой системе очистных работ — добыче одним
ступом на полную мощность.

Отбор контрольных проб в забое для сопоставления с каче-
ственными графиками свидетельствует о том, что расхождения
находятся в пределах точности опробования.

§ 43. Использование горногеометрических графиков в процессе разведки

Выше подчеркивалось оперативно-производственное значе-
ние добывших сведений о месторождении в последующей раз-
ведке.

Правильная организация разведочных работ на любом ме-
сторождении предполагает полное использование уже имею-
щихся и получаемых в процессе разведки сведений об условиях
залегания этого месторождения. Для этого результаты развед-
ки необходимо постоянно геометрически интерпретировать, что-
бы более рационально направлять дальнейшую работу.

Пространственное представление, хотя бы и приближенное,
об условиях залегания месторождения на каждом этапе работы
уменьшает возможность задания таких разведочных выработок,
которые не могут быть эффективно использованы в дальней-
шем.

Распределение разведочных выработок на исследуемом уча-
стке определяется двумя линиями. Первая линия — это линия
выхода залежи на поверхность, являющаяся естественной гра-
ницею существования залежи, за которой нет смысла вести раз-
ведочные работы; вторая линия — это линия, соединяющая точ-
ки максимальной глубины залегания полезного ископаемого, до
которой возможно вести разведочные работы при имеющихся в
распоряжении технических средствах. Таким образом, указан-
ные линии являются геометрическими элементами, определяю-
щими границы разведки.

На рис. 192 приведен топографический план участка, на котором в точке M пласт полезного ископаемого выходит на поверхность. Элементы залегания пласта — простижение MP и падение MQ в точке M — определены. Это дает нам возможность сделать первое приближенное представление о форме пласта как о плоскости.

Построим плоскость пласта в изогипсах, для чего, имея элементы залегания плоскости пласта α и δ , измеренные в точке M , строим изогипсы 80, 90...180 (рис. 193). Изогипсы будут

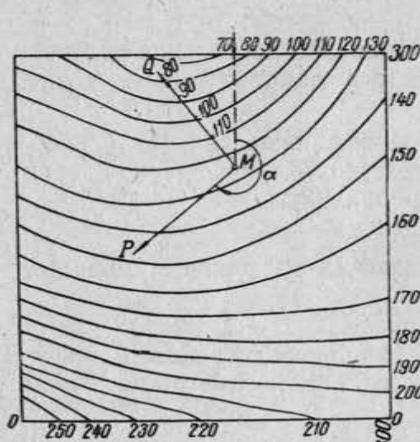


Рис. 192. План участка с выходом пласта в точке M (по П. К. Соболевскому)

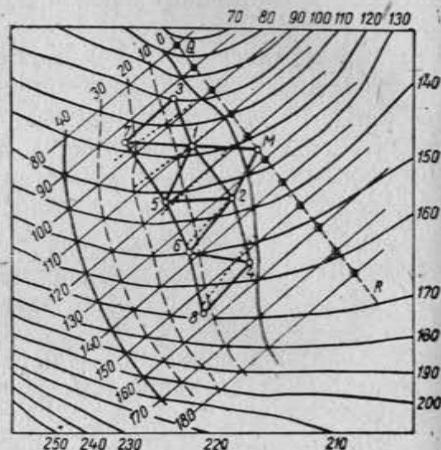


Рис. 193. Первая рабочая гипотеза (по П. К. Соболевскому)

представлены параллельными прямыми. Прямая RQ — линия падения плоскости пласта.

Это построение является так называемой первой рабочей гипотезой о положении разведываемого пласта. Пользуясь ею и топографическим планом участка, построим топографическую поверхность, характеризующую глубины залегания пласта.

Для этого определим разности отметок в точках пересечения изогипс пласта с горизонтальными земной поверхности и точки с равными разностями соединим плавными кривыми. Получим линии равных глубин, или изоглубины, — 0, 10, 20...40.

Пусть глубина, равная 40 единицам, при данных технических средствах является предельной. Изолиния, имеющая значения глубин, равные нулю, есть линия выхода пласта на поверхность. Следовательно, изоглубины 0 и 40 являются границами, в которых мы можем вести разведку пласта.

Пользуясь первой рабочей гипотезой и произведя необходи-

мые построения, составляем проект расположения и разведочных единиц в указанных границах. Сначала задаем точки вдоль линии выхода пласта на поверхность (1, 2, 3, 4), отступая от последней внутрь участка с таким расчетом, чтобы выработки встретили пласт. Одновременно намечаем ряд точек на большую глубину (5, 6, 7, 8).

Имея топографический план разведываемого участка, план пласта в изогипсах и план участка в изоглубинах, можно предвычислить глубины заданных разведочных единиц и определить координаты точек пересечения их с пластом.

Так как предвычисления основаны на представлении о пласте как плоскости, то неизбежно в результате проведения запроектированных разведочных выработок будут получены иные данные (глубины и отметки точек пересечения выработок с пластом), отличные от рассчитанных по первой рабочей гипотезе.

На основании новых данных изменяем структурные планы первого приближения.

Это уточнение сделано на рис. 194, где поверхность пласта представляется уже в виде топографической поверхности. Соответственно уточняем план участка в изоглубинах, тем самым уточняя границы, в которых необходимо вести разведку, — линию выхода залежи на поверхность и линию предельной (доступной) глубины. Таким образом, рис. 194 представляет собой исправленную наблюдениями первую рабочую гипотезу, т. е. вторую рабочую гипотезу. Пользуясь ею, можно уже более обоснованно проектировать дальнейшую разведку.

Из рис. 194 мы видим, что на основании полученных сведений заданы новые разведочные выработки (9, 10, 11, 12, 13), причем, пользуясь плавностью полученных кривых, увеличен размер разведочного треугольника.

Так, путем последовательных приближений исследуется разведываемый участок с необходимой точностью; при этом действительно разведочные выработки проводятся более экономно,

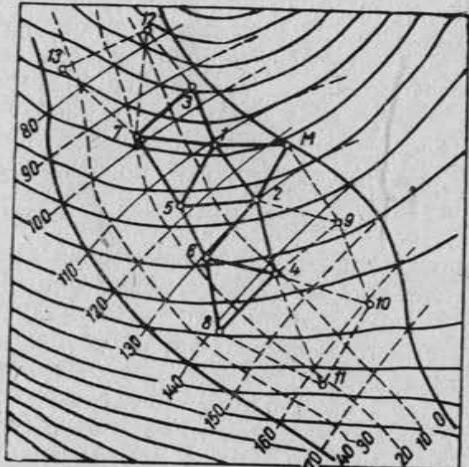


Рис. 194. Вторая рабочая гипотеза (по П. К. Соболевскому)

так как каждый последующий шаг связан с предыдущим. Но указанная последовательность проведения разведок до некоторой степени сужает, особенно в начальной стадии работ, их размах.

Изложенный метод составления рабочих гипотез при проведении разведочных работ предложен в 900-х годах П. К. Соболевским. Правильность исходных положений этого метода (принцип минимума работ в разведке) очевидна. Однако широкого применения в практике разведки метод не получил. Как известно, наибольшим признанием пользуется ведение разведочных работ, предусматривающее распределение выработок по правильным сеткам или, во всяком случае, по разведочным линиям.

Последнее объясняется тем, что темп промышленной разведки, особенно на вновь осваиваемых площадях, часто требует проведения их одновременно широким фронтом. При этом появляющаяся возможность повышения производительности труда за счет механизации работ покрывает некоторое увеличение объема работ, вызываемое отступлением от применения предложений проф. П. К. Соболевского.

Кроме того, разведка по сетке или разведочным линиям облегчает составление документированных разрезов месторождения (залежи) и делает более простой оценку разведенности при утверждении запасов.

Высказанным ни в какой мере не снимается необходимость постоянного использования в процессе разведки структурных планов и тем более не отрицается важное значение предложений П. К. Соболевского.

Применение их в чистом и полном виде в промышленной разведке, проводимой одновременно в больших масштабах, во многих случаях затруднено, но в эксплуатационной разведке они имеют все основания для полного признания.

§ 44: Геометрический анализ работы откатки по штреку при выборе места заложения ствола шахты

Выбор места заложения ствола шахты определяется многими факторами, к которым относится и подземный транспорт. Хотя при современном состоянии техники и организации работы последний не является решающим условием для выбора места заложения шахты, тем не менее анализ работы откатки по штреку представляет собой хорошую иллюстрацию использования структурных планов и метода изолиний при решении инженерных задач, и приведение данного примера является методически оправданным.

Структурные планы, давая наглядную картину размещения полезного ископаемого в недрах, позволяют производить оценку работы подземного транспорта при любом расположении шахты в пределах шахтного поля. С точки зрения учета указанного фактора положение шахты должно определяться минимумом работы подземного транспорта. Однако найденная точка минимума работ откатки может быть в таком месте, что по топографическим, геологическим или иным условиям закладывать в ней шахту нельзя. Но и при этом условии необходимость оценки работы подземной откатки остается. Для решения этого вопроса необходимо находить в каждой точке шахтного поля значение работ откатки по простианию (штреку) и вкrest простиания (квершлагу). Рассмотрим здесь нахождение точки минимума и характеристику работ откатки по простианию.

Возьмем для решения этого вопроса залежь с неравномерным распределением масс, изображенную на рис. 195, а в изомощностях. Сечение горизонталей — 1 м. По чертежу нетрудно видеть, что большая масса полезного ископаемого находится в левой части залежи.

Следовательно, и точка минимума работ откатки от середины переместится влево. Таким образом, структурный план залежи (план в изомощностях) является исходным материалом для решения поставленной задачи. Пользуясь им, найдем распределение масс полезного ископаемого в направлении простиания залежи. Для этого построим вертикальные параллельные равнотстоящие сечения залежи, расстояния между которыми в различных случаях берутся разные, в зависимости от сложности формы залежи.

В нашем случае на плане разрезы построены через 1 см. Площадь каждого сечения пропорциональна массе залежи, приходящейся на единицу длины штрека в данной точке, т. е. S_1 пропорциональна производительности штрека в точке 1, S_2 пропорциональна производительности штрека в точке 2 и т. д. Следовательно, строя на рис. 195, б в точках 1, 2, 3 и т. д. ординаты, численно равные площадям S_1, S_2, S_3 и т. д. вертикальных сечений, и соединяя концы их плавной кривой, мы получим на рис. 195, б так называемую кривую производительности штрека, или кривую приведенных масс, обозначенную цифрой 1. Ордината этой кривой в любой точке характеризует собой массу, приходящуюся на единицу длины штрека в этой точке. А вся кривая характеризует распределение масс полезного ископаемого в направлении простиания залежи.

Как известно, точка минимума работ откатки по штреку находится на линии, делящей запасы шахтного поля пополам. Для нахождения ее построим две интегральные кривые: левых

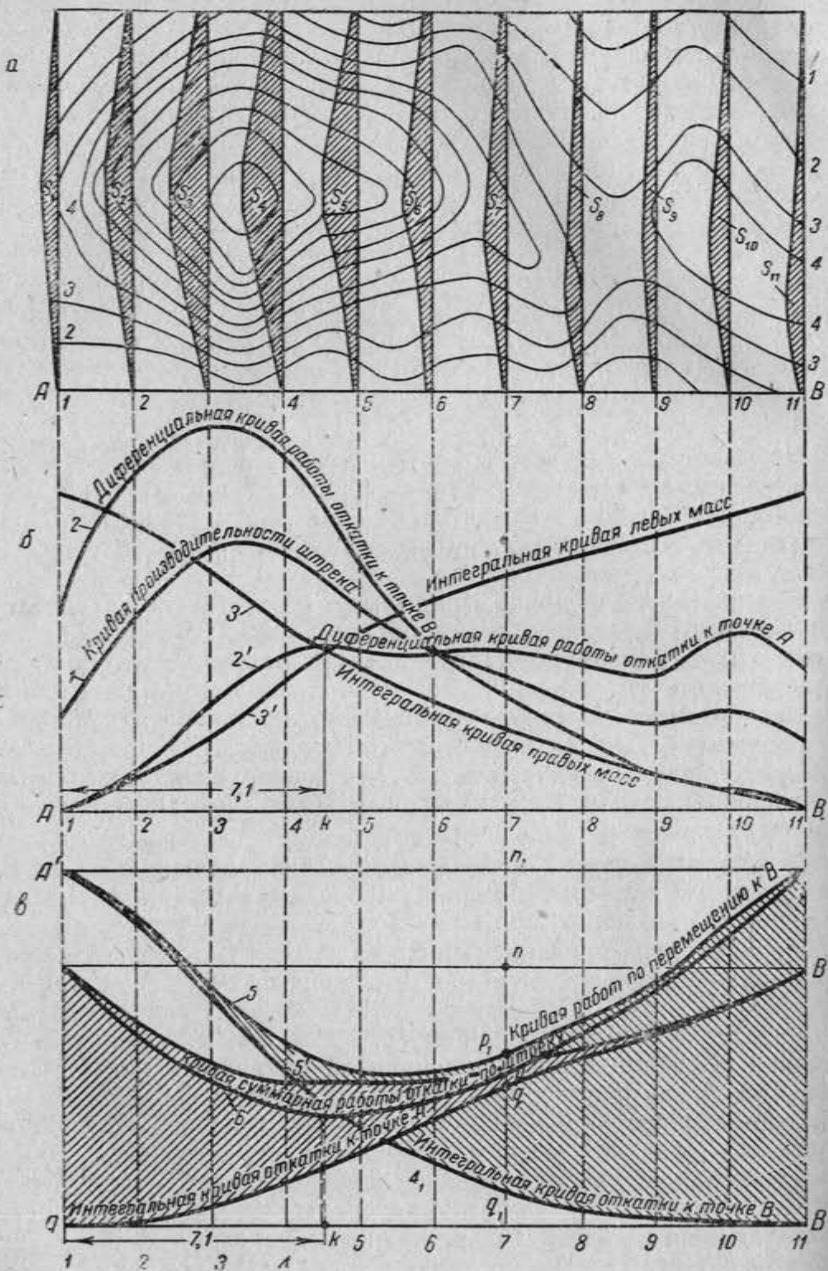


Рис. 195. К выбору места заложения ствола шахты по простианию залежи

и правых масс. Для этого в точках 1, 2, 3 и т. д. штрека AB строим ординаты для обеих кривых, равные соответственно запасам шахтного поля, расположенным влево и вправо от этих точек. Например, для интегральной кривой левых масс в точке 1 запас равен нулю; следовательно, и ордината кривой в этой точке равна нулю; в точке 2 ордината кривой пропорциональна запасу слева или площади между абсциссой и кривой производительности штрека, лежащей влево от точки 2, и т. д. В точке B ордината интегральной кривой левых масс будет выражать собой весь запас шахтного поля. Аналогично строится интегральная кривая правых масс. Ордината ее в точке B равна нулю, а в точке A — всему запасу шахты. Интегральная кривая левых масс на рисунке обозначена цифрой 3', а кривая правых масс — цифрой 3. Как мы видим, в точке k ординаты обеих кривых равны между собой (кривые пересекаются); следовательно, в этой точке правые и левые запасы равны между собой, а общая ордината кривых (в точке k) делит запасы шахты пополам. Если бы нам требовалось найти только точку минимума работ откатки по штреку, то на этом можно было бы решить вопрос выше, если по ряду причин место заложения шахты придется отнести вправо или влево от точки k , то интересно оценить работу откатки по штреку для этой новой точки. Для этого строят, пользуясь ординатами кривой производительности штрека и расстояниями их до крайних точек A и B , так называемые дифференциальные кривые работы откатки в точке A и B . Ординаты этих кривых в каждой точке (1, 2, 3 и т. д.) пропорциональны работе откатки массы, приходящейся на единицу длины простириания, от этой точки в крайние положения A и B и численно равны произведению значения ординаты кривой производительности штрека в этой точке на расстояния от нее до крайних точек поля A и B .

На рис. 195, б дифференциальная кривая работы откатки в точку A обозначена цифрой 2', а дифференциальная кривая откатки к точке B — цифрой 2.

Для определения значения работы откатки по штреку в любой точке промежутка AB , в конечном счете, нам необходимо получить в каждой точке работу откатки грузов справа и слева, т. е. необходимо знать для каждой точки штрека работу правого и левого крыльев. Этот вопрос позволяют решить интегральные кривые работ откатки по штреку и кривые перемещения правых и левых масс, в основе построения которых лежат рассмотренные нами выше кривые.

Основой для построения интегральных кривых работ служат соответствующие дифференциальные кривые работ. Интегральная кривая работы откатки грузов по штреку в точку A стро-

ится по дифференциальной кривой откатки в ту же точку. Ордината первой кривой в каждой точке (1, 2, 3 и т. д.) пропорциональна сумме дифференциальных работ в промежутке от данной точки до точки A , что графически представляется соответствующей площадью кривой дифференциальных работ. В точке A , очевидно, работа откатки левых масс равна нулю, а в точке B — полной работе откатки всех грузов в точку A .

Аналогично по дифференциальной кривой откатки в точку B строится интегральная кривая работы откатки в ту же точку. На рис. 195, в первая интегральная кривая обозначена цифрой 4', а вторая — цифрой 4.

Для построения же кривых перемещения правых и левых масс пользуются интегральными кривыми масс. Каждая точка на штреке AB делит запасы (грузы) на правые и левые. Если, например, взять правые массы для точки 7 и сосредоточить их в ней, то работа по перемещению этих сосредоточенных масс в точку A будет графически выражаться ординатой кривой перемещения правых масс в точку 7. Эта ордината определяется как произведение правых масс на расстояние от данной точки до крайнего левого положения — точки A , а для кривой перемещения левых масс — как произведение левых масс на расстояние от данной точки до крайнего правого положения — точки B . Для удобства пользования кривые перемещения масс построены от уровня максимальных ординат соответствующих интегральных кривых работ путем откладывания ординат вниз от указанного уровня. На рис. 195, в они обозначены цифрами 5' и 5. Рассмотрим совместно интегральную кривую работы откатки в точку A и кривую перемещения правых масс. В любой точке штрека, например в точке 7, ордината $7q$ первой кривой пропорциональна работе откатки левых масс в точку A , а ордината p_1q второй кривой пропорциональна работе перемещения в ту же точку A правых масс, сосредоточенных в точке 7. Ордината BB' интегральной кривой работ определяет полную работу откатки всех масс в точку A . Следовательно, отрезок pq , равный разности между ординатой BB' и суммой ординат $7q$ и p_1q , т. е. $pq = BB' - (7q + p_1q)$, и выражает собой работу по сосредоточению правых грузов в точке 7, или работу откатки грузов правого крыла в эту точку.

Аналогично и для второй пары кривых в точке 7 получим отрезок, выражющий собой работу откатки левого крыла:

$$p_1q_1 = AA' - (7q_1 + n_1p_1).$$

Сумма $pq + p_1q_1$ выражает собой, очевидно, полную работу откатки по штреку всех грузов в точку 7.

Указанным путем получаем для точек 1, 2, 3 и т. д. штрека

значение полных работ откатки и по ним как ординатам строим так называемую кривую суммарных работ откатки по штреку. На рис. 195, в она обозначена цифрой 6. Минимум этой кривой есть точка минимума работ откатки по штреку. Как и следовало ожидать, она лежит на линии, делящей запасы шахты пополам, т. е. расстояние AK на рис. 195, в равно расстоянию AK на рис. 195, б.

Полученная кривая суммарных работ откатки позволяет в любой точке штрека определить искомую работу.

Из изложенного достаточно полно выясняется значение и необходимость использования структурных планов месторождения и геометрических построений при решении данной задачи.

§ 45. Использование структурных и качественных графиков при планировании добычи руды заданного состава

Планирование добычи руды должно предусматривать выполнение плана по количественным и качественным показателям. Наличие структурных и качественных графиков способствует решению этой задачи.

Обеспечение постоянства состава руды, идущей в передел, обуславливает нормальный ход технологического процесса и в конечном счете — высокое качество продукта передела.

В качестве иллюстрации приведем пример организации работы по обеспечению выдачи бокситовой руды заданного состава.

Руководствуясь проектом разработки месторождения и новыми заданиями, ежегодно составляют планы развития вскрышных и добывочных работ. В них с необходимой полнотой рассматривают вопросы планирования подготовительных (вскрыша, зачистка) работ и добычи боксита с объемными и качественными показателями на основе учета данных дополнительной эксплуатационной разведки.

Далее на основе годового плана горных работ в конце каждого месяца составляют планы горных работ на следующий месяц с указанием на маркшейдерских планах места и объемов вскрыши и добычи.

На планируемую добычу составляют эксплуатационную ленту с показанием: объемов и качества боксита по блокам с учетом эксплуатационной разведки и дополнительного опробования руд в забоях (после вскрытия и зачистки) и направления хода экскаватора. Материал представляется в виде вертикального разреза ленты (рис. 196), где показываются разведочные скважины, мощность залежи, номера блоков, привязка ленты к профильным линиям и линии хода экскаватора, а также таблицы качества бокситов на планируемый месяц (табл. 4).

После утверждения указанных материалов они передаются рудникам для исполнения.

Процесс передела руды требует, чтобы она в некоторых пределах была постоянного состава.

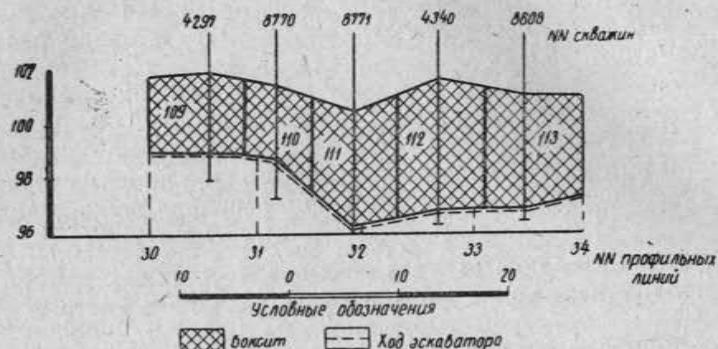


Рис. 196. Вертикальный разрез добычной ленты № 5

Таблица 4

№ блока	№ скважины	Средняя мощность по блоку	Средневзвешенные значения по блоку, %					Марка боксита	Ширина ленты, м	Объем, м ³	Вес, т
			Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	кремниевый модуль				
109	4297	2,7	50,5	11,8	7,2	5,5	4,5	Б-4	10	488	972
110	8770	2,7	50,3	16,1	5,9	5,2	3,1	Б-5	10	368	736
111	8771	3,7	53,1	11,6	8,7	3,4	4,6	Б-4	10	592	1184
112	4340	4,3	55,0	13,0	8,0	—	4,2	Б-4	10	688	1376
113	8608	4,0	49,0	9,0	7,5	6,5	6,4	Б-4	10	720	1440
Всего . . .											14 900

Пусть основные показатели руды на участках варьируют в диапазоне:

Al₂O₃ . . . от 40 до 50 %

SiO₂ 9 , 18%

Fe₂O₃ 8 , 26%

CaO . . . от следов до 9%

При такой качественной пестроте бокситов не может обеспечиваться нормальное течение процесса передела руды без дополнительных мероприятий по доведению их до требуемого состава.

Пусть проектом технологии передела и добычи предусмотрено поступление бокситов с трех участков (№ 1, 5 и 6) со следующими средневзвешенными показателями: Al₂O₃ — 44,6%; SiO₂ — 13,2%, Fe₂O₃ — 17% и кремниевый модуль 3,3.

На планируемый месяц глиноземному заводу требуется 20 000 т боксита указанного состава, а участки рудника в этот месяц могут выдавать руду с показателями, приведенными в табл. 5.

Таблица 5

№ участка	Al ₂ O ₃ , %	SiO ₂ , %	Fe ₂ O ₃ , %	Кремниевый модуль
1	42,3	14,5	26,6	2,9
5	43,0	12,4	14,6	3,4
6	46,2	12,1	14,3	3,8

Для выявления пропорций поступающей руды решим два уравнения следующего вида:

$$(m_1 \cdot 2,9) + (m_5 \cdot 3,4) + (m_6 \cdot 3,8) = (20000 \times 3,3);$$

$$(m_1 \cdot 26,6) + (m_5 \cdot 14,6) + (m_6 \cdot 14,3) = (20000 \times 17,0),$$

где m_i — вес руды, планируемой к добыче с соответствующего участка.

Для простоты решения задачи зададимся добычей руды с участков № 1 — 8000 т и № 5 — 6000 т, а добычей с участка № 6 будем доводить состав руды до требуемого.

Подставляя взятые количества руды в первое уравнение, получим $(8000 \cdot 2,9) + (6000 \cdot 3,4) + (m_6 \cdot 3,8) = (20000 \cdot 3,3)$, откуда $m_6 \cdot 3,8 = 66\ 000 - 43\ 600 = 22\ 400$; следовательно,

$$m_6 = 22\ 400 : 3,8 = 5\ 895 \approx 6000 \text{ т.}$$

Из решения второго уравнения получим $m_6 = 6126 \approx 6000 \text{ т.}$

Итак, для получения требуемого состава руды нужно дать в месяц: с участка № 1 — 8000 т, или 200 думпкаров, с участка № 5 — 6000 т, или 150 думпкаров, и с участка № 6 — 6000 т, или 150 думпкаров (при среднем весе руды в думпкаре 40 т), т. е. руда должна поступать на склад усреднения в пропорциях: с участка № 1 — 4, участка № 5 — 3 и участка № 6 — 3.

Процесс усреднения на складе иллюстрируется рис. 197, (правая сторона), где 1 — бетонная эстакада; 2 — разгрузочный путь; 3 — погрузочный путь; 4 — рудный навал; 5 — сих-

товарный навал; 6 — перемешивание руды экскаватором; 7 — погрузка экскаватором готовой руды.

По такой же схеме работает левая сторона склада. Совместная работа позволяет создавать разрыв между образованием сшихтованного навала и его отгрузкой для опробования навала.

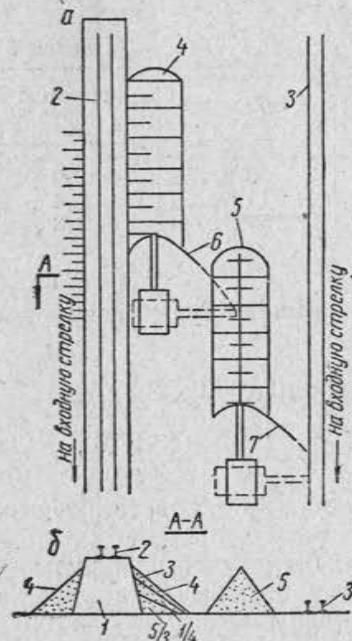
Прибывающие на склад

вагоны опробуются. Бороздовое опробование навала производится после усреднения руды. Результаты опробования дают отклонения значения компонентов руды от заданных, достигающие 1%. Как показывает опыт, это не нарушает нормального хода технологического процесса передела руды.

Более значительные отклонения вызывают нежелательные последствия — увеличение расходных коэффициентов соды, пара, электроэнергии, потери избыточного глиноzemса и др. Поэтому постоянство состава шихты имеет первостепенное значение.

Варианты усреднения определяются конкретными условиями.

Практика работы показывает, что на складе усреднения должны работать маркшейдер и геолог. Совместно они успешно решают все вопросы, связанные с приемом руды, замерами, опробованием и отгрузкой ее.



РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глава XI

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

§ 46. Общие положения

Изучение месторождений полезных ископаемых завершается их оценкой, одним из существенных элементов которой является подсчет запасов. Подсчет запасов в условиях социалистической системы хозяйства подчинен основному требованию — строгого учета богатств недр и рационального их использования в интересах народного хозяйства. Подсчет запасов с технической стороны представляет собой определение с той или иной степенью точности количества и качества полезного ископаемого, находящегося в недрах того или иного месторождения. Излагаемые ниже сведения имеют в виду подсчет запасов твердых полезных ископаемых.

Подсчет запасов производится с целью:

- а) оценки месторождения и обоснования проекта предприятия;
- б) обоснования эксплуатационных смет, производственных и капитальных затрат;
- в) ведения учета движения запасов и планирования добычи;
- г) ведения практических расчетов при эксплуатации месторождения.

Разведанные запасы полезного ископаемого каждого месторождения по результатам подсчета их утверждаются в зависимости от значения месторождения Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) или Районной (территориальной) комиссией по запасам полезных ископаемых (ТКЗ).

Это утверждение является официальной оценкой промышленного значения месторождения и служит законным основанием для проектирования предприятия в целом или его расширения.

Результаты подсчета запасов даются в объемных (кубометр) или весовых единицах (тонна; для драгоценных и редких металлов — килограмм).

Все входящие в подсчет величины выражаются в метрической системе мер.

Запасы подсчитываются по всему месторождению и по отдельным его частям. Последнее вызывается необходимостью разделения запасов на категории и группы по степени изученности их, условиям залегания, свойствам полезного ископаемого, подготовленности к добыче и другим признакам.

Подсчет запасов производится на разных этапах разведки и разработки месторождения, начиная от оценки их в момент открытия, затем по завершении отдельных стадий разведки и, наконец, в период эксплуатации, когда запасы определяются с учетом прироста их по данным эксплуатационной разведки и убыли — по данным добычи.

В разработке теории и практики подсчета запасов большая заслуга принадлежит отечественным специалистам, разработавшим ряд основных методов подсчета, получивших мировое признание. К ним, в частности, относятся методы В. И. Баумана, А. К. Болдырева, Ф. Н. Шклярского, П. К. Соболевского, и других, применяемые при подсчете запасов твердых полезных ископаемых.

Большую методическую работу ведет ГКЗ, которой разработаны методические инструкции по учету и классификации запасов всех видов минерального сырья.

Маркшейдер на разных стадиях изучения и освоения месторождений полезных ископаемых принимает участие в подсчете запасов полезного ископаемого, обеспечивая геометрическую основу подсчета и производя подсчет, особенно при ежегодных пересчетах запасов на действующих предприятиях и при ведении учета движения запасов, потерь и разубоживания. При этом его интересует в основном геометрическая сторона подсчета запасов, так как геологические основы подсчета уже известны и не претерпевают серьезных изменений.

При подсчете, утверждении и учете запасов полезных ископаемых руководствуются классификацией запасов. В настоящее время введена в действие приводимая ниже классификация запасов, утвержденная в 1960 г.

Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых

A. Общие положения

1. Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых устанавливает единые принципы подсчета и учета запасов полезных ископаемых в недрах, а также принципы определения подготовленности запасов для промышленного освоения в зависимости от изученности месторождения.

2. Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются раздельно для каждого вида минерального сырья. По полезным ископаемым, используемым для извлечения содержащихся в них ценных компонентов (металлов, минералов), подсчитываются и учитываются запасы как руды, так и ценных

компонентов. В комплексных рудах подлежат обязательному подсчету и учету помимо основных также и сопутствующие ценные компоненты.

3. Качество полезных ископаемых определяется в зависимости от их назначения и технологии переработки, а также с учетом необходимости наиболее полного и комплексного использования основных и сопутствующих ценных компонентов.

4. Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются по наличию в недрах без вычета потерь при их добыче, обогащении или переработке; состав и свойства полезных ископаемых определяются в их природном состоянии независимо от возможного разубоживания при добыче.

5. Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются в весовом выражении, за исключением минерального сырья, измеряемого при использовании в объемных единицах.

6. Применение настоящей классификации к отдельным видам минерально-го сырья определяется инструкциями Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР.

B. Группы запасов

7. Запасы полезных ископаемых по их народнохозяйственному значению разделяются на две группы, подлежащие отдельному подсчету, утверждению и учету.

Балансовые запасы — запасы, использование которых экономически целесообразно и которые должны удовлетворять кондициям, устанавливаемым для подсчета запаса в недрах.

Забалансовые запасы — запасы, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно вследствие: малого количества, малой мощности залежей, низкого содержания ценных компонентов, особой сложности условий эксплуатации, необходимости применения очень сложных процессов переработки, но которые в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения.

Причение. Запасы полезных ископаемых в охранных целиках шахт, транспортных магистралей и других капитальных сооружений подсчитываются отдельно и относятся к балансовым, если они удовлетворяют кондициям. Запасы широко распространенных строительных материалов в указанных целиках могут не подсчитываться.

8. Кондиции для подсчета запасов полезных ископаемых в недрах устанавливаются соответствующими государственными органами для каждого месторождения (или группы месторождений, аналогичных по геологическим и экономическим условиям) на основании технико-экономических расчетов, исходя из условий эксплуатации месторождения, количества запасов полезного ископаемого в нем, необходимости наиболее полного комплексного использования полезного ископаемого, его ценности и технологии переработки.

B. Категории запасов

9. Запасы месторождений полезных ископаемых подразделяются в зависимости от степени разведенности месторождений, изученности качества сырья и горнотехнических условий разработки месторождений на четыре категории: А, В, С₁ и С₂, которые характеризуются следующими условиями:

Категория А — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого, полное выявление природных типов и промышленных сортов минерального сырья, их соотношения и пространственного положения, выделение и оконтуривание безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого, полное выяснение качества, технологических свойств

полезного ископаемого и природных факторов (гидрогеологических, инженерно-геологических и др.), определяющих условия ведения горноэксплуатационных работ.

Контур запасов полезных ископаемых определен скважинами или горными выработками;

Категория В — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей: выяснение основных особенностей условий залегания, формы и характера строения тел полезного ископаемого, выявление природных типов и промышленных сортов минерального сырья и закономерности их распределения без точного отображения пространственного положения каждого типа, выяснение соотношения и характера безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого без точного их оконтуривания, выяснение качества, основных технологических свойств полезного ископаемого и основных природных факторов, определяющих условия ведения горноэксплуатационных работ.

Контур запасов полезных ископаемых определен по данным разведочных выработок с включением, при устойчивой мощности и, выдержанном качестве полезного ископаемого, ограниченной зоны экстраполяции.

Категория С₁ — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого, его природных типов и промышленных сортов, качества, технологических свойств, а также природных факторов, определяющих условия ведения горноэксплуатационных работ.

Контур запасов полезных ископаемых определен на основании разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным.

Категория С₂ — запасы, предварительно оцененные: условия залегания, форма и распространение тел полезного ископаемого определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытием полезного ископаемого в отдельных точках либо по аналогии с изученными участками.

Качество полезного ископаемого определено по единичным пробам и образцам или по данным примыкающих разведенных участков.

Контур запасов полезных ископаемых принят в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Причение. Кроме запасов полезных ископаемых категорий А, В, С₁ и С₂, подсчитываемых по отдельным месторождениям, в необходимых случаях для оценки потенциальных возможностей рудных зон, полей, бассейнов и районов на основе общих геологических представлений определяются прогнозные запасы.

10. Запасы комплексных руд и содержащихся в них основных ценных компонентов подсчитываются и учитываются по одним и тем же категориям, а запасы сопутствующих ценных компонентов в зависимости от степени изученности могут подсчитываться и учитываться по другим категориям.

11. На разрабатываемых месторождениях запасы полезных ископаемых, вскрытые при проходке горнокапитальных выработок, а также запасы, находящиеся в контурах горноподготовительных и очистных выработок, подсчитанные по принятой маркшейдерской номенклатуре, должны быть отнесены к категориям в зависимости от степени их изученности.

Г. Подготовленность месторождений (участков) для промышленного освоения

12. Составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий должны производиться при наличии на месторождении или его участке утвержденных Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых) балансовых запасов полезного ископаемого категорий А, В и С₁. При этом для отдельных групп мес-

торождений устанавливается приведенное ниже соотношение запасов указанных категорий.

Группа 1. К этой группе относятся месторождения (участки) простого строения с выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным распределением полезных компонентов. Для месторождений этой группы не менее 30% запасов должно быть разведано по категориям А и В, в том числе не менее 10% — по категории А. Значительное превышение количества разведенных запасов категорий А и В по сравнению с указанным пределом без должного обоснования неподесообразно, за исключением небольших месторождений, разработка которых производится без эксплуатационной разведки.

Группа 2. К этой группе относятся месторождения (участки) сложного строения с невыдержанной мощностью тел полезных ископаемых или неравномерным распределением полезных компонентов, на которых выявление запасов категории А в процессе детальной разведки неподесообразно вследствие очень высокой стоимости разведочных работ. Для месторождений этой группы не менее 20% потребных запасов должно быть разведано по категории В.

Группа 3. К этой группе относятся месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью тел полезных ископаемых или исключительно невыдержаным содержанием полезных компонентов, на которых в процессе детальной разведки неподесообразно выявлять запасы категории В. Проектирование горнодобывающих предприятий и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий допускается на базе запасов категории С₁.

На месторождении, вовлекаемом в промышленное освоение не полностью, указанное соотношение запасов различных категорий должно выдерживаться для той его части, на базе которой намечается строительство горнодобывающего предприятия.

Для месторождений коксующихся углей запасы по категориям А и В должны составлять не менее 60% от суммы запасов категорий А, В и С₁, в том числе не менее 30% по категории В.

13. Возможность проектирования и строительства горнодобывающего предприятия при наличии меньших количеств запасов категорий А или В против запасов, указанных в п. 12 настоящей классификации, устанавливается Государственной комиссией по запасам при Совете Министров СССР (или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых) при утверждении запасов.

14. На месторождениях (участках), подлежащих промышленному освоению, гидрогеологические и горнотехнические условия их эксплуатации, качество и технология переработки полезного ископаемого во всех случаях должны быть изучены с детальностью, достаточной для составления проекта горнодобывающего предприятия.

Наиболее детально должны быть разведаны участки и горизонты месторождения, намеченные по предварительным данным для первоочередной отработки.

Наряду с разведкой участка, передаваемого в промышленное освоение, должны быть оценены общие запасы месторождения.

15. При проектировании горнодобывающих предприятий для определения возможных перспектив их развития в дальнейшем (определения наибольшей глубины и площади разработки, выбора способа вскрытия и места заложения шахтных стволов, расположения сооружений, подъездных путей и отвалов), а также с целью более полного использования минеральных ресурсов должны учитываться запасы категории С₂ и забалансовые запасы.

16. Соотношение запасов различных категорий на разрабатываемых месторождениях устанавливается в каждом отдельном случае, предприятиями, осуществляющими эксплуатацию, исходя из необходимости обеспечения нормального ведения горноподготовительных и очистных работ в соответствии с производственными планами предприятий.

§ 47. Определение исходных показателей залежи

При подсчете запасов величины, характеризующие залежь и полезное ископаемое в отдельных точках, являются исходными. К ним относятся: мощность залежи, объемный вес полезного ископаемого и содержание полезных компонентов.

Мощность залежи

Мощность залежи, имеющей четкие контакты с вмещающими породами, измеряется непосредственно в выработках при опробовании и документации. Если залежь разделяется на различные сорта, то измеряется мощность каждого сорта.

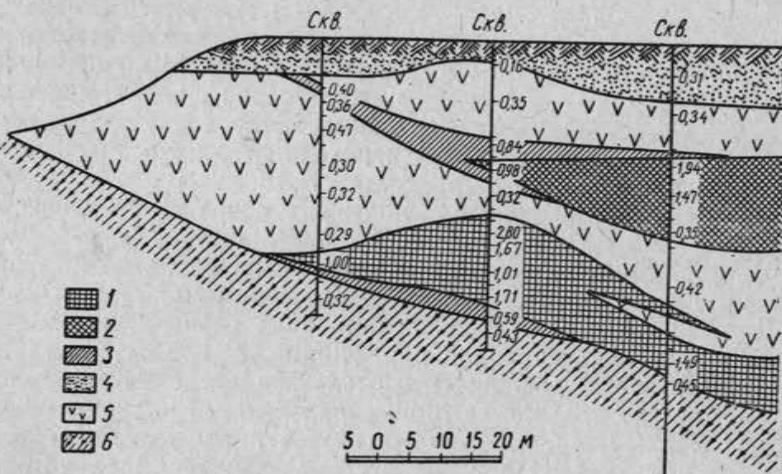


Рис. 198. Определение мощности рудных тел по данным опробования.

1 — балансовые руды нижнего горизонта, 2 — балансовые руды верхнего горизонта, 3 — балансовые руды, 4 — бурье глины с песком, 5 — разрушенный серпентинит, 6 — хлоритовые, талько-хлоритовые и актинолитовые породы

Мощность рудных тел, не имеющих отчетливых границ с вмещающими породами, измеряется по результатам опробования. На рис. 198 представлена схема определения мощности рудных тел по данным опробований. Здесь выделяются два линзовидных, почти горизонтальных тела никелевых руд коры выветривания. Границы их не отчетливы и контуры их определяются только по результатам опробования.

Для ряда способов подсчета запасов требуется вывод средней мощности по залежи или части ее, запасы которой подсчитываются отдельно. Во всех случаях более или менее равномерного распределения пунктов замера мощностей среднее

значение мощности определяется как среднее арифметическое. При неравномерном распределении мест замера мощностей залежи, не обладающей закономерным изменением мощности, среднее значение мощности находится так же, как среднее арифметическое. В случае устойчивого и закономерного изменения мощности при резком неравномерном распределении точек замера мощностей средняя мощность залежи определяется как среднее взвешенное на длины или площади, тяготеющие к измеренным мощностям.

Объемный вес полезного ископаемого

Объемный вес R полезного ископаемого находится лабораторным или полевым путем.

В лаборатории R определяется одним из трех способов:

- 1) пикнометрически, когда часть проб полезного ископаемого дробится в порошок и погружается в сосуд с водой; сопоставление веса сосуда с водой и веса сосуда с водой, содержащей порошок полезного ископаемого, позволит определить удельный вес последнего. Для перехода к R надо знать коэффициент перевода;
- 2) взвешиванием образцов полезного ископаемого в воздухе и в воде;
- 3) взвешиванием образцов и определением их объема в мерном сосуде.

Для определения R в последних двух случаях необходимо образцы покрывать пленкой парафина.

При полевом (валовом) способе определения объемного веса по залежи проходится горная выработка и вся добываемая масса взвешивается, а объем выработки тщательно измеряется. R равно частному от деления веса полезного ископаемого на объем выемки.

Определение объемного веса будет подробно рассматриваться ниже в главе XIV. Здесь же следует обратить внимание на то, что при определении объемных весов без оснований ограничиваются двумя значащими цифрами. При общем требовании давать при подсчете запасов не менее трех значащих цифр указанную практику в отношении выражения R нельзя признать правильной.

Содержание компонентов

Содержание полезного компонента (ценного металла или минерала) выражается в процентах от веса полезного ископаемого или в граммах на единицу объема.

Надежность определения содержания металлов в руде подтверждается контрольными анализами, результаты которых прилагаются к данным по подсчету запасов.

Контрольные анализы разделяют на внутренние и внешние. Внутренний контроль осуществляется в лаборатории, производящей основные анализы, путем анализа некоторого количества зашифрованных дубликатов проб. Внешний контроль осуществляется путем анализа части проб в другой, высококвалифицированной лаборатории.

Внутренний контроль вскрывает только случайные ошибки определения содержания. Внешний контроль способен вскрыть как случайные, так и систематические ошибки определения содержания.

В практике установлено выделение на внутренний контроль от 5 до 10% от общего количества контролируемых проб. Количество контрольных проб для внешнего контроля должно быть не менее 25 для каждого периода контроля. Заключение о наличии случайных или систематических ошибок по контрольным анализам может быть сделано в первом приближении простым сличием основных и контрольных анализов проб. При этом размеры отклонения контрольных анализов от основных по всему ряду проб дают возможность судить о степени точности работы лаборатории, а преобладающий знак этих отклонений — о систематической ошибке и об ее знаке. Более строгое заключение дает обработка рядов основных и контрольных анализов проб. При этом наиболее важным является установление величины среднего значения систематической ошибки и точности этого определения.

Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых разработаны допустимые пределы средних случайных погрешностей определения параметров для распространенных видов минерального сырья.

Руды некоторых месторождений постепенно переходят во вмещающие породы. В этом случае контуры рудных тел проводятся по наименьшему содержанию металла в породе, которое представляет промышленный интерес. Такое минимальное содержание металла называется бортовым содержанием. Это название установилось при оконтуривании промышленных участков на россыпных месторождениях, позднее было перенесено на другие месторождения, т. е. вообще на все случаи, когда контуры тел полезных ископаемых ограничивались с учетом минимального краевого содержания ценного компонента.

В ряде случаев контур промышленного участка определяется с учетом содержания вредного компонента, имея при этом в виду максимальное допустимое его содержание.

Определение бортового и среднего минимального содержания полезных компонентов в комплексных месторождениях производится двояко.

Создается шкала комбинированных содержаний при разных соотношениях ценных компонентов. Например, может быть принята следующая шкала бортового содержания: 1% меди при отсутствии молибдена, 0,9% меди при 0,01 молибдена, 0,8% меди при 0,02% молибдена и т. д.

Минимальное содержание определяется по ведущему компоненту при отсутствии в пробах других компонентов. При наличии последних их содержание приравнивается к эквивалентному содержанию ведущего компонента, например к 1% содержания свинца приравнивается 0,75% меди плюс 2% цинка.

Определенных, постоянно действующих минимальных содержаний нет. Они изменяются в соответствии с изменением техники и экономики данной отрасли.

Определение среднего содержания полезного компонента производится путем взвешивания частных содержаний на длины, площади и объемы, к которым они тяготеют.

Определение среднего содержания металла в руде по штремку при разных интервалах опробования вычисляется по формуле

$$c = \frac{c_1 l_1 + c_2 l_2 + \dots + c_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (\text{XI}, 1)$$

где c_1, c_2 — частные содержания металла по пробам,

l_1, l_2 — расстояния по штремку, тяготеющие к пробам.

В случае изменчивой мощности и опробовании через равные интервалы взвешивание частных содержаний производится по мощности.

При изменчивой мощности и разных интервалах опробования взвешивание частных содержаний производится на произведения мощностей и длин тяготеющих к пробам.

При определении среднего содержания в блоках, заключенных между двумя сечениями, взвешивание производится по площадям этих сечений. При вычислении средних содержаний для серии блоков взвешивание производится по тяготеющим объемам.

При определении среднего содержания металла в руде важное значение имеет учет проб с весьма высоким содержанием. В разное время предложено много способов этого учета. Из всех сделанных предложений можно сделать вывод, заключающийся в том, что в случае подтверждения контрольным опробованием или сравнительно частой повторяемостью указанных содержаний они должны учитываться при определении средних содержаний металла в руде по отдельным выработкам в соответствии с частотой их появления.

§ 48. Оконтуривание залежи

Подсчет запасов производится в пределах определенных границ.

Выделение границы залежи называется оконтуриванием ее. Оконтуривание является ответственной задачей, при решении которой необходим тщательный учет всех особенностей геологической обстановки наряду с использованием объективных показателей разведки (мощность залежи, содержание компонентов, элементы и условия залегания).

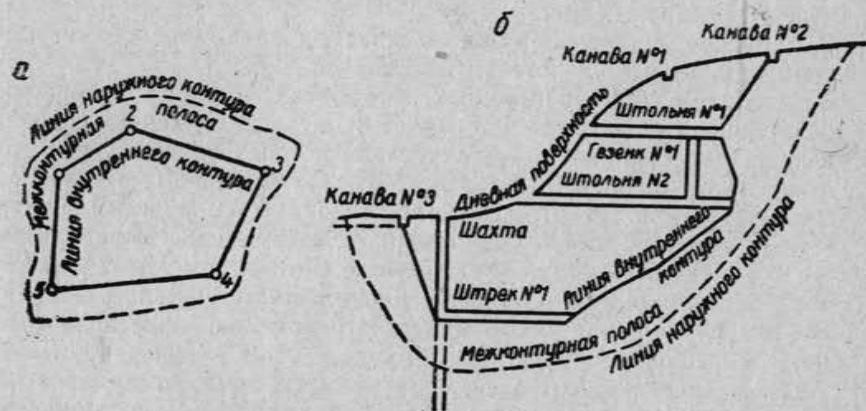


Рис. 199. Оконтуривание залежи:
а — в плане, б — в плоскости залежи

При одинаковых геологических условиях решение задачи сводится к оконтуриванию залежи по мощности.

Разведочные и горные выработки, встретившие залежь, называются «рудчими», не встретившие — «безрудчими».

Линия, оконтуривающая залежь по крайним рудным выработкам, называется линией внутреннего контура, или внутренним контуром.

Естественно, что залежь продолжается на некоторое расстояние за внутренним контуром, где она выклинивается или обрезается тектоническими нарушениями.

Точки, в которых залежь выклинивается, называются нулевыми (мощность равна нулю), а линия, их соединяющая, — линией наружного контура, или наружным (нулевым) контуром. Площадь залежи между внутренним и внешним контурами называется межконтурной полосой.

На рис. 199 изображены: внутренний контур (сплошная ли-

ния), наружный контур (пунктирная линия) и межконтурная полоса.

На 199, а показано оконтурирование по данным буровых скважин, а на рис. 199, б — оконтурирование по комплексу разведочных канав и горных выработок в проекции на наклонную плоскость с элементами залегания, равными среднему значению элементов залегания рудного тела.

Если внутренний контур обычно нетрудно построить, то определение наружного контура является более сложной задачей, правильное решение которой требует анализа многих данных о месторождении.

При построении наружного контура залежи с геометрической стороны могут встретиться два случая.

1. Кроме крайних рудных выработок имеются выработки безрудные (не встретившие залежи) и расположенные от первых на расстояниях, приблизительно равных среднему расстоянию между разведочными выработками, принятому на данном месторождении. В этом случае, очевидно, наружный контур залежи проходит между рудными и безрудными выработками.

2. Имеются крайние рудные выработки; безрудных выработок нет или они от первых расположены слишком далеко. В этом случае построение наружного контура более произвольно, чем в первом случае.

Соответственно этим двум случаям существуют два способа оконтурирования залежи: интерполирование и экстраполирование.

Метод интерполирования применяется при нахождении точек наружного контура залежи между двумя ближайшими выработками, из которых одна — рудная, а другая — безрудная.

Если имеется рудная выработка и ближайшая к ней безрудная на расстоянии, равном расстоянию между выработками, остается сделать предположение, что точка наружного контура залежи находится на середине между данными выработками. По ряду таким путем полученных точек проводится наружный контур залежи. Подобный способ построения наружного контура называется интерполированием на середину расстояния между рудными и безрудными выработками.

В этом случае крайние рудные выработки 1, 2, 3, 4 и 5 (рис. 200) соединяются прямыми линиями с ближайшими к ним безрудными выработками 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12; проведенные прямые делятся пополам, в результате чего находятся нулевые точки, или точки выклинивания залежи (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*), соединяя которые прямыми или одной плавной кривой, будем иметь на плане линию наружного контура залежи.

Однако указанный способ обладает весьма существенным недостатком в том отношении, что независимо от мощности,

встреченной в крайней рудной выработке, нулевая точка выносится на середину расстояния между рудной и ближайшей безрудной выработками, что может сильно искажать естественный угол выклинивания залежи.

На рис. 201 сплошной линией показан контур залежи в вертикальном сечении.

В крайних рудных выработках встречены разные мощности: в выработке № 1 — мощность m_1 , в выработке № 2 — мощность m_2 ; первая в два раза больше второй. Безрудные выработки (3—4) расположены от крайних рудных (1 и 2) на одинаковом расстоянии, равном r .

При интерполировании на середину расстояния r нулевыми точками залежи будут точки κ_2 и κ'_2 и соответственно им углы выклинивания залежи — v_2 и v'_2 . Нетрудно видеть, что последние не отвечают данному контуру залежи и от действительных углов выклинивания v_1 и v'_1 сильно отличаются. Также не совпадают действительные точки наружного контура κ_1 и κ'_1 с точками κ_2 и κ'_2

полученными построением по указанному способу. Следовательно, при построении наружного контура залежи способом интерполирования на половину расстояния между ближайшими рудными и безрудными выработками необходимо вносить в результаты уточнение путем учета значения мощности в данной крайней рудной выработке. При этом пользуются так называемым средним углом выклинивания залежи.

Тангенс среднего угла выклинивания залежи a_{cp} определяется как отношение средней мощности m_{cp} (рис. 202, а) залежи к половине среднего расстояния r_{cp} между выработками.

В этом случае расстояние x , на котором находится нулевая точка C_1 (рис. 202, б) залежи от крайней «рудной» выработки B_1A_1 с помощью m , определяется просто из прямоугольного треугольника $A_1B_1C_1$:

$$x = \frac{m}{\operatorname{tg} z_{cp}} = m \frac{r_{cp}}{2m_{cp}}. \quad (\text{XI}, 2)$$

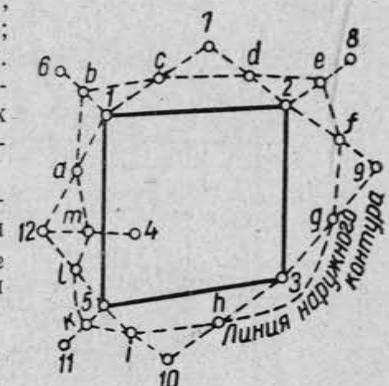


Рис. 200. Построение контура залежи методом интерполирования на середину расстояния между выработками

где α_{cp} — средний угол выклинивания залежи, определяемый из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_{cp} = \frac{2m_{cp}}{r_{cp}}, \quad (\text{XI}, 3)$$

где m — мощность в данной «рудной» выработке;

$$m_{cp} = \frac{\Sigma m}{n} \text{ — средняя мощность залежи;}$$

$$r_{cp} = \frac{\Sigma r}{n} \text{ — среднее расстояние между выработками.}$$

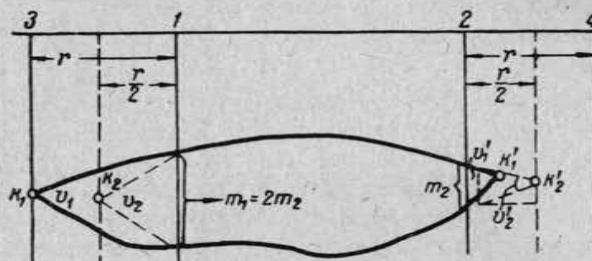


Рис. 201. Построение наружного контура с учетом мощности залежи в крайних рудных выработках

Расстояние x легко определяется графически. Для этого на плане от данной «рудной» выработки, например A_1 (см. рис. 202, б), проводится прямая в направлении к ближайшей «безрудной» выработке, из точки A_1 восстановляется перпендикуляр A_1B_1 к этой прямой, равный мощности m залежи в этой точке; при точке B_1 строится угол ($90^\circ - \alpha_{cp}$); точка C_1 , очевидно, будет искомой нулевой точкой залежи. Точки C наружного контура аналогичным образом могут строиться на перпендикулярах к линиям внутреннего контура или биссектрисах углов между ними, проведенных из «рудных» точек в сторону наружного контура.

Необходимым условием применения этого приема является линзообразный характер залежи и равномерное распределение выработок. Кроме того, направления, по которым откладывается x , не должны иметь значительных отклонений от нормали к контуру в данном месте. Как видим, здесь принцип интерполирования на середину расстояния между выработками сохранен и в то же время учитывается значение мощности в каждой выработке.

По ряду полученных таким образом нулевых точек проводится линия наружного контура.

Метод экстраполирования применяется при построении линии наружного контура залежи при условии, что «бездрудных» выработок нет или они расположены от крайних «рудных» на расстояниях, не допускающих интерполирования.

При экстраполировании определение нулевых точек залежи производится различно, а именно:

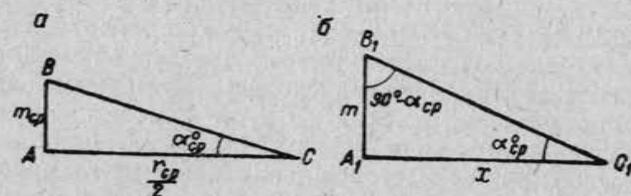


Рис. 202. Построение наружного контура методом интерполирования по среднему углу выклинивания залежи

а) на половину среднего расстояния между рудными выработками и

б) по углу выклинивания в данном направлении.

В первом приеме точки залежи выносятся за линию внутреннего контура на половину среднего расстояния между рудными выработками.

Второй прием сводится к следующему.

На рис. 203 мы имеем две ближайшие друг к другу рудные выработки A и B , из которых B лежит на внутреннем контуре залежи, а точка A расположена от B к центру залежи. Необходимо определить нулевую точку C залежи.

Пусть M и m — мощности залежи в точках A и B . Через последние на плане проведем прямую в направлении к линии наружного контура. Из точек A и B восстановим перпендикуляры и отложим на них в масштабе плана отрезки Aa и Bb , соответственно равные мощностям M и m . Через точки a и b проведем прямую до пересечения с продолжением отрезка AB в точке C . Последняя является искомой точкой залежи в данном направлении AB . Угол α есть угол выклинивания залежи в том же направлении, а x^1 — искомое расстояние, которое нужно отложить на продолжении отрезка AB в сторону наружного контура, чтобы получить нулевую точку C .

Из рис. 203 видно, что, имея мощности M и m залежи в ближайших двух выработках (точках) A и B и расстояние

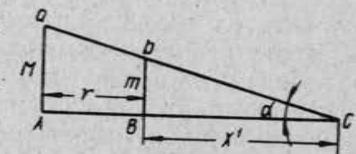


Рис. 203. Построение наружного контура методом экстраполирования по углу выклинивания залежи в данном направлении

р между ними, легко вычислить расстояние x' между внутренним и внешним контурами в данном направлении. Оно определяется из следующего простого соотношения:

$$x' = \frac{rm}{M-m}. \quad (\text{XI}, 4)$$

Выше рассмотрено построение наружного контура залежи приемами, связанными с плотностью разведочной сетки.

В практике оконтуривания используют также приемы, связанные с системой разработки. В этом случае внешний контур проводится за пределами внутреннего на один-два этажа. Для выдержаных месторождений чаще всего производят экстраполяцию на два этажа, для менее выдержаных, например жильных, месторождений редких металлов — на один этаж. Применение их на разрабатывающихся месторождениях основывается на особенностях геологических условий и опыта разработки их.

Наконец, нередко построение внешнего контура связывается с размерами тел полезного ископаемого. При этом расстояние внешнего контура от внутреннего ставится в зависимость от размеров залежи, установленных в выработках. Для крупных тел граница проводится дальше, для мелких — ближе. Часто используется для этих целей правило треугольника, по которому внешний контур залежи образует треугольник, высота которого берется равной половине длины ее по профилю. Видоизмененным правилом треугольника является проведение внешнего контура параллельно внутреннему контуру на расстоянии, равном четверти длины залежи по профилю. Площадь межконтурной полосы в обоих случаях будет одной и той же, но форма треугольника для рудных тел естественнее, чем форма четырехугольника.

Для изометрических тел (штоки, гнезда) внешний контур проводится в виде конуса или полушария, основанием которого является сечение тела на внутреннем контуре, а высотой (конуса) или радиусом (полушария) — половина его среднего поперечного размера.

Следует отметить, что указанные приемы занижают размеры площади межконтурной полосы и подсчитываемые запасы на ранних стадиях разведки, когда третье измерение по падению тела разведано слабо. Наоборот, на детально разведенных месторождениях, когда внутренний контур подходит близко к линии выклинивания залежи, эти приемы могут преувеличить площади межконтурной полосы. При учете особенностей строения тела, его размеров и разведенности можно избежать этого.

Таким образом, положение нулевой точки С залежи в данном направлении определяется построением или вычислением.

Для целей подсчета запасов и установления границ разработки залежи по нулевому (наружному) и внутреннему контурам строится контур минимальной промышленной мощности и в необходимых случаях — контур минимального промышленного содержания. Величина последних различна и зависит как от характера полезного ископаемого, так и от ряда технико-экономических факторов. Контур минимальной промышленной мощности (минимального промышленного содержания полезного компонента) строится методом интерполяции между точками с фактически выявленными значениями мощности и содержания.

Приведенные выше приемы построения контурных линий (контуров залежи) отнюдь не исчерпывают решения поставленной залежи, а лишь являются необходимыми геометрическими элементами при решении ее в полном объеме.

§ 49. Определение площадей

При подсчете запасов в объемной или весовой мере площадь распространения залежи или отдельной ее части входит как основной элемент подсчета. Поэтому определение площади является постоянно встречающейся операцией при подсчете запасов полезного ископаемого.

Поверхности, площади которых подлежат определению, могут быть плоскостями и топографическими поверхностями. Определяемые площади могут ограничиваться ломанными или кривыми линиями.

Способ определения площади обусловливается характером поверхности залежи, формой ограничивающего контура и способом подсчета запасов.

Рассмотрим основные приемы определения площадей, применяемые при подсчете запасов.

Определение площади плоского контура

При подсчете запасов во многих случаях при определении площадей пользуются планиметром. Теория планиметра и практика измерения им площади на плане известны читателю из курса геодезии.

Измерение площадей планиметром широко применяется при всех методах подсчета запасов.

При отсутствии планиметра площадь с криволинейным контуром можно измерить при помощи курвиметра и прозрачного транспаранта из восковки.

Линии транспаранта обычно проводятся через 2,1 и 0,5 см. Для удобства каждая третья линия делается утолщенной.

При определении площади контура на последний накладывается транспарант (рис. 204) с таким расчетом, чтобы некоторые две линии транспаранта касались контура площади в двух точках, например в точках *a*, *b*. Отрезки линий транспаранта, заключенные в пределах контура, последовательно прокатываются (измеряются) курвиметром. Длины их при

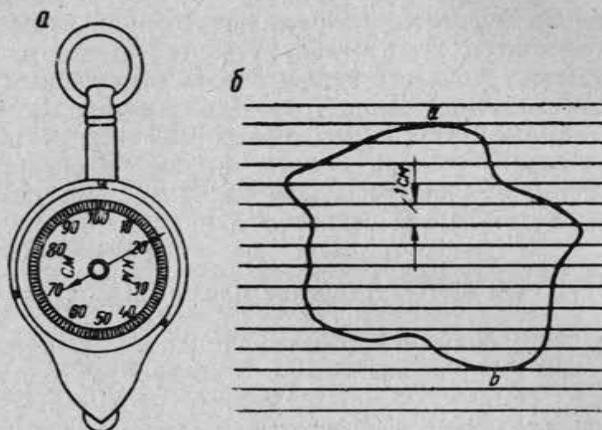


Рис. 204. Измерение площади при помощи курвиметра и транспаранта

этом автоматически на приборе суммируются и дают площадь контура на плане в квадратных сантиметрах, если расстояние между линиями транспаранта равно 1 см. После этого площадь в соответствии с масштабом плана выражается в квадратных метрах. Для получения более вероятного результата определение площади производится несколько раз при разных ориентировках транспаранта и из результатов берется среднее арифметическое.

Если расстояние между линиями транспаранта равно 0,5 или 2 см, то, чтобы получить площадь, отсчет на курвиметре нужно разделить на два в первом случае и умножить на два — во втором.

Нетрудно видеть, что при определении площадей курвиметром прокатываемые отрезки прямых принимаются за средние линии трапеции с высотой, равной расстоянию между соседними линиями транспаранта, а криволинейные части контура, соответствующие этим средним линиям, — за прямолинейные боковые стороны трапеций. Отсюда вытекает указан-

ная выше зависимость суммарной длины линий палетки, определяемой площадью.

Для небольших площадей и контуров со сложным очертанием способ неудобен и недостаточно точен. При определении больших и средних по размерам площадей способ применяется широко и при тщательной работе дает удовлетворительные результаты. Результаты определения одной и той же площади планиметром и курвиметром разнятся в допустимых пределах (1—2%).

При измерении площадей часто пользуются палеткой, представляющей собой лист прозрачной бумаги или другого материала, на который нанесены угловые точки квадратов со стороной в 1 см или в 0,5 см (рис. 205). Если палетку наложить на контур плана, то каждой точке палетки внутри контура будет соответствовать площадь, равная 1 cm^2 (при стороне квадрата, равной 1 см).

Количество точек палетки, попадающих внутрь контура, будет выражать в квадратных сантиметрах площадь, ограниченную контуром. После этого измеряемая площадь выражается в квадратных метрах согласно масштабу плана.

В подсчет входят все точки внутри контура и половина точек, расположенных на линии контура. Определение площади производится несколько раз (обычно три) при разной ориентировке палетки относительно контура. Из всех определений берется среднее арифметическое.

Для небольших площадей и контуров со сложным очертанием берется палетка со стороной квадрата в 0,5 см. При этом, чтобы получить измеряемую площадь в квадратных сантиметрах, подсчитанные точки палетки нужно разделить на четыре. Способ весьма прост и дает удовлетворительные результаты, не уступающие по точности результатам измерения площадей курвиметром; поэтому им также широко пользуются.

Определение площади линейчатой поверхности — способ В. И. Баумана

При подсчете запасов пластовых месторождений с переменными углами падения приходится иметь дело со сложными (топографическими) поверхностями, площади которых не-

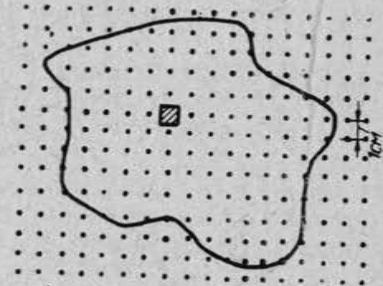


Рис. 205. Определение площади палеткой

обходится определять. Для этого, а также для решения ряда других горнотехнических задач поверхности пластов изображаются в изогипсах. Поверхность, заключенную между двумя соседними изогипсами, будем считать линейчатой, т. е. такой, которая в вертикальном сечении по линии, перпендикулярной к изогипсам, изображается наклонным отрезком прямой.

Пусть на рис. 206, а изображена топографическая поверхность пласта, заключенная между изогипсами 50 и 100.

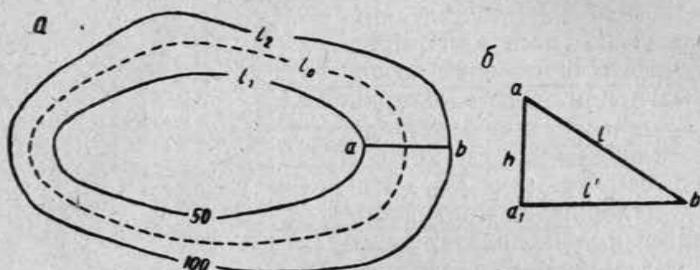


Рис. 206. К определению площади линейчатой поверхности

Определим ее площадь S . На рис. 206, б представлено вертикальное сечение указанной поверхности по линии ab .

Обозначим: l_1 , l_2 , l_0 — длина верхней, нижней и средней изогипс поверхности; l — наклонная длина образующей ab ; l' — ее горизонтальная проекция; h — сечение горизонталей.

Выделим бесконечно малый элемент dS поверхности, заключенный в пределах кольцевого пояса между двумя бесконечно близкими образующими. Отрезки указанных выше изогипс в пределах выделенного элемента обозначим соответственно через dl_1 , dl_2 и dl_0 .

Тогда dS найдется из выражения

$$dS = dl_0 l = dl_0 \sqrt{(l')^2 + h^2} = \sqrt{(dl_0)^2 (l')^2 + (dl_0)^2 h^2} = \sqrt{(dB)^2 + (dC)^2}. \quad (a)$$

Здесь dB — горизонтальная проекция элемента dS , а dC — элемент поверхности прямого цилиндра, построенного на средней изогипсе элемента dS . Возможность применения формулы (а) к определению площади dS достигается заменой выделенной элементарной площадки dS поверхности около прямой ab (рис. 206) в форме трапеции равновеликой ей площадкой в форме прямоугольника.

Если ширина l' кольца между изогипсами на плане остается постоянной для всего пояса, то длина образующей $l = \sqrt{(l')^2 + h^2}$ остается постоянной и суммирование элементов dS дает площадь S поверхности всего кольца, заключенного между изогипсами

$$S = \sum dS = \sqrt{(l')^2 + h^2} \sum dl_0 = l_0 \sqrt{(l')^2 + h^2} = l_0 l = \sqrt{B^2 + C^2}, \quad (\text{XI}, 5)$$

где B — площадь горизонтальной проекции поверхности пласта, заключенной между соседними изогипсами l_1 , l_2 ;

C — поверхность прямого цилиндра, построенного на средней изогипсе l_0 .

Если же расстояние l' между изогипсами (ширина пояса) изменяется, то формула для S остается той же самой, только входящая в B ширина полосы l' заменится средней шириной ее $l'_{\text{ср}}$.

Таким образом, при определении площади топографической поверхности последняя равноотстоящими горизонтальными плоскостями расчленяется на ряд полос, после чего площадь каждой полосы находится отдельно и общая площадь получается суммированием площадей этих полос. Порядок практического определения площади каждого пояса таков:

а) одним из способов измеряется на плане площадь B , заключенная между двумя соседними изогипсами;

б) на том же плане курвиметром измеряются длины l_1 , l_2 указанных изогипс с целью получения длины l_0 средней изогипсы как полусуммы l_1 , l_2 ;

в) вычисляется площадь C прямого цилиндра по формуле $C = l_0 h$;

г) находится S из выражения $S = \sqrt{B^2 + C^2}$.

Вычисление S производится при помощи таблицы квадратов или чаше графически, построением прямоугольного треугольника, катетами которого являются величины B и C . Гипотенуза этого треугольника с достаточной точностью будет выражать собой искомую площадь S .

В. И. Бауман, предлагая этот способ определения площади линейчатой поверхности, исследовал точность определения S и выразил относительную ошибку m_s определения площади линейчатой поверхности пояса, заключенного между двумя соседними изогипсами, формулой

$$m_s = \frac{(\Delta \delta)^2}{3}. \quad (\text{XI}, 6)$$

Например, при $\delta_0 = 45^\circ$, $\Delta\delta = \pm 10^\circ$ относительная ошибка определения площади линейчатой поверхности между двумя изогипсами будет равна

$$m_s = \frac{1}{3} \left(\frac{10}{57} \right)^2 \cong 0,01, \text{ или } 1\%.$$

Таким образом, для углов падения поверхности, изменяющихся от 35 до 55° , ошибка вычисления площади по формуле (XI, 6) не превышает 1% .

В действительности, по-видимому, эта ошибка несколько больше, так как длина l' проекции образующей изменяется неравномерно и имеет в пределах определяемой площади ряд минимумов и максимумов. Результат вычисления можно несколько улучшить путем определения площади пояса по частям, заключенным между соседними образующими, для которых длина проекции l' имеет наименьшую и наибольшую величину.

Однако при практическом выполнении указанные предосторожности можно не соблюдать, так как ошибка получается сравнительно небольшой, оставаясь весьма малой относительно отклонения dl' проекции образующей от среднего ее значения $l'' = \frac{B}{l_0}$.

Следовательно, формула (XI, 5) позволяет с достаточной точностью вычислить площадь топографической поверхности, заключенной между двумя изогипсами, в пределах которых поверхность можно считать линейчатой.

Способ носит имя автора, иногда его называют способом изогипс.

§ 50. Определение объемов

Формы залежей полезного ископаемого весьма разнообразны. По характеру поверхностей, ограничивающих их, они разделяются на две группы с плоскими и кривыми поверхностями.

Объемы тел правильной формы определяются по формулам геометрии.

В практике подсчета запасов очень часто с целью облегчения подсчетов тела сложной, неправильной формы заменяют более простыми равновеликими телами.

С этой целью тела, ограниченные плоскими поверхностями (многогранники), разбиваются на ряд элементарных (куб,

призма, пирамида и т. д.), объемы которых определяются по общизвестным формулам.

Тела, ограниченные сложными поверхностями, изображают в виде изомощностей, т. е. их приводят к равновеликим телам, ограниченным сверху топографической поверхностью, а снизу — плоскостью проекций.

Тела с плоскими поверхностями — многогранники

Очень часто рудные тела или их части (блоки, горизонты и т. д.) практически можно принимать за многогранники. Объем их во многих случаях удобно выражать как объем призматоида.

Призматоидом называется многогранник с параллельными основаниями и произвольным числом плоских боковых граней. Его объем вычисляется по известной формуле

$$V = \frac{H}{6} (m + M + 4P), \quad (\text{XI, 7})$$

где m — площадь одного основания;

M — площадь второго основания;

P — площадь среднего сечения;

H — высота призматоида.

Тела, ограниченные поверхностями топографического порядка

Существует много способов определения объемов тел, ограниченных сложными поверхностями. Наиболее распространенные способы можно разделить на три группы:

1) основанные на использовании горизонтальных разрезов;

2) основанные на использовании вертикальных разрезов;

3) объемной палетки Соболевского.

К первой группе относятся способы: определение объема по формуле трапеции, формула Баумана и Симпсона.

Определение V по формуле трапеции. Тела с изменчивой мощностью, изображенные в виде изомощностей, расчленяются системой горизонтальных сечений на отдельные слои или блоки, объемы которых вычисляются самостоятельно по формуле

$$v = \left(\frac{S_0 + S_1}{2} \right) h, \quad (\text{XI, 8})$$

где S_0, S_1 — площади нижнего и верхнего оснований слоя, измеряются одним из способов, рассмотренных выше;

h — сечение изомощностей.

Весь объем тела выразится суммой объемов отдельных слоев:

$$V = \Sigma v = h \left(\frac{S_0}{2} + S_1 + S_2 + \dots + \frac{S_n}{2} \right). \quad (\text{XI}, 9)$$

Определение V по формуле Баумана. Формула (XI, 9) дает приближенное выражение объема, вычисленного по

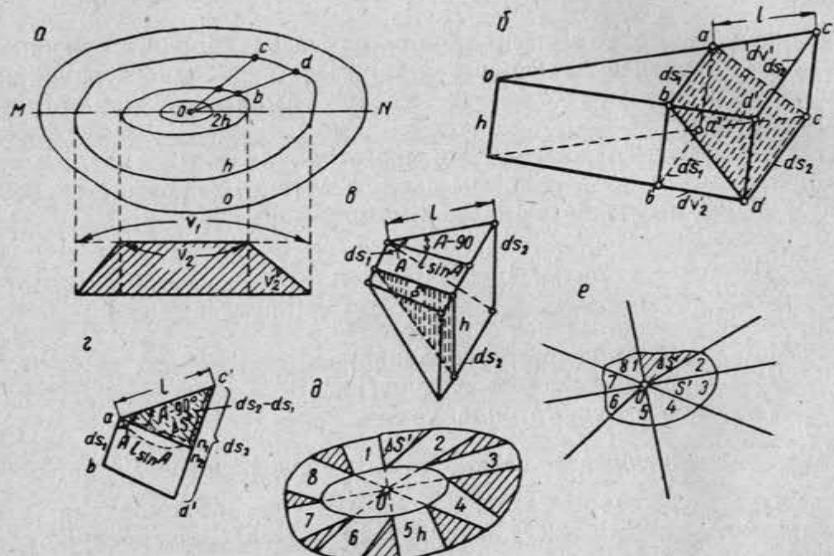


Рис. 207. К определению объема по формуле Баумана

объемам слоев. В. И. Бауман дал более строгую формулу для объема, вычисляемого по горизонтальным слоям.

Пусть залежь изображена на плане в изомощностях с сечением, равным h (рис. 207). Общий объем залежи равен сумме объемов отдельных слоев, заключенных между каждой парой соседних изомощностей. Следовательно, решение задачи в основном сводится к определению объема слоя.

Возьмем слой с высотой h .

Построим вертикальный разрез этого слоя по линии MN . Судя по разрезу, заштрихованному на рис. 207, а, объем слоя можно представить себе как объем v_1 цилиндра, построенного на горизонтали h , без объема v'_1 кольца, объемлющего поверхность слоя. Тот же объем можно представить как сумму объемов: объема v_2 цилиндра по горизонтали $2h$ и объема v'_2 кольца, объемлемого поверхностью данного слоя.

Обозначим объем данного слоя через v . Согласно предыдущему можем написать:

$$v = v_1 - v'_1;$$

$$v = v_2 + v'_2.$$

Напишем v как среднее арифметическое из обоих выражений:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{v'_1 - v'_2}{2}. \quad (\text{a})$$

Второй член правой части обозначим через k . Следовательно,

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} - k. \quad (\text{б})$$

Если $v'_1 = v'_2$, то $k=0$, и тогда объем данного слоя можно брать как объем цилиндра с высотой h , построенного на средней горизонтали между заданными, или как полусумму двух цилиндров с высотой h , построенных на данных горизонталях h и $2h$.

Если $v'_1 \neq v'_2$, то k будет поправкой, которую необходимо со знаком минус придавать к первому члену правой части выражения (а).

Для определения k выделим на рис. 207, а элемент слоя ocd и изобразим его в более крупном виде на рис. 207, б. Здесь dv'_1 — элемент кольца, объемлющего поверхность слоя, а dv'_2 — элемент кольца, объемлемого поверхностью слоя.

Из рис. 207, б видно, что $dv'_1 > dv'_2$, так как при общей высоте элементарных тел ребра ds_2 больше ds_1 . Найдем значения dv'_1 , dv'_2 и определим их разность. Возьмем верхний элемент dv'_1 и изобразим его отдельно на рис. 207, в. Объем его равен произведению нормального сечения s на среднюю высоту (как объем призмы).

Площадь s нормального сечения элемента dv'_1 равна половине произведения основания треугольника на его высоту, т. е.

$$s = \frac{hl \sin A}{2}.$$

Средняя высота элемента равна

$$\frac{ds_1 + 2ds_2}{3}$$

и объем

$$dv'_1 = \frac{1}{3} \frac{hl \sin A}{2} (ds_1 + 2ds_2). \quad (\text{в})$$

Для элемента dv'_2 площадь нормального сечения, очевидно, будет та же самая, что и для элемента dv'_1 ; иной будет средняя высота элемента dv'_2 , равная

$$\frac{2ds_1 + ds_2}{3}.$$

Таким образом, объем dv'_2 напишется в виде

$$dv'_2 = \frac{1}{3} \frac{hl \sin A}{2} (2ds_1 + ds_2). \quad (\text{г})$$

Разность выражений (в) и (г) будет равна

$$dv'_1 - dv'_2 = \frac{1}{3} \frac{hl \sin A}{2} (ds_2 - ds_1). \quad (\text{д})$$

Следовательно, полуразность $\frac{dv'_1 - dv'_2}{2}$ для выделенного элемента, обозначенная k^1 , выражается следующим образом:

$$k^1 = \frac{1}{6} h \frac{l \sin A (ds_2 - ds_1)}{2}. \quad (\text{е})$$

Рассмотрим множитель

$$\frac{l \sin A (ds_2 - ds_1)}{2}$$

выражения (е).

С этой целью на рис. 207, г изобразим отдельно верхнюю грань abd^1c^1 элемента dv'_1 .

Проведем из точки a отрезок an_2 , параллельный bd^1 , в результате чего получим треугольник an_2c^1 , в котором отрезок $an_1 = l \sin A$ служит высотой, а отрезок $n_2c^1 = ds_2 - ds_1$ основанием. Поэтому его площадь Δs^1 напишется в виде

$$\Delta s^1 = \frac{l \sin A (ds_2 - ds_1)}{2}. \quad (\text{ж})$$

Следовательно, для выделенного элемента ocd слоя (рис. 207, е) поправка k^1 равна

$$k' = \frac{1}{6} h \Delta s^1. \quad (\text{з})$$

Перенося соотношение (з) на весь слой, будем иметь поправку к объему всего слоя. Она напишется как сумма поправок элементов, а именно,

$$k = \frac{1}{6} h \sum \Delta s^1 = \frac{1}{6} h S'. \quad (\text{XI}, 10)$$

Подставляя k в равенство (а) и заменяя v_1 и v_2 равными им соответственно произведениями площадей данных горизонталей на высоту слоя, получим формулу для объема слоя залежи, заключенного между горизонталями h и $2h$:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{1}{6} h S' = \frac{h}{2} \left[(S_1 + S_2) - \frac{1}{3} S' \right], \quad (\text{XI}, 11)$$

где h — высота слоя;

S_1, S_2 — площади в контуре данных горизонталей;
 S' — поправочная площадь.

На рис. 207, г показано нахождение элементарных поправочных площадей Δs^1 , сумма которых дает общую поправочную площадь S' для слоя залежи.

Для определения S' нет надобности строить Δs^1 и затем суммировать их, а достаточно на плане (рис. 207, д) провести из произвольной точки o лучи $o-1, o-2$ и т. д., являющиеся проекциями образующих слоя в характерных местах его боковой поверхности. При этом последняя принимается нами как линейчатая поверхность.

Поправочная площадь S' строится отдельно около произвольно взятой точки o (рис. 207, е) путем параллельного переноса с рис. 207, д лучей $o-1, o-2$ и т. д.

После переноса от точки o (рис. 207, е) вдоль построенных лучей откладываются отрезки, равные соответственно отрезкам лучей (рис. 207, д), заключенным между данными горизонталями. По концам отрезков проводится плавная кривая, площадь в контуре которой равна искомой поправочной площади.

Таким образом вывод формулы Баумана показывает что:

1) объем слоя между двумя горизонталями равен объему цилиндра, построенного на средней горизонтали между данными, минус половина поправочного конуса; высота цилиндра и поправочного конуса общая и равна высоте слоя h (сечению горизонталей);

2) необходимость введения этой поправки в объем слоя вызывается неравенством объемов колец: объемлющего боковой поверхности слоя и объемлемого ею.

Объем всего тела определится суммированием отдельных его слоев (частей).

Практическое определение объема залежи производится в следующем порядке:

- 1) измеряются площади S_1, S_2, \dots, S_n , заключенные внутри соответствующих горизонталей;
- 2) строятся поправочные площади S' для каждого слоя;
- 3) вычисляются объемы слоев;
- 4) суммированием их вычисляется объем всей залежи.

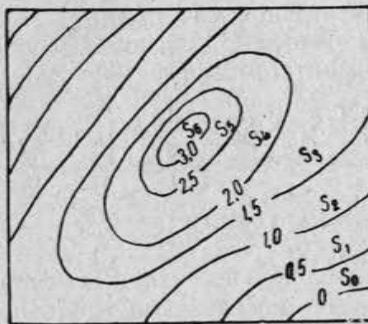


Рис. 208. Определение объема по формуле Симпсона

по формуле трапеции, а общий объем залежи находить по формуле (XI, 9).

Формула Симпсона. Если сложная по форме залежь изображена в изомощностях (рис. 208) или изогипсах, то объем ее удобно определять по известной из математики формуле параболы (Симпсона):

$$V = \frac{h}{3} [(S_0 + S_n) + 4(S_1 + S_3 + \dots) + 2(S_2 + S_4 + \dots)]. \quad (\text{XI}, 12)$$

В случае, представленном рис. 208, объем выражается так:

$$V = \frac{0,5}{3} [(S_0 + S_6) + 4(S_1 + S_3 + S_5) + 2(S_2 + S_4)].$$

Нетрудно видеть, что при использовании формулой (XI, 12) количество слоев должно быть четным. При нечетном количестве слоев объем последнего нечетного слоя определяется отдельно и суммируется с объемом остальной части тела, вычисленным по формуле (XI, 12).

Определение объема способом вертикальных параллельных или вертикальных сходящихся разрезов будет рассмотрено в главе XII.

Способ объемной палетки. Применение этого способа к определению объема предложено П. К. Соболевским.

Сущность способа заключается в следующем: тело при помощи квадратной палетки расчленяется на ряд вертикальных

косоусеченных призм с одинаковым квадратным основанием. Объем каждой призмы определяется как произведение указанного основания призмы на среднюю высоту ее. Последняя, очевидно, будет соответствовать высоте средней точки (центра) призмы. Суммирование объемов призм дает объем всего тела.

На рис. 209 в изомощностях представлено рудное тело. На него при произвольной ориентировке наложена палетка со стороной квадрата, равной 1 см. К каждому центру квадрата палетки тяготеет участок тела — призма с квадратным основанием, равным на плане 1 см², и средней высотой, равной вертикальной мощности тела в центре основания призмы. Так, например, в точке К высота этой призмы (основание ее заштриховано) равна 2,6 м.

Так как основания s всех призм одинаковы и равны между собой, то для вычисления объема V всего тела достаточно просуммировать высоты h призм (вертикальные мощности тела по всем точкам палетки в пределах контура тела) и полученную Σh умножить на постоянную величину s площади основания призмы, т. е.

$$V = s \Sigma h. \quad (\text{XI}, 13)$$

Для суммирования вертикальных мощностей тела при данном положении палетки составляется таблица по форме:

	1	2	3						Σ
1'									Σ'_1
2'									Σ'_2
3'									Σ'_3
Σ	Σ_1	Σ_2	Σ_3						Σ

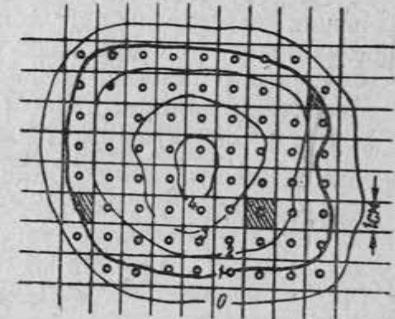


Рис. 209. Определение объема при помощи палетки

Вписывание мощностей в форму лучше всего производить по линиям палетки. Для контроля суммирование их ведется по строкам и столбцам таблицы. Размер таблицы определяется числом точек палетки, заключенных в контуре тела. Объем тела следует определять не менее чем при двух положениях палетки и при допустимых (1—2%) расхождениях результатов подсчета брать среднее из них. Расстояние между точками палетки, в зависимости от изменчивости формы и величины залежи, берется равным 0,5, 1,0 и 2,0 см.

Пусть $\Sigma h = 216,5$ м, расстояние между точками палетки 1 см и масштаб плана $\frac{100}{1000}$; тогда вычисляемый объем тела будет равен

$$V = \frac{216,5 \cdot 1,0 \cdot 1000^2}{100^2} = 21\,650 \text{ м}^3.$$

Сравнение способа объемной палетки с другими способами определения объема дает допустимые расхождения (1—2%). Таким образом, при своей простоте способ дает удовлетворительные результаты. Недостатком его является значительная трудоемкость.

Определение объема способами, основанными на использовании гипсометрического плана залежи, будет рассмотрено в главе XII.

Глава XII

СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

В зависимости от формы и условий залегания месторождений, характера изменения содержания полезных компонентов, от системы разведки и густоты разведочных точек, а также от целей и назначения подсчета запасов применяются различные способы подсчета. Из них наиболее распространены являются: 1) среднего арифметического, 2) геологических блоков, 3) эксплуатационных блоков, 4) вертикальных разрезов, 5) многоугольников, 6) треугольников, 7) изолиний. Кроме того, существуют способы подсчета запасов специально для пластовых месторождений.

Следует отметить, что перечисленные способы не исчерпывают всех возможных приемов подсчета запасов. Поэтому в практике подсчета не исключена возможность применения наряду с перечисленными других способов, особенно при оперативных подсчетах запасов.

Подавляющее большинство залежей полезных ископаемых ограничено сложными поверхностями. Точное их воспроизведение и определение по данным разведки невозможно. Поэтому все способы подсчета запасов, опирающиеся на материалы разведки основаны на принципе трансформации сложных тел в более или менее равновеликие им по объему простые тела, в пределах которых и производится подсчет запасов.

§ 51. Способ среднего арифметического

При подсчете запасов способом среднего арифметического рудные тела, ограниченные сложными поверхностями, приравниваются к залежкам с постоянной мощностью.

Пусть на площади залежи проведено n разведочных выработок, на основании которых построены внутренний и внешний контуры (рис. 210).

Этими контурами площадь залежи разбивается на две части: площадь внутреннего контура S_1 и площадь межконтурной полосы S_2 , по каждой из которых подсчет запаса производится раздельно. Площадь измеряется планиметром. Все по-

казатели (m , R , c) залежи в пределах S_1 и S_2 вычисляются как среднее арифметическое.

Далее подсчитывается в объемной и весовой мере полезное ископаемое и в весовой мере — полезный компонент по формулам:

На площади S_1

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= S_1 m_{1\text{cp}}; \\ Q_1 &= V_1 R_{1\text{cp}}; \\ P_1 &= \frac{Q_1 c_{1\text{cp}}}{100}, \text{ или } P_1 = Q_1 c_{1\text{cp}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XII}, 1)$$

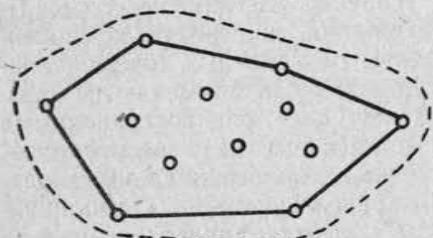


Рис. 210. К подсчету запасов способом среднего арифметического

На площади S_2

$$\left. \begin{aligned} V_2 &= S_2 m_{2\text{cp}}; \\ Q_2 &= V_2 R_{2\text{cp}}; \\ P_2 &= \frac{Q_2 c_{2\text{cp}}}{100}, \text{ или } P_2 = Q_2 c_{2\text{cp}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{XII}, 2)$$

где V_1 , Q_1 , P_1 — объем, вес полезного ископаемого и вес полезного компонента в пределах внутреннего контура S_1 ;

$m_{1\text{cp}}$, $R_{1\text{cp}}$, $c_{1\text{cp}}$ — среднее значение мощности, объемного веса и полезного компонента в пределах внутреннего контура S_1 , определяемое по формуле среднего арифметического

$$m_{1\text{cp}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}, \quad (\text{XII}, 3)$$

где

n — число определений показателя (число разведочных точек);

$R_{1\text{cp}}$ и $c_{1\text{cp}}$ вычисляются из аналогичных выражений; V_2 , Q_2 , P_2 — объем, вес полезного ископаемого и вес полезного компонента в пределах межконтурной полосы S_2 ;

$m_{2\text{cp}}$, $R_{2\text{cp}}$, $c_{2\text{cp}}$ — среднее значение мощности, объемного веса и полезного компонента в пределах межконтурной полосы S_2 , определяемое по формуле среднего арифметического:

$$m_{2\text{cp}} = \frac{m'_1 + m'_2 + \dots + m'_k}{2k}, \quad (\text{XII}, 4)$$

где m'_i — значения мощности залежи в разведочных точках на линии внутреннего контура;

k — число разведочных точек на линии внутреннего контура.

Число $2k$ в знаменателе выражения (XII, 4) обусловлено тем, что каждой точке на внутреннем контуре, имеющей мощность m'_i , соответствует точка на наружном контуре со значением показателя, равным нулю.

$R_{2\text{cp}}$ и $c_{2\text{cp}}$ вычисляются как среднее арифметическое из k измерений. Общий запас по всей залежи получается суммированием запасов, заключенных во внутреннем контуре и межконтурной полосе.

При равномерном распределении разведочных точек по площади залежи способ дает точные результаты, в противном случае конечные результаты подсчета будут искажены.

Основное достоинство способа — простота вычислений и построений, сопровождающих подсчет. Недостатком способа является невозможность разделения подсчитанных запасов на группы и категории по сортам полезного ископаемого, разведенности и другим показателям. Будучи приближенным, этот способ применяется чаще для общих прикидок количества руды и металла.

§ 52. Способ геологических блоков

Способ геологических блоков является разновидностью способа среднего арифметического, при котором залежь полезного ископаемого расчленяется на отдельные блоки и подсчет запасов в пределах каждого из них производится способом среднего арифметического.

Тело полезного ископаемого в данном случае как бы преобразуется в ряд сомкнутых фигур, высота которых равняется средней мощности каждого блока (рис. 211).

Графические построения сводятся при этом к общему оконтуриванию тела полезного ископаемого одним из способов и расчленению на блоки площади в пределах построенного общего контура залежи.

В основу выделения блоков берутся следующие признаки:

- 1) сорта полезного ископаемого;
- 2) степень разведанности для подсчета по различным категориям;
- 3) структурные линии, влияющие на систему разведки и разработки.

Не следует стремиться к выделению небольших блоков, так как чем будет больше в пределах блока разведочных точек, тем точнее будут определены запасы по блоку. Это значит, что подсчет запасов по геологическим блокам следует производить тогда, когда подсчет по каждому блоку опирается на значительное количество выработок.

Достоинствами способа являются его простота и быстрота подсчета, а также возможность выделения группы и категории запасов по тем или иным признакам и условиям.

Способ геологических блоков нашел широкое применение на практике.

Рис. 211. Преобразование тела полезного ископаемого в группу сомкнутых равновеликих фигур при подсчете запасов способом геологических блоков

§ 53. Способ эксплуатационных блоков

Способ эксплуатационных блоков применяется при подсчете запасов руды и металла многих месторождений. Он заключается в подсчете запаса по отдельным блокам, на которые рассекается жила разведочными и подготовительными горными выработками. Общий запас участка или залежи находится как сумма запасов отдельных блоков.

В качестве примера приведем подсчет запаса блока (рис. 212) золоторудной жилы.

В точках 1, 2, 3 ..., 27 взяты пробы. В сторону от плаща блока вынесены сечения жилы по выработкам, ограничивающим блок. При этом отрезки, соединяющие точки мест

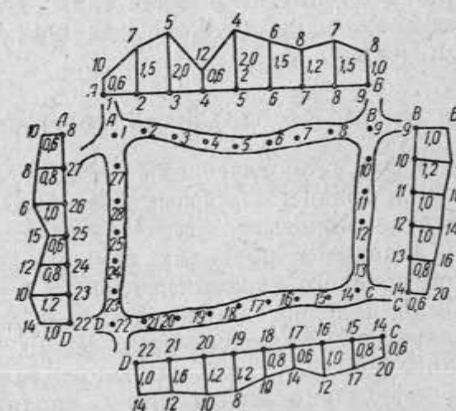


Рис. 212. Подсчет запасов блока золоторудной жилы, оконтуренного горными выработками

взятия проб по каждой выработке, вытянуты в одну прямую линию. Для каждой точки на сечениях выписаны номера точек, мощности жилы в метрах и содержание металла в граммах на одну тонну руды.

Для определения запаса металла, заключенного в блоке, необходимо найти площадь блока, среднюю мощность, средний объемный вес руды и среднее содержание металла.

Сначала вычисляется средняя мощность по каждому сечению блока. Так как расстояния между пробами приблизительно одинаковы, то средние мощности по определенным сечениям найдутся как среднее арифметическое:

$$m_{cp}(AB) = \frac{0,6 + 1,5 + 2,0 + 0,6 + 2,0 + 1,5 + 1,2 + 1,5 + 1,0}{8} = 1,5 \text{ м.}$$

$$m_{cp}(BC) = 1,1 \text{ м}$$

$$m_{cp}(CD) = 0,9 \text{ м}$$

$$m_{cp}(DA) = 1,0 \text{ м.}$$

Зная средние мощности по сечениям, вычислим среднюю мощность блока как среднее взвешенное по длинам выработок:

$$m_{cp} = \frac{1,5 \cdot 28 + 1,1 \cdot 18 + 0,9 \cdot 28 + 1,0 \cdot 18}{28 + 18 + 28 + 18} = 1,1 \text{ м.}$$

Аналогично определяется среднее содержание, т. е. сначала находятся средние содержания по сечениям, а затем среднее содержание по блоку.

Средние содержания по сечениям вычисляются как среднее взвешенное по мощностям жилы:

$$c_{cp}(AB) = \frac{10 \cdot 0,6 + 7 \cdot 1,5 + 5 \cdot 2,0 + 12 \cdot 0,6 + 4 \cdot 2,0 + \dots}{0,6 + 1,5 + 2,0 + 0,6 + 2,0 + 1,5 + 1,5 + 1,0} \rightarrow \\ \rightarrow \frac{+ 6 \cdot 1,5 + 8 \cdot 1,2 + 7 \cdot 1,5 + 8 \cdot 1,0}{0,6 + 1,5 + 2,0 + 0,6 + 2,0 + 1,5 + 1,5 + 1,0} = 6,6 \text{ г/т.}$$

$$c_{cp}(BC) = 12,7 \text{ г/т}$$

$$c_{cp}(CD) = 12,3 \text{ г/т}$$

$$c_{cp}(DA) = 10,6 \text{ г/т.}$$

Среднее содержание по блоку определяется как среднее взвешенное по площадям сечений.

$$\begin{aligned} \text{Площадь сечения } (AB) &= 1,5 \cdot 28 = 42,0 \text{ м}^2 \\ &\quad (BC) = 1,1 \cdot 18 = 19,8 \text{ "} \\ &\quad (CD) = 0,9 \cdot 28 = 25,9 \text{ "} \\ &\quad (DA) = 1,0 \cdot 18 = 18,0 \text{ "} \end{aligned}$$

$$c_{\text{ср}}(ABCD) = \frac{6,6 \cdot 42,0 + 12,7 \cdot 19,8 + 12,3 \cdot 25,9 + 10,6 \cdot 18,0}{42,0 + 19,8 + 25,9 + 18,0} = 9,8 \text{ г/т.}$$

Площадь блока $S = 504 \text{ м}^2$.

Объем блока $V = 504 \cdot 1,1 = 554 \text{ м}^3$.

Вес руды в блоке (при среднем $R = 2,6$) $Q = 554 \cdot 2,6 = 1440 \text{ т}$.

Вес металла в блоке $P = 1440 \cdot 9,8 = 14,1 \text{ кг.}$

Иногда приходится определять запасы блоков, оконтуренных выработками и опробованных с трех или даже с двух сторон. В этом случае А. П. Прокофьев [IV, 11] предлагает вычислять среднюю мощность и среднее содержание металла блока по данным трех или двух сторон.

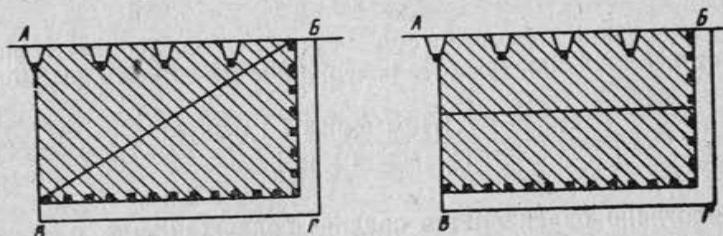


Рис. 213. Схема подсчета запасов по неравноценно опробованным сторонам блока (по А. П. Прокофьеву). Чёрные квадратики — места взятия проб.

В некоторых случаях блоки верхних горизонтов рудных тел опробованы с поверхности редкими пробами в канавах, а по падению и простирианию под землей — частыми пробами в горных выработках (рис. 213). В этих условиях, если по данным опробования восстающих выработок не отмечено закономерных изменений содержания металла или мощности рудного тела на глубину, то блок $ABBG$ левой части рис. 213 разбивается по разведенности на две части по линии BB и по каждой из них запасы подсчитываются самостоятельно. Среднее содержание металла и среднюю мощность рудного тела для блока BBG определяют по данным опробования выработок BG и BF . Среднее содержание тех же показателей для блока ABB

находится как среднее арифметическое между средними данными, полученными для стороны AB по канавам и средними данными по блоку BG .

Если по данным восстающих выработок устанавливается закономерное изменение мощности залежи, содержания полезного компонента в руде или сортов руды, то блок $ABBG$ (правая часть рис. 213) делят на две части по линии, расчленяющей площади различных руд, и запасы этих частей подсчитываются раздельно.

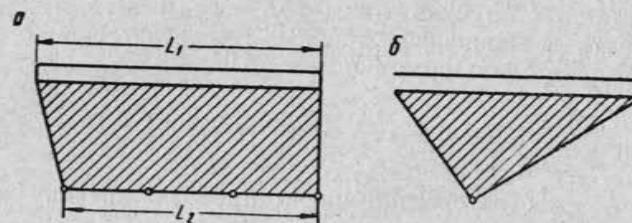


Рис. 214. Схема блоков, опирающихся на штрек и буровые скважины (по А. П. Прокофьеву)

Когда глубокие горизонты рудных тел разведаны буровыми скважинами, то контуры нижних блоков определяются по штреку нижнего горизонта и ряду буровых скважин (рис. 214, а) или по штреку и одной скважине (рис. 214, б). Для вычисления средних содержаний и мощности по блоку при этих условиях А. П. Прокофьев рекомендует пользоваться следующими приемами.

При более или менее равномерном распределении металла в руде среднюю мощность рудного тела можно вычислять по формуле

$$m = \frac{m_1 L_1 + m_2 L_2}{L_1 + L_2},$$

где m_1 — средняя мощность по штреку;

m_2 — средняя мощность по скважинам;

L_1 и L_2 — длина блока соответственно по штреку и по линии скважин.

Среднее содержание с металлом находится из выражения

$$c = \frac{c_1 m_1 L_1 + c_2 m_2 L_2}{m_1 L_1 + m_2 L_2},$$

где c_1 и c_2 — среднее содержание соответственно по штреку и скважинам.

В блоках, опирающихся на одну скважину, влияние ее распространяется на половину расстояния между штреком и скважиной, что соответствует 0,25 площади блока, имеющего форму треугольника. Здесь средняя мощность m и среднее содержание c залежи в блоке могут быть найдены из выражений:

$$m = \frac{3m_1 + m_2}{4}; c = \frac{3c_1 + c_2}{4}.$$

При неравномерном распределении металла в руде достоверность данных по скважинам является низкой и их можно приравнивать к единичным пробам. В соответствии с этим m блока вычисляется по формуле

$$m = \frac{m_1 L_1 n_1 + m_2 L_2 n_2}{L_1 n_1 + L_2 n_2},$$

где n_1 и n_2 — соответственно число проб по штреку и число скважин.

При одной скважине последнее выражение принимает вид:

$$m = \frac{m_1 n_1 + m_2}{n + 1}.$$

Вычисление среднего содержания производится по аналогичным формулам.

Изложенный способ является единственным целесообразным, когда маломощные жильные тела в процессе разведки и подготовки к эксплуатации нарезаны на эксплуатационные блоки.

Следует отметить, что при гнездовом характере оруденения запасы могут подсчитываться способом эксплуатационных блоков с введением коэффициента рудоносности, но при этом нужно иметь в виду понижение надежности результатов подсчета.

При разведке и подготовке к разработке мощных тел полезного ископаемого на горизонтах (рис. 215) среднее содержание по каждому горизонту вычисляется в зависимости от характера распределения содержания и расположения выработок как среднее арифметическое или как среднее взвешенное на площади, тяготеющей к выработкам. Среднее содержание по блоку, заключенному между горизонтами, находится из выражения

$$c = \frac{c_1 S_1 + c_2 S_2}{S_1 + S_2},$$

т. е. как среднее взвешенное.

Достоинством способа является то, что он не требует специальных графических построений (при подсчете используются планы опробования и рабочие маркшейдерские планы) и обес-

печивает выделение участков различных по качеству руд. Кроме того, подсчет производится в пределах первичных горно-эксплуатационных ячеек-блоков, что позволяет без дополнительных пересчетов использовать результаты подсчета при планировании эксплуатационных работ рудника.

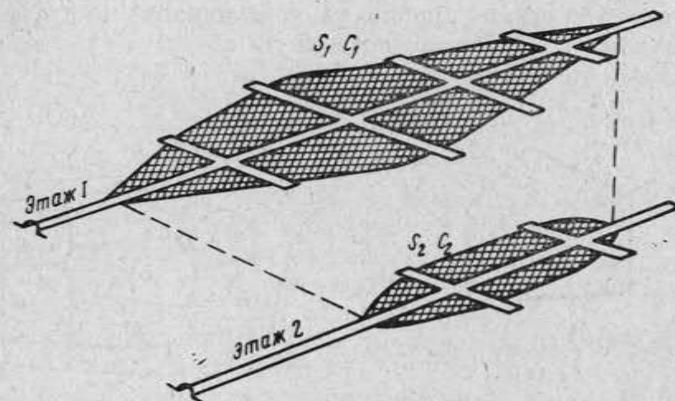


Рис. 215. К подсчету запасов блока мощной рудной залежи, заключенного между горизонтами

Более подробное изложение способа вызвано тем, что способ эксплуатационных блоков очень широко используется маркшейдерской и геологической службами шахт и рудников при подсчетах, связанных с учетом движения запасов и планированием добычи на действующих горных предприятиях.

§ 54. Способ многоугольников (ближайшего района)

Способ предложен А. К. Болдыревым для подсчета запасов россыпных месторождений, но широко используется при подсчете запасов других видов минерального сырья. Сущность его заключается в следующем. Разведываемая площадь разбивается на отдельные участки по числу разведочных единиц так, чтобы к каждой выработке отошла ближайшая к ней часть залежи. Таким образом, к каждой разведочной выработке тяготеет определенный участок (район) залежи, характеризуемой показаниями этой выработки.

Принимается, что на всей ближайшей площади, тяготеющей к данной выработке, мощность, удельный вес и содержание остаются неизменными и равными показателям, полученным в этой выработке.

Построение ближайших площадей производится следующим образом.

Данную разведочную выработку (рис. 216) прямыми линиями соединяют с ближайшими к ней выработками. Из середины полученных отрезков восстанавливают перпендикуляры, которые, пересекаясь между собой, образуют около данной выработки многоугольник. Любая точка площади многоугольника ближе к данной выработке, чем к другим.

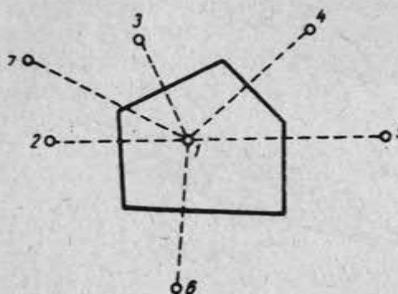


Рис. 216. Построение площади блока, тяготеющего к выработке

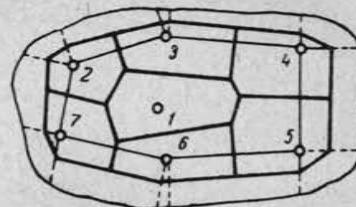


Рис. 217. Построение многоугольников в пределах разведенного контура

Указанным способом вся площадь на плане разбивается на многоугольники (рис. 217), а залежь — на многогранники, запасы которых и подсчитываются. Основаниями и высотами многогранных призм служат ближайшие площади около выработок в форме многоугольников и вертикальные мощности в этих выработках.

Введем обозначения:

- s_i — площадь ближайшего района выработки i ;
- m_i — мощность по выработке i ;
- v_i — объем призмы i ;
- R_i — объемный вес по выработке i ;
- c_i — содержание металла по выработке в весовой мере или в процентах;
- Q_i и P_i — запас полезного ископаемого и металла в объеме призмы i ;
- R — средний объемный вес для всей залежи;
- V, Q, P — общий объем, запас руды и металла по всей залежи.

Подсчет запаса по каждой призме производится в следующем порядке:

1. Измеряется площадь s_i , одним из указанных выше способов.

2. Определяется объем призмы по формуле

$$v_i = s_i m_i. \quad (\text{XII}, 5)$$

3. Находится запас полезного ископаемого в объеме призмы из выражения

$$Q_i = v_i R_i, \text{ или } Q_i = v_i R. \quad (\text{XII}, 6)$$

4. Вычисляется запас металла в объеме призмы по формулам:

$$P_i = Q_i c_i, \text{ или } P_i = \frac{Q_i c_i}{100}. \quad (\text{XII}, 7)$$

Вычисления по отдельным призмам пояснений не требует. Общий запас полезного ископаемого или полезного компонента по всей залежи получается суммированием запасов призм во внутреннем контуре и в межконтурной полосе.

Во внутреннем контуре запас по призмам подсчитывается до указанной контурной линии.

На рис. 217 кроме внутреннего построен и внешний контур, представляющий линию выклинивания залежи или линию минимальной промышленной мощности.

Для подсчета запасов в межконтурной полосе способом ближайшей площади делают следующие построения. В точках расположения граничных разведочных выработок проводят перпендикуляры к сторонам внутреннего контура в случае, если эти стороны образуют углы более 180° , и биссектрисы в случае вогнутого внутреннего контура.

Эти перпендикуляры и биссектрисы проводят пунктиром до пересечения с линией наружного контура.

Для подсчета запасов межконтурной полосы по способу ближайшего района строится средняя линия межконтурной полосы, проходящая через середины построенных перпендикуляров и биссектрис.

Последней межконтурная полоса делится на две части. Часть, прилегающая к внутреннему контуру, разбивается перпендикулярами, проведенными к серединам сторон внутреннего контура, на многоугольники, тяготеющие к соответствующим граничным рудным выработкам. Запасы по каждому такому многоугольнику находятся исходя из площади многоугольника и показателей разведочной выработки.

Суммируя их, получают общую цифру запаса указанной части межконтурной полосы. В случае подсчета в пределах нулевого контура эти запасы будут запасами всей межконтурной полосы. Основанием для этого является предположение, что залежь выклинивается постепенно по направлению от вну-

треннего контура к наружному. Как следует из рис. 218, а, часть a_1 межконтурной полосы, запасы которой условно приравниваются нулю, компенсируется дополнительными частями a и b контура ADEC вследствие распространения мощности залежи от внутреннего контура до средней линии межконтурной полосы.

В случае, если наружный контур представлен минимальной промышленной мощностью, запасы части межконтурной полосы, прилегающей к наружному контуру, подсчитываются сразу для всей ее площади по минимальной промышленной мощности. Основанием для этого служит то, что части залежи

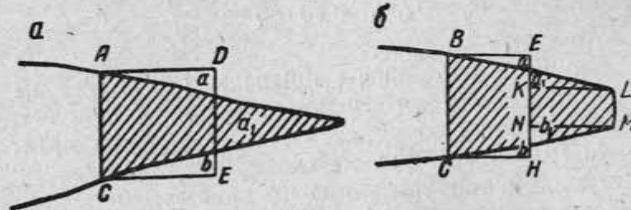


Рис. 218. К определению мощности залежи в межконтурной полосе

(рис. 218, б) a_1 и b_1 , выпадающие из подсчета при определении фигуры $KLMN$, компенсируются соответственно равновеликими им частями a и b , включаемыми в подсчет при определении запасов в контуре $BEHC$.

Способ ближайшего района находит широкое применение при подсчете запасов россыпных месторождений, разведенных шурфовкой или бурением.

Указанные месторождения, как известно, разведываются выработками, располагаемыми по линиям, перпендикулярным тальвегу долины. Последний обычно представляется кривой или ломаной линией. Поэтому разведочные линии расположены под углом друг к другу.

При подсчете запасов россыпей применяют разные способы выделения ближайших районов. Наиболее простым является следующий.

Между разведочными линиями (рис. 219, а) проводят биссектрисы углов или линии, соединяющие середины отрезков бортовой линии, заключенных между каждой парой соседних разведочных линий. Из середин интервалов между разведочными выработками в пределах промышленного контура проводят перпендикуляры до пересечения их с указанными выше биссектрисами. В результате получают районы влияния рудных выработок. В краевых частях они не удовлетворяют строго геометрическому принципу, положенному в основу способа ближайшего района.

близкого района. Но практически получаемые результаты близки к подсчетам при строгом соблюдении основ способа. Наружный контур здесь берется по минимальным значениям промышленных показателей. Около него обычно проводят средние линии ab , cd и др., делящие пополам расстояния между разведочными выработками и точками наружного контура. При этом запасы многоугольников, образованных средними линиями и бортовой линией, подсчитывают по показателям последней.

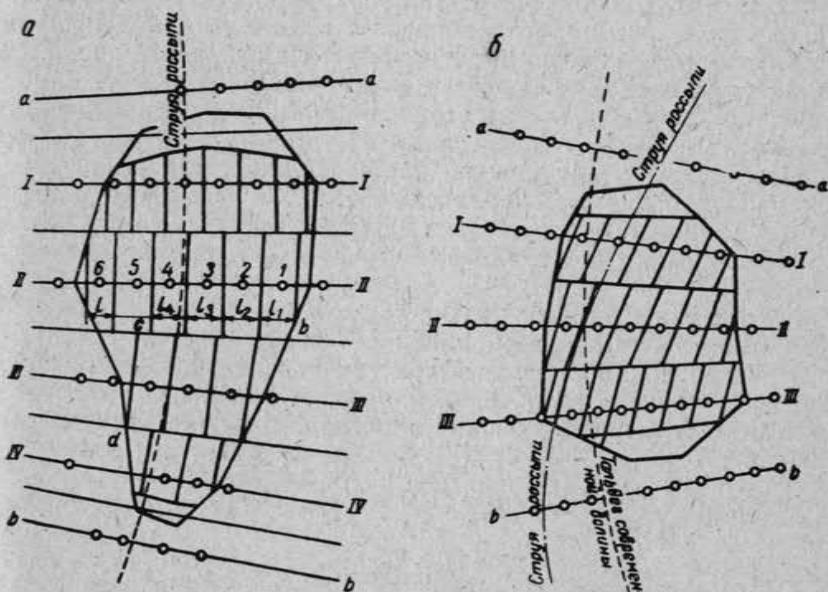


Рис. 219. Построение ближайших площадей на разведенной россыпи

При подсчете запасов, как и во многих других задачах, решаемых методами геометрии, должны строго учитываться решающие естественно-геологические условия. Для россыпей к числу таких условий относится геоморфология и связанное с ней распределение металла в разных участках залежи.

Если тальвег современной долины совпадает или параллелен тальвегу древней долины (рис. 219, а), совпадающему с направлением струи россыпи, то сделанное выше выделение районов влияния выработок будет соответствовать геоморфологии россыпи.

Часто указанного совпадения струи россыпи с осью современной долины не наблюдается (рис. 219, б). В этом случае строгое проведение геометрической основы способа может ухуд-

шить результат подсчета вследствие резкого несоответствия принципа выделения «ближайших районов» действительному распределению металла в россыпи.

В подобных случаях рекомендуется пользоваться так называемым геоморфологическим способом построения районов влияния выработок (ближайших районов), заключающимся в следующем.

После построения наружного контура россыпи по минимальным промышленным показателям по каждой разведочной линии внутри указанного контура находится точка местоположения струи россыпи, совпадающая с максимумом содержания. Совокупность этих точек дает направление струи. На рис. 219, б оно не совпадает с осью современной долины.

Определив направление струи, построение районов влияния выработок выполняют следующим образом.

Посередине между каждой парой соседних рудных выработок проводят прямые, параллельные струе россыпи в данном месте, до пересечения с построенными ранее биссектрисами или линиями, соединяющими середины бортов данного блока.

Общий запас залежи получается суммированием запасов по всем выделенным районам влияния.

При необходимости характеристики средних значений показателей по всей залежи, запасы которой подсчитаны способом ближайшего района, указанные показатели находятся из выражений:

$$m_{cp} = \frac{V}{S}; \quad R_{cp} = \frac{Q}{V}; \quad c_{cp} = \frac{P}{Q} 100\%.$$

Способ ближайшего района находит широкое применение при подсчете запасов горизонтальных или пологопадающих залежей, линз, а также массивных залежей порфировых руд, разведенных с поверхности шурфами и бурением. Он обладает рядом достоинств:

1. Допускает разбивку площади только одним способом, поэтому подсчитанные запасы имеют только одно значение.
2. Запасы отдельных, ближайших к выработкам площадей характеризуются показателями этих выработок; следовательно, при выделении промышленных запасов по различным признакам подсчет их производится легко, путем суммирования запасов соответствующих призм.

3. Способ применим при неравномерном распределении выработок и значительных колебаниях мощностей, объемных весов и содержаний.

Недостатком способа следует считать некоторую громоздкость построения ближайших площадей.

§ 55. Способ треугольников

При этом способе залежь разбивается на косоусеченные треугольные призмы. Верхнее и нижнее основание призм представляют собой треугольники, в вершинах которых располагаются разведочные выработки. Боковыми ребрами призмы служат вертикальные мощности по разведочным выработкам. Предполагается, что мощность, объемный вес и содержание изменяются постепенно от одной выработки треугольника до другой. Подсчет запаса ведется для каждой призмы отдельно, а для получения общего запаса запасы призм суммируются.

Практически для подсчета площадь внутреннего контура залежи на плане разбивают на сеть треугольников (рис. 220) путем соединения прямыми линиями соответствующих разведочных выработок, стремясь при этом, чтобы треугольники по форме приближались к равносторонним.

Если контур залежи проходит вне выработок по точкам с нулевой или минимальной промышленной мощностью, то межконтурная полоса разбивается на треугольники путем построения на сторонах внутреннего контура равнобедренных треугольников с вершинами их на наружном контуре (см. рис. 220).

Объем косоусеченной треугольной призмы равен площади основания, умноженной на одну треть суммы ее высот.

Объем и запасы в призмах межконтурной полосы подсчитываются по тому же правилу с учетом мощности на наружном контуре.

Обозначим:

- S_i — площадь треугольника;
- m'_i, m''_i, m_i — мощности по выработкам, определяющим призму i ;
- v_i — объем призмы, определяемой треугольником;
- R'_i, R''_i, R_i — объемные веса по выработкам, определяющим призму i ;
- R — средний объемный вес полезного ископаемого для всей залежи;
- Q — общий запас;
- Q_i — запас полезного ископаемого в призме, определяемый треугольником;

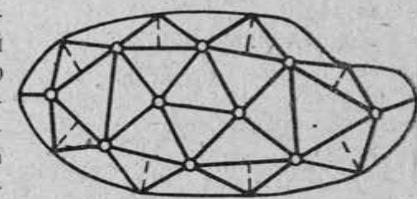


Рис. 220. К подсчету запасов способом треугольников

c_i' , c_i'' , c_i''' — содержание металла по выработкам, оконтуривающим призму i (в весовой мере или в процентах);

P — общий запас металла;

P_i — запас металла в призме, определяемой треугольником.

Подсчет запаса в пределах призмы производится в следующем порядке:

1. Определяют площадь треугольника по формуле

$$s_i = \frac{a_i h_i}{2}, \quad (\text{XII}, 8)$$

где a — основание треугольника (измеряется по плану);

h — высота треугольника (измеряется по плану).

2. Вычисляют объем призмы по формуле

$$v_i = \frac{1}{3} s_i (m_i' + m_i'' + m_i'''), \quad (\text{XII}, 9)$$

3. Находят запас руды в призме из выражения

$$Q_i = v_i R, \quad (\text{XII}, 10)$$

если объемный вес принять общим для всей залежи, или

$$Q_i = \frac{1}{3} v_i (R_i' + R_i'' + R_i'''), \quad (\text{XII}, 11)$$

если объемный вес дан по каждой выработке.

4. Вычисляют запас металла в призме из выражения

$$P_i = \frac{1}{3} Q_i (c_i' + c_i'' + c_i'''). \quad (\text{XII}, 12)$$

Общий запас руды Q и металла P в залежи получается суммированием запасов отдельных призм.

Так как очень часто необходим общий запас залежи (или части ее), а не по отдельным призмам, то во избежание лишней вычислительной работы по отдельным призмам получают уточненные запасы, и только после суммирования их всю сумму делят на 3.

Схема вычислений пояснений не требует.

Для уточнения результатов подсчета иногда средние значения показателей для призмы (мощности, содержания полезного компонента) получают как среднее взвешенное.

Достоинства способа заключаются в простоте построений, возможности выделять промышленные сорта руды по отдель-

ным участкам и в высокой точности результатов при значительной изменчивости показателей. Кроме того, он удобен, когда подсчет производится по совокупности данных разведки и горных работ.

К числу недостатков его относятся неоднозначность подсчета при разной разбивке площади залежи на треугольники и большая трудоемкость сравнительно с другими способами.

§ 56. Способ вертикальных (параллельных и сходящихся) разрезов

В зависимости от того, как расположены разведочные линии, параллельно или под углом друг к другу, применяют два способа подсчетов запасов: способ вертикальных параллельных разрезов и способ вертикальных сходящихся (непараллельных) разрезов.

Способ вертикальных параллельных разрезов

При данном способе подсчет осуществляется последовательным суммированием запасов от участков, расположенных между соседними выработками на разведочной линии, до получения запаса, расположенного на площади, заключенной между соседними разведочными линиями, или на площади, тяготеющей к данной разведочной линии. Подсчет выполняется в следующем порядке:

1. Определяют запасы участков, расположенных между двумя выработками на разведочной линии при толщине этих участков в 1 м;

2. Суммированием запасов участков, указанных в п. 1, находят запасы в ленте толщиной 1 м, прилегающей к плоскости разреза по разведочной линии.

3. Распространяя запасы в лентах на площади блоков, заключенных между разрезами, или блоков, прилегающих к разрезам, вычисляют запасы блоков.

4. Суммированием запасов блоков получают общие запасы по залежи.

На рис. 221 изображен участок, расположенный между двумя соседними выработками по разведочной линии. Расстояние между выработками по линии равно r . Мощность залежи в выработках — m_1 и m_2 . Толщина выделенного участка 1 м. Его объем найдется из выражения

$$v_1 = \left(\frac{m_1 + m_2}{2} \right) r. \quad (\text{XII}, 13)$$

Произведение v_1 на объемный вес дает вес руды в рассматриваемом участке, а умножением последнего на среднее содержание металла вычисляется вес металла.

Запасы руды и металла в ленте толщиной 1 м по всей разведочной линии получают суммированием запасов указанных выше участков.

На основании данных о запасах по разведочным линиям определяют запасы блоков, заключенных между линиями или расположенных на площадях, тяготеющих к линиям (рис. 222).

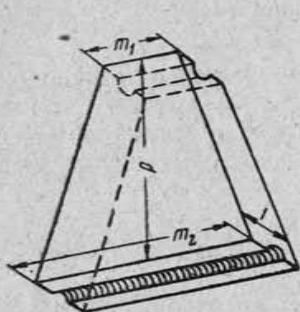


Рис. 221. Участок залежи в форме трапецидальной ленты, заключенный между двумя соседними скважинами разведочной линии I и имеющий толщину 1 м.

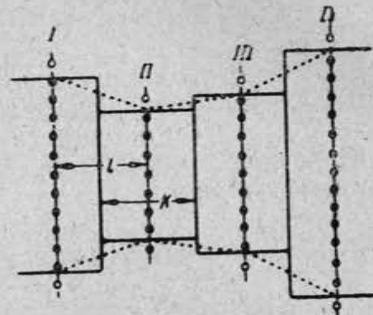


Рис. 222. Два варианта подсчета запасов способом разрезов (по В. И. Смирнову):
а — на площади, прилегающей к разведочным линиям (сплошная линия), б — на площади, заключенной между линиями (пунктирная линия)

В первом случае, как это следует из рис. 223, запас руды между двумя линиями вычисляется по формуле

$$Q_{6,l} = \left(\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \right) l, \quad (\text{XII}, 14)$$

где Q_i и Q_{i+1} — запас в лентах толщиной 1 м по I и II разведочным линиям;

l — расстояние между линиями.

Формула (XII, 14) справедлива, когда Q_i и Q_{i+1} мало отличаются друг от друга, в противном случае запас руды в блоке вычисляется по формуле «усеченного конуса».

Во втором случае (рис. 224) запас блока, прилегающего к разведочной линии, определится из выражения

$$Q_{6,l} = Q_i k, \quad (\text{XII}, 15)$$

где Q_i — запас в ленте толщиной 1 м по разведочной линии;
 k — ширина влияния разведочной линии, равная полу-
сумме расстояний до соседних линий.

Запасы металла в блоках вычисляются по аналогичным формулам.

Практически подсчет запаса в блоках производится проще. Определив одним из известных способов площади сечений залежи по разведочным линиям (разрезам), вычисляют объем каждого блока как произведение полусуммы площадей двух соседних сечений на расстояние l между ними или как произведение площади на величину k его влияния. При этом, если на разрезах выделяются площади сортов руды или разных категорий запасов, объемы их подсчитываются отдельно. Для крайних блоков, опирающихся на одно сечение, объем определяется по формуле клина:

$$V = \frac{sl}{2},$$

или конуса

$$V = \frac{sl}{3},$$

где s — площадь крайнего сечения;

l — расстояние от s до точки выклинивания.

Вес руды и металла вычисляется аналогично вычислению объема.

Способ вертикальных непараллельных (сходящихся) разрезов

На рис. 225, а показан контур некоторой залежи, разведенной принятой системой выработок, а на рис. 225, б — две сходящиеся под углом вертикальные плоскости A , B , в которых лежат соответствующие разведочные линии, S_1 , S_2 — площади сечений залежи в плоскостях A , B .

Неизбежно приходится допускать, что изменение величины между двумя соседними разведочными линиями происходит непрерывно и равномерно.

При этом условии значение S некоторой промежуточной плоскости K (рис. 225, в) между двумя данными плоскостями A , B будет зависеть от величины угла Θ , образованного пло-

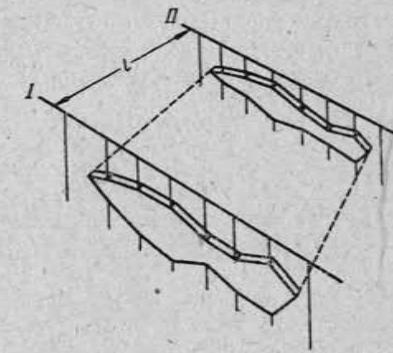


Рис. 223. Подсчет запасов способом вертикальных параллельных разрезов на площади между двумя разведочными линиями (по В. И. Смирнову)

скостями A, K , т. е. величина S для сечения K выразится формулой

$$S = S_1 + \frac{S_2 - S_1}{\beta} \Theta. \quad (a)$$

Исходя из выражения (а), изменение величины S в геометрическом отношении можно связывать с вращением плоскости K около линии OO' между данными плоскостями A, B .

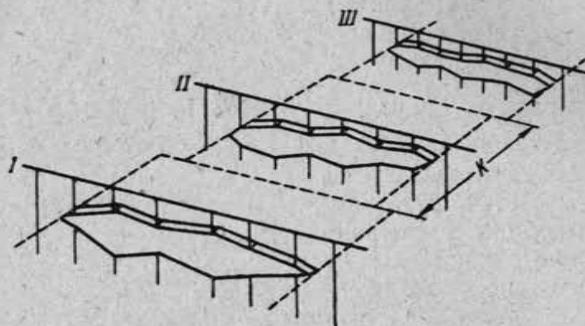


Рис. 224. Подсчет запасов способом вертикальных параллельных разрезов на площади, прилегающей к разведочным линиям (по В. И. Смирнову)

Прежде чем решить вопрос об определении объема всего блока, рассмотрим сначала определение объема бесконечно малой части блока.

Как известно, объем тела, образованного поворотом плоской фигуры S на бесконечно малый угол $d\Theta$, равен произведению площади S на дугу, описываемую центром тяжести фигуры, т. е.

$$dV = Spd\Theta, \quad (б)$$

где ρ — расстояние центра тяжести фигуры до оси вращения OO' .

Это расстояние в плоскости A равно ρ_1 , а в плоскости B — ρ_2 .

Его изменение в указанном промежутке предполагаем также непрерывным и равномерным; следовательно,

$$\rho = \rho_1 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\beta} \Theta. \quad (в)$$

Величины S, ρ для бесконечно малого угла $d\Theta$ можно считать неизменными.

Объем V всего блока, образованного вращением площади S между двумя вертикальными сечениями A, B , выразится в общем виде определенным интегралом:

$$V = \int_0^{\beta} Spd\Theta, \quad (г)$$

где Θ изменяется от 0° до β .

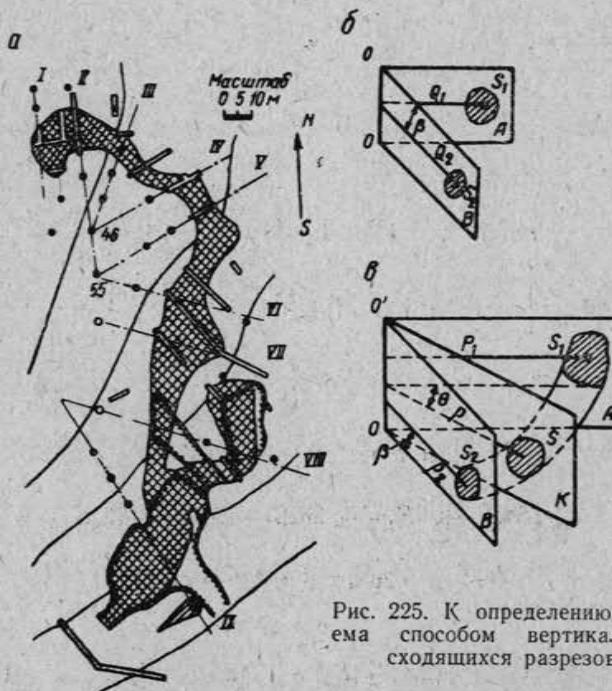


Рис. 225. К определению объема способом вертикальных сходящихся разрезов

На основе приведенных выше общих положений получим формулы для практического определения запаса блока, заключенного двумя соседними сходящимися вертикальными сечениями.

Заменим величины $S_1\rho$ их значениями

$$\left(S_1 + \frac{S_2 - S_1}{\beta} \Theta \right), \quad \left(\rho_1 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\beta} \Theta \right)$$

и для удобства введем обозначения

$$\rho_2 - \rho_1 = a, \quad S_2 - S_1 = b.$$

Тогда будем иметь

$$V = \int_0^{\beta} \left[\left(\rho_1 + \frac{a\theta}{\beta} \right) \left(S_1 + \frac{b\theta}{\beta} \right) \right] d\theta. \quad (\text{д})$$

Сделав необходимые преобразования и вынося $\frac{1}{\beta^2}$ за знак интеграла, получим

$$V = \frac{1}{\beta^2} \int_0^{\beta} [\rho_1 S_1 \beta^2 + (S_1 a + \rho_1 b) \beta \theta + ab \theta^2] d\theta. \quad (\text{е})$$

В результате интегрирования получим

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{\beta^2} \left[\rho_1 S_1 \beta^2 \theta + (S_1 a + \rho_1 b) \beta \frac{\theta^2}{2} + ab \frac{\theta^3}{3} \right]_0^{\beta} = \\ &= \frac{1}{\beta^2} \left[\rho_1 S_1 \beta^3 + (S_1 a + \rho_1 b) \frac{\beta^3}{2} + ab \frac{\beta^3}{3} \right] = \\ &= \frac{\beta}{6} (6\rho_1 S_1 + 3S_1 a + 3\rho_1 b + 2ab). \end{aligned}$$

Подставив вместо a и b их значения, будем иметь

$$\begin{aligned} V &= \frac{\beta}{6} (6\rho_1 S_1 + 3S_1 \rho_2 + 3\rho_1 S_2 - 3S_1 \rho_1 - 3\rho_1 S_1 + \\ &\quad + 2\rho_2 S_2 - 2\rho_1 S_2 - 2\rho_2 S_1 + 2\rho_1 S_1), \end{aligned}$$

или окончательно

$$V = \frac{\beta}{6} [\rho_1 (2S_1 + S_2) + \rho_2 (2S_2 + S_1)]. \quad (\text{XII}, 16)$$

По формуле (XII, 16) определяют практически объем блока между двумя сходящимися вертикальными разрезами.

При вычислении объема блока между сходящимися вертикальными сечениями по формуле (XII, 16) исходными данными являются: площади S_1 и S_2 сечений залежи в плоскости разрезов, радиусы ρ_1 , ρ_2 вращения и угол β между разведочными линиями. Последний берется с плана разведки залежи графически, путем измерения его транспортиром и в формуле выражается в радианной мере.

Для определения ρ требуется нахождение центра тяжести площади S сечения залежи. Если площадь S по формуле приближается к правильным геометрическим фигурам — треугольнику, трапеции, четырехугольнику и др., то центр тяжести определяется по известным из геометрии правилам.

В практике подсчета запасов сечения залежей чаще будут представляться более сложными контурами, чем правильные геометрические фигуры. При этом для определения центра тяжести сечения может быть рекомендован графоаналитический метод, основанный на теореме: «отношение суммы статических моментов элементарных полос сечения относительно некоторой оси к площади сечения равно расстоянию центра тяжести сечения от этой оси».

Пусть на рис. 226 дана площадь S неправильного очертания, представляющая собой сечение тела вертикальной плоскостью. Направление последней в плане примем за ось Ox . Разобьем площадь на квадраты системой линий, параллельных и перпендикулярных оси Ox . Получим произведения числа квадратов той или иной полосы, перпендикулярной оси Ox , на соответствующие расстояния центров полос до некоторой оси KK_1 . Отношение суммы их к площади S сечения определит искомое расстояние x_0 от центра тяжести сечения до оси KK_1 :

$$x_0 = \frac{\Sigma n_x}{S}. \quad (\text{XII}, 17)$$

Зная расстояние c от оси KK_1 до линии пересечения сходящихся вертикальных разрезов (см. рис. 226), можно просто найти радиус вращения ρ в данном сечении:

$$\rho = c + x_0. \quad (\text{XII}, 18)$$

В практике определения центров тяжести сечений часто применяется координатная сетка со стороной квадрата 0,5 см, вычерченная на прозрачной бумаге. Ее использование позволяет находить центр тяжести фигуры на бумаге с достаточной точностью (0,5—1,0 мм).

Угол β между сходящимися разрезами измеряется на плане транспортиром.

Рассмотрим пример определения объема блока залежи между сходящимися вертикальными сечениями S_1 , S_2 по формуле (XII, 16).

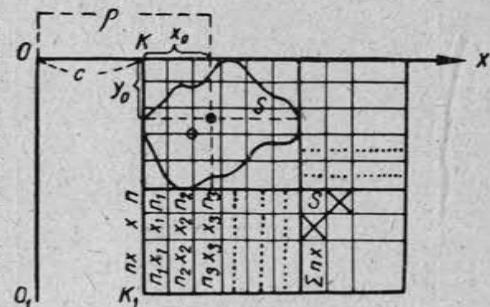


Рис. 226. Определение центра тяжести сечения залежи

Исходные данные:

$$S_1 = 30 \text{ м}^2; S_2 = 105 \text{ м}^2; \rho_1 = 10 \text{ м}; \rho_2 = 16 \text{ м}; \beta = 41^\circ.$$

Вычисление объема V блока удобно вести по определенной формуле (табл. 6).

Таблица 6

1	$\beta_{\text{рад}}$	0,716 6	$2S_2$	210
2	$\frac{\beta_{\text{рад}}}{6}$	0,1193 7	$2S_2 + S_1$	240
3	$2S_1$	60 8	$b = \rho_2(2S_2 + S_1)$	3840
4	$2S_1 + S_2$	165 9	$a + b$	5490
5	$a = \rho_1(2S_1 + S_2)$	1650 10	$V = \frac{\beta_{\text{рад}}}{6}(a + b)$	655

Формулой (XII, 16) следует пользоваться в тех случаях, когда S_1, S_2, ρ_1, ρ_2 по своим значениям существенно отличаются друг от друга. Резкая разница в значениях чаще всего встречается между S_1 и S_2 . Если одно из них больше или меньше другого в два раза, можно применять при определении объема приближенную формулу, а именно,

$$V = \beta \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \right), \quad (\text{XII}, 19)$$

где площадь сечения и радиус вращения берутся как средние арифметические из двух.

Формула (XII, 19) по отношению к формуле (XII, 16) дает абсолютную погрешность в определении объема:

$$\Delta V = \frac{\beta}{12} (S_1 - S_2)(\rho_1 - \rho_2). \quad (\text{XII}, 20)$$

Так, например, в приведенном выше примере определение объема по приближенной формуле дает относительную ошибку по сравнению с объемом, вычисленным по строгой формуле, равную некоторым процентам, т. е. такую, которую уже нельзя допускать в вычислениях. В то же время, если в том же примере S_1 взять равным 80 м, а остальные исходные данные

оставить без изменения, то вычисление V по приближенной формуле дает допустимую величину относительной ошибки.

Определим в общем виде запас руды Q и запас полезного компонента P в блоке между двумя сходящимися вертикальными сечениями.

По аналогии с объемом для бесконечно малых частей блока мы будем иметь следующие выражения, определяющие запасы руды и металла:

$$dQ = RS\rho d\Theta \text{ и } dP = cSpd\Theta,$$

а для всего блока:

$$Q = \int_0^{\beta} RS\rho d\Theta;$$

$$P = \int_0^{\beta} cSpd\Theta.$$

Для подсчета запаса в блоке в весовой мере необходимо знать средние значения объемного веса и содержания металла, получаемые из выражений:

$$R_0 = \frac{Q}{V} = \frac{\int_0^{\beta} RS\rho d\Theta}{\int_0^{\beta} Spd\Theta};$$

$$c_0 = \frac{\int_0^{\beta} cSpd\Theta}{\int_0^{\beta} Spd\Theta}.$$

Заменяя входящие в эти формулы величины R, c, S и ρ , их значениями и производя интегрирование, получим окончательные выражения, определяющие средние значения R_0 и c_0 :

$$R_0 = \frac{R_1 + R_2}{2} + \frac{V_2 - V_1}{12V} (R_2 - R_1); \quad (\text{XII}, 21)$$

$$c_0 = \frac{c_1 + c_2}{2} + \frac{V_2 - V_1}{12V} (c_2 - c_1), \quad (\text{XII}, 22)$$

где $V_1 = \beta S_1 \rho_1$; $V_2 = \beta S_2 \rho_2$, а V — объем блока между соседними сечениями, определяемый формулами (XII, 16). Следовательно, средние значения объемного веса и содержания по блоку равны средним арифметическим из значений соответствующих величин по сечениям плюс некоторая поправка. Она тем меньше, чем меньше разности $(R_2 - R_1)$ и $(c_2 - c_1)$; при равенстве входящих в разности величин указанная поправка равна нулю.

Практически поправка для R_0 не берется вследствие малой разности между R_2 и R_1 . Среднее же значение содержания c_0 по блоку вычисляется по формуле (XII, 22). Пользуясь R_0 , c_0 и V , вычисляется запас в весовой мере по блоку.

Основным достоинством способа вертикальных разрезов является то, что подсчет осуществляется на имеющихся геологических разрезах без построения на подсчетных графиках преобразованных равновеликих геометрических фигур и контуров. Границы рудного тела на разрезах проводятся не только по данным колонок скважин или выработок, но и с учетом общей структуры рудного тела и месторождения, выявляемой при геологическом изучении. Вычислительные операции при этом способе несложны. Способ наилучшим образом отражает особенности геологических структур. Обязательное условие его применения — расположение разведочных точек по линиям.

§ 57. Способ изолиний

Способ изолиний применительно к определению объема рудных тел сложной формы достаточно подробно рассмотрен в предыдущей главе (способ объемной палетки). Там же показано, что подсчет запаса полезного ископаемого в весовой мере может быть сведен к определению объема. При этом, как показал П. К. Соболевский, нет никакой принципиальной разницы между подсчетом запасов полезного ископаемого с постоянным и переменным содержанием, так как рудное тело с переменным содержанием легко приводится к условному телу (слитку металла).

При определении запаса полезного ископаемого способом изолиний в объемной мере дело сводится к определению объема залежи по плану залежи с изолиниями равных мощностей.

Для определения запаса полезного ископаемого в весовой мере необходимо построить условное тело, объем которого выражает запас в весовой мере. Построение условного тела производится при помощи изолиний равных значений линейного запаса полезного ископаемого или полезного компонента (металла).

Линейный запас полезного ископаемого в данной точке получается умножением объемного веса на мощность залежи

в этой точке (выработке) и представляет собой запас, заключенный в призме с высотой, равной мощности рудного тела, и площадью основания, равной единице.

Аналогично линейный запас металла в данной точке получается умножением линейного запаса полезного ископаемого на содержание металла в этой точке.

Условное тело, изображенное на плане в изолиниях линейного запаса полезного ископаемого или металла, представляет собой в геометрическом отношении полную аналогию с залежью, изображенной на плане в изомощностях; поэтому приемы определения объемов залежей, изложенные нами выше, целиком пригодны для определения объемов условных тел, выражающих запас в весовой мере.

При подсчете запасов руд, объемный вес которых изменяется мало, следует сначала строить условный график линейных запасов металла как произведение в каждой точке мощности на содержание полезного компонента (метропроценты, метрограммы) с тем, чтобы, определив известными способами объем этого условного тела и умножив его на средний объемный вес, получить в весовой мере запас полезного компонента.

Основным достоинством метода изолиний является то, что графики, используемые при подсчете запасов, в наглядной форме дают представление о распределении полезного компонента в рудном теле и размещении запасов металла в пределах общих контуров залежи, а сам подсчет производится просто и не требует применения специальных приборов.

§ 58. Способы подсчета запасов пластовых месторождений

При подсчете запасов пластовых, главным образом угольных, месторождений дело сводится к установлению количества полезного ископаемого в весовой мере.

Применительно к характеру залегания пластов рассмотрим три случая, а именно:

- падение пласта сохраняет более или менее свою величину по всей площади подсчета;
- падение пласта изменяет свою величину в направлении вкrest простирации и сохраняет ее по простиранию пласта;
- падение пласта изменяется как вкrest простирации, так и по простирации пласта.

В первом случае площадь подсчета запасов представляет собой прямоугольник, в пределах которого устанавливаются наблюдениями: средний угол падения δ_{cp} пласта, средняя нормальная m_{cp} мощность его и объемный вес R полезного иско-

паемого. При этом запас полезного ископаемого в объемной мере найдется из выражения:

$$V = S_n \cdot m_{cp}, \quad (\text{XII}, 23)$$

где S_n — площадь блока в плоскости пласта, в свою очередь определяемая по формуле

$$S_n = \frac{B}{\cos \delta_{cp}}. \quad (\text{XII}, 24)$$

Здесь B — площадь выделенного блока (участка) на плане. В случае изображения крутопадающего пласта в проекции на вертикальную плоскость, площадь пласта S_n находится из выражения

$$S_n = \frac{C}{\sin \delta_{cp}}, \quad (\text{XII}, 25)$$

где C — площадь выделенного блока на вертикальной проекции.

Во втором случае участок подсчета делится по падению на несколько блоков. В каждом блоке падение пласта принимается постоянным и запас в объемной мере по блоку подсчитывается по приведенным выше формулам. Общий запас по участку равен сумме запасов блоков.

В третьем случае, когда падение пласта изменяется вкрест простирания и по простиранию, деление участка на блоки с постоянным углом падения становится затруднительным и неудобным. В этом случае запас полезного ископаемого в объемной мере подсчитывается для всего выделенного контура способом, предложенным В. И. Бауманом, по формуле:

$$V = S \cdot m_{cp}, \quad (\text{XII}, 26)$$

где S — площадь поверхности пласта, определяемая выражением (XI, 5).

Для всех трех указанных случаев запас полезного ископаемого в весовой мере подсчитывается по формуле:

$$Q = V \cdot R, \quad (\text{XII}, 27)$$

где R — объемный вес полезного ископаемого в массиве.

Первый из рассмотренных способов называется способом среднего угла падения, второй — способом участков равного падения и третий — способом Баумана, или способом изогипс.

§ 59. О комбинированных и других способах подсчета запасов

Во многих случаях подсчет запасов полезного ископаемого осуществляется не одним, а комбинацией нескольких способов. Например, при подсчете запасов части или всего месторождения может применяться комбинация двух методов, при которой по одному из методов месторождение (или его часть) расчленяется на подсчетные блоки, а подсчет запасов в пределах этих блоков осуществляется другим методом. Делается это с целью достижения удобства использования результатов подсчета запасов при проектировании разработки и планировании добычи, или обеспечения контроля выполненного подсчета.

Комбинировать между собой можно не все методы. Наиболее часто комбинируется с другими способом разрезов. При этом рудное тело расчленяется разрезами на части, в пределах которых подсчет запасов в блоках, между разрезами или в плоскости сечения, осуществляется другим способом. Так, например, путем комбинации способа разрезов со способом многоугольников подсчитывались запасы Коунрадского медного месторождения. В этом случае система горизонтальных сечений была приурочена к будущим эксплуатационным уступам, а в пределах каждого уступа запасы подсчитывались способом многоугольников. Комбинируя способ разрезов со способом изолиний, построенных в плоскостях разрезов, были подсчитаны запасы некоторых медных и полиметаллических месторождений. Возможна комбинация способа разрезов со способами треугольников и среднего арифметического или комбинация способа эксплуатационных блоков со способом изолиний, что иногда делается при подсчете колчеданных руд Урала.

Комбинации разных способов подсчета для одного и того же месторождения осуществляются в тех случаях, когда отдельные части месторождения имеют разную форму или элементы залегания или же когда разведка осуществлена разной системой разведочных работ. Например, на одном из медно-никелевых месторождений запасы богатых руд в жилах определялись способом эксплуатационных блоков, а запасы обширных площадей убогих вкрапленных руд — способом многоугольников. Часто прибегают к комбинации способов подсчета в связи с различным характером разведенности отдельных частей месторождения. Так, в верхних частях крутопадающих залежей, разведенных горными работами, запасы определяются способом эксплуатационных блоков, а в нижних частях, разведенных колонковым бурением, применяют другие способы подсчета (геологических блоков, вертикальных разрезов, многоугольников, треугольников).

Применение комбинированных способов, если оно вытекает из особенностей месторождения, разведки, требований проектирования и эксплуатации, целесообразно, и возражать против него не следует.

Для получения схематической численной оценки геологических перспектив того или иного месторождения или района иногда прибегают к статистическому способу, сущность которого заключается в том, что на части оцениваемой площади определяют по результатам добычи или детальной разведки выход полезного ископаемого на единицу площади или объема, а затем распространяют на всю остальную площадь, в пределах которой сохраняется аналогичная геологическая обстановка. Запасы, определяемые таким образом, относятся к низким категориям и часто являются грубо приближенными.

Указанным способом можно ориентировочно оценивать запасы отдельных месторождений, полей и районов.

Оценка запасов отдельных месторождений статистическим способом применяется редко. К нему приходится прибегать при подсчете запасов месторождений с ценным сырьем, исключительно неравномерно распределенным в залежи. Примером может служить подсчет запасов горного хрусталя в хрусталистых зонах. Известно, что этим способом подсчитывались запасы некоторых фосфоритовых месторождений и даже запасы железных руд (Омутнинская группа). Для этого производилось определение выхода фосфорита или руды с одного квадратного метра площади и полученный результат распространялся на площади выделенного контура.

Чаще прибегают к статистическому способу при ориентировочной оценке перспектив крупных районов.

§ 60. Выбор способа подсчета

В. И. Смирнов располагает различные факторы, влияющие на выбор способа подсчета запасов, по убывающей степени в следующий ряд: 1) форма тела полезного ископаемого, 2) система разведки месторождения, 3) система существующей или проектируемой разработки месторождения, 4) размеры тела полезного ископаемого, 5) распределение компонентов в теле полезного ископаемого, 6) элементы залегания.

Форма тел полезных ископаемых не имеет заметного значения для способов среднего арифметического, геологических блоков и разрезов. Они применимы при подсчете запасов любой формы. Способ эксплуатационных блоков применим в основном для подсчета запасов плосковытянутых тел жильной или пластовой формы. Способы многоугольников и треугольников непригодны для подсчета запасов залежей, обла-

дающих крутыми и резко изменчивыми ограничивающими поверхностями. Способ изолиний применяют при подсчете запасов в условиях сложных форм. Способ изогипс применим к подсчету запасов пластовых угольных месторождений с выдержанной мощностью пластов.

Система разведки месторождения влияет на выбор способа подсчета запасов не меньше, чем форма залежей. С точки зрения выбора способа подсчета запасов все системы разведок делятся на две группы:

1) разведка горными выработками; при этом тела непрерывно прослеживаются в одном или в нескольких направлениях;

2) разведка шурфами или буровыми скважинами.

При разведке залежей горными выработками, мощность которых меньше ширины забоя, следует применять способ эксплуатационных блоков, а мощных залежей — способ разрезов. При разведке шурфами или скважинами можно применять все способы, кроме способа эксплуатационных блоков.

Очень чувствителен к системе разведки, особенно к расположению выработок, способ разрезов. Он требует расположения выработок вдоль линий и плоскостей.

Система разработки залежи не решает вопроса о способе подсчета запасов, но обязательно должна учитываться при выборе того или иного способа. Выбор желательно останавливать на таком способе или комбинации способов, которые давали бы цифры запасов по горноэксплуатационным единицам (блокам, этажам, уступам, крыльям и т. д.). Иначе для целей планирования горных работ будет требоваться пересчет. Хотя это требование не всегда выполнимо, но к его выполнению следует стремиться. Этому требованию лучше удовлетворяет способ геологических и особенно эксплуатационных блоков. Часто удается выполнять это требование при использовании метода изолиний.

Способ горизонтальных параллельных сечений позволяет получать цифры запасов по отдельным этажам и горизонтам.

Способы многоугольников и треугольников этим целям отвечают только в комбинации с другими способами.

Размеры тел полезных ископаемых при выборе подсчета запасов играют подчиненную роль. Способы среднего арифметического и геологических блоков нечувствительны к размерам залежей. Способы многоугольников, треугольников, разрезов, изолиний и изогипс могут применяться при разных размерах залежей, за исключением очень малых, разведенных единичными выработками. При малых тела неприменим и способ эксплуатационных блоков, так как такие тела на блоки не разрезаются.

Распределение компонентов оказывает влияние на выбор подсчета запасов не прямо, а косвенно, через систему разведки.

Элементы залегания имеют значение для способа изогипс. При горизонтальном и пологом залегании он неприменим.

Данные практики показывают, что при подсчете запасоврудных месторождений очень широко применялся способ разрезов и эксплуатационных блоков. Давольно часто применяют также способы многоугольников и геологических блоков. На угольных месторождениях с наклонным и крутым падением пластов и выдержанной мощностью часто применяют способ изогипс.

§ 61. Об ошибках подсчета запасов

Погрешность подсчета запасов в основном складывается из ошибок технических, аналогии и оконтуривания.

Технические ошибки являются результатом неточного определения численных значений показателей (мощности, объемного веса, содержания компонентов, площади) в различных точках залежи.

Их величины зависят не только от чисто технических факторов, связанных с определением показателей, но и от ряда естественных условий (условий залегания, физико-химических свойств полезного ископаемого и др.).

Если известны характер (знак) и величина ошибок отдельных измерений (определений), нетрудно оценить влияние их на конечные результаты подсчета запасов или средних значений показателей, пользуясь известными формулами погрешности функции от измеренных величин.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими.

Грубые ошибки (промахи), так же как и систематические, должны быть выявлены контрольными определениями и исключены путем введения поправочных коэффициентов или данных контрольных измерений. Поэтому последующее изложение имеет в виду неизбежные случайные ошибки.

Технические ошибки не связаны с изменчивостью залежи, поэтому метод оценки их влияния на конечный результат подсчета остается одним и тем же, независимо от формы разведочной сетки и густоты разведочных точек.

Перечислим основные факторы, обусловившие появление ошибок, и практически наблюдаемые величины их в относительном выражении.

Точность измерения мощности зависит главным образом от вида разведочных работ, характера контакта залежи с вме-

щающими породами, крепости и однородности полезного ископаемого, величины мощности залежи.

Точность измерения мощности в горных выработках выше, чем в буровых скважинах. В обнажениях, доступных для непосредственного измерения мощности, при четком прямолинейном контакте ее можно измерить с относительной ошибкой до 2—3%, тогда как при бурении, даже при хорошем выходе керна, ошибки измерения колеблются в пределах 5—10%, а при неблагоприятных условиях достигают 30% и выше. Колонковое бурение дает в этом отношении лучшие результаты, чем ударное.

При неотчетливом, скрытом контакте залежи с боковыми породами, устанавливаемом опробованием, точность замера мощности даже в горных выработках остается невысокой, зависящей от плотности точек опробования.

Относительная ошибка измерения мощности связана с величиной самой мощности. Так, например, жилы мощностью 0,4 и 1,2 м при точности измерения ее в 1 см в первом случае будет давать относительную ошибку в 2,5%, во втором — 0,81%.

Точность определения объемного веса полезного ископаемого зависит от характера полезного ископаемого, способа определения и числа этих определений. При определении объемного веса способом пробной вырубки относительная ошибка достигает 3—5%. Отдельные определения R способом гидростатического взвешивания дают меньшую ошибку, но при недостаточном числе определений они менее представительны, чем взвешивания проб при пробной вырубке. Основным недостатком при этом является недопустимо редкое определение объемных весов, а часто принятие их по аналогии со сходным месторождениями.

С наибольшими погрешностями определяются содержания компонентов в руде. Они слагаются из ошибок опробования, обработки проб и химического анализа.

Определяющей частью является погрешность химического анализа. Последняя в зависимости от характера полезного ископаемого и величины процентного содержания компонента может колебаться в широких пределах — от 0,25 до 10—25%. Нижний предел характерен для анализов высокопрочных железных руд, верхний — для полиметаллических руд и руд редких элементов.

Ошибки графических определений зависят от точности съемки, построения плана и измерения по плану необходимых величин.

При соблюдении предъявляемых требований к съемке, обработке, масштабу и измерениям на плане ошибка графиче-

ских построений по сравнению с другими ошибками подсчета запасов незначительна и практически может в расчет не приниматься.

При подсчете запасов существующими способами мы имеем дело с умножением величин, входящих в формулы подсчета, и с суммированием запасов отдельных частей залежи. Поэтому общая погрешность подсчета, зависящая от технических ошибок, вычисляется как погрешность произведения и суммы по общепринятым формулам теории ошибок.

Ошибки аналогии при подсчете запасов своим происхождением обязаны тому обстоятельству, что запасы, как правило, вычисляются по ограниченному количеству данных, т. е. ошибки аналогии являются следствием замены действительной формы залежи некоторой условной формой.

Оценка численных значений ошибок аналогии является более трудной задачей по сравнению с оценкой технических ошибок ввиду недостаточной изученности вопроса. Поэтому в девятой главе при анализе скрытой топографической поверхности ошибки аналогии применительно к линейным и объемным показателям были рассмотрены в общем виде. Полученные при этом выводы могут быть перенесены на рассматриваемый вопрос.

Существуют разные подходы к решению данного вопроса. В ряде работ для оценки ошибки подсчета запасов, например определения объема, рекомендуется формула

$$M = \frac{tV}{\sqrt{n}}, \quad (\text{XII}, 28)$$

где t — коэффициент вероятности;

V — коэффициент вариации;

n — число точек определения показателя залежи (мощности).

Она справедлива для случайного характера разведочной выборки.

При неслучайном и промежуточном характере выборки, т. е. при наличии направленных изменений показателей залежи, дисперсия их не имеет прямой связи с ошибкой аналогии и формула (XII, 28) дает искаженный, завышенный результат.

В связи с этим Д. А. Казаковским были сформулированы предложения об использовании вторых разностей, содействовавшие появлению ряда других работ, в которых делается попытка учесть влияние случайных и направленных изменений показателей залежи. В их числе отметим работы К. К. Скиданенко, С. Э. Мининга и Е. И. Попова. В них общая ошибка разделяется на составляющие (интерполирования) — рецензен-

тивности, систематическая — случайная). Но поскольку вторые разности содержат обе составляющие, их разделение практически затруднено. Этого разделения общей ошибки на составляющие не производится, что является оправданным.

В способе Е. И. Попова средняя ошибка аналогии объема по данным квадратной сетки при промежуточном характере разведочной выборки выражается в виде [IV—V, 18]

$$\frac{\Delta V}{V} \% \approx \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta'')^2}{6k}} \cdot \frac{100}{m_{cp}\sqrt{n}}, \quad (\text{XII}, 29)$$

где Δ'' — вторые последовательные разности, вычисляемые по выборочным значениям показателя (мощности);

k — число вторых разностей;

m_{cp} — среднее значение мощности залежи;

n — число определений мощности.

Ошибка определяется неоднозначно и заключена (IX, 34) в пределах

$$\frac{30}{m_{cp}\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta'')^2}{6k}} < \frac{\Delta V}{V} \% < \frac{-120}{m_{cp}\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta'')^2}{6k}}. \quad (\text{XII}, 30)$$

Нижний предел соответствует неслучайной, а верхний случайной разведочным выборкам.

Указанные пределы обусловливают погрешность расчета ошибки аналогии объема.

Если построить кривую ошибок по формуле (XII, 29), то кривые ошибок, построенные по верхнему и нижнему пределам, определяемым формулой (XII, 30), расположатся в некоторых пределах около первой кривой. Относительные разности ординат в некоторой точке кривых (XII, 29) и (XII, 30) выражают погрешность расчета. Эта погрешность, согласно формуле (XII, 30), может достигать 70 %.

В способе вторых разностей кривая $M(\Sigma\varepsilon)_{\text{пред}}=f(r)$ (см. рис. 160) отвечает модели, использованной при определении численных значений этой функции. Кривые ошибок для тел другой формы расположатся в некоторых пределах около кривой рис. 160. Эти пределы, как и в способе Е. И. Попова, характеризуют погрешность расчета ошибки аналогии по методу вторых разностей, которая по величине близка погрешности формулы (XII, 29).

Исследования, проведенные на существенно различных моделях, дают расхождения между предельными фактическими и вычисленными с использованием вторых разностей ошибками, не выходящими за указанные выше пределы.

Как уже было отмечено в главе IX, вторые разности начи-

нают характеризовать кривые изменения показателей с определенного предела их дробления. Следовательно, способы, основанные на использовании вторых разностей, могут давать результаты, удовлетворяющие точности инженерных расчетов лишь при сравнительно высокой плотности разведочной сетки. При малой ее плотности вторые разности теряют отмеченные значения. Избежать этого не представляется возможным, так как никакие математические приемы не могут восполнить недостаточность разведки.

Сопоставление данных подсчета разными способами с целью сравнительной их оценки показывает близость конечных цифр запасов руды и металлов. Следовательно, с точки зрения точности определения запасов основные способы находятся приблизительно в одинаковых условиях. Но так как подсчет запасов должен давать не только цифровую оценку количества и качества запасов, а и характеризовать их пространственное размещение, то применение простых способов подсчета не должно приводить к примитивному изображению геологического строения и отсутствию ясности в контурах залежи.

Качество подсчета определяется детальностью разведки и качеством выполняемых работ.

Изложенное позволяет сделать заключение, что:

а) для учета влияния технических ошибок могут быть во всех случаях использованы известные формулы теории ошибок, определяющие погрешность функции в зависимости от ошибок измеренных величин;

б) возможность оценки ошибки аналогии при подсчете запасов появляется, строго говоря, при наличии правильной разведочной сетки достаточной густоты и достаточном числе разведочных выработок;

в) применимость формул математической статистики ограничивается рядом факторов: характером изменчивости показателей залежи, формой разведочной сетки и характером применяемых способов подсчета. Очевидно, эти формулы могут быть применимы при определенном характере изменчивости залежи, равномерном расположении разведочных точек и при подсчете запасов способами, использующими средние значения показателей, полученные из большого числа данных;

г) оценка подсчета запасов величиной ошибки возможна только при подсчете запасов высшей категории;

д) точность исходных данных, поступающих в подсчет; следовательно, точность подсчета запасов такова, что позволяет вычисления вести с четырьмя значащими цифрами, округляя четвертый знак до целых.

В окончательных результатах подсчета следует оставлять только три значащие цифры, заменяя остальные нулями.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

УЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ, ПОТЕРЬ, РАЗУБОЖИВАНИЯ И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Глава XIII

УЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ, ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ

§ 62. Общие положения

Учет движения запасов и потерь полезного ископаемого в недрах имеет своей целью:

а) выявление обеспеченности горного предприятия запасами в недрах путем периодического определения количества и качества полезного ископаемого, изменений запасов и степени подготовленности их к разработке;

б) контроль полноты извлечения и качества добываемого полезного ископаемого, осуществляющий путем систематического определения величины потерь и разубоживания полезных ископаемых в процессе разработки.

При учете запасы и потери классифицируют, т. е. делят их по тем или иным признакам на ряд групп и категорий. Эта группировка позволяет:

а) оценивать запасы с точки зрения пригодности к использованию их в народном хозяйстве;

б) оценивать запасы по степени разведенности и подготовленности их к разработке;

в) выявлять причины и характер потерь полезных ископаемых при разработке.

Из числа балансовых выделяют промышленные запасы, подлежащие извлечению из недр. Количество промышленных запасов получается путем исключения из балансовых запасов проектных потерь.

Под проектными потерями понимается та часть балансовых запасов, которая проектируется к безвозвратному оставлению в недрах из соображений безопасности горных работ, в силу несовершенства систем разработки или неблагоприятных условий залегания.

К проектным относятся потери:

а) в предохранительных и барьерных целиках;

б) от неблагоприятных геологических и гидрогеологических условий (обводненность, нарушенность, изменчивость мощности, сложная форма залегания и т. д.);

в) эксплуатационные, связанные с применяемой системой разработки в пределах установленных нормативов.

Проектные эксплуатационные потери P_s подсчитываются из соотношения

$$P_s = \frac{(Z_b - P_u - P_r) C_s}{100}, \quad (\text{XIII}, 1)$$

где

Z_b — запасы балансовые;

C_s — процент эксплуатационных потерь (по проекту или нормативам);

P_u — потери в запроектированных целиках;

P_r — потери от неблагоприятных геологических и гидрогеологических условий;

P_s, P_u, P_r — даются в тоннах.

В том случае, когда предполагается применять или применяется не одна, а несколько систем разработки, процент эксплуатационных потерь подсчитывается как среднее взвешенное с учетом долевого участия каждой из этих систем в общей добыче шахты.

§ 63. Классификация промышленных запасов по степени подготовленности к выемке

Группировку промышленных запасов по степени подготовленности их к выемке целесообразно рассмотреть применительно к некоторым типовым схемам, взяв их для условий подземной разработки угольных, сланцевых, рудных и нерудных месторождений, а также для открытой разработки.

При подземной разработке угольных и сланцевых месторождений

В соответствии с характером и объемом проведенных капитальных и подготовительных работ из общего количества промышленных запасов выделяются вскрытые запасы, а из общего количества вскрытых — подготовленные.

К вскрытым относятся запасы, дальнейшая подготовка которых к разработке требует проведения основных и второстепенных (нарезных) подготовительных выработок и не требует проведения капитальных вскрывающих выработок (шахтных стволов, штолен, капитальных квершлагов, капитальных уклонов, капитальных гезенков и т. д.).

При пологом, наклонном и крутом падении пластов вскрытые запасы подсчитываются в следующих границах:

а) При вскрытии вертикальным или наклонным шахтным стволов, штольней, квершлагом или гезенком: по восстанию

пласта — от горизонта околосвольного двора, штольни, квершлага (или точки встречи гезенка с пластом) до границы годного угля или вышележащего отработанного горизонта; по простирианию — в пределах технических границ шахты или до заранее известных крупных тектонических нарушений, требующих проведения дополнительных капитальных вскрывающих выработок.

б) При вскрытии участковыми гезенками и квершлагами: по восстанию — в тех же границах, а по простирианию — в пределах границ выемочных участков или заранее известных крупных тектонических нарушений.

в) При вскрытии уклонами: по простирианию — в пределах границ уклона поля, а по восстанию — от горизонта нижнего этажного штрека до горизонта основного штрека, с которого пройден уклон, т. е. в число вскрытых включаются только полные этажи.

Если два сближенных пласта разрабатываются совместно и выработки, соединяющие их (квершлаги, гезенки), носят характер сбоек длиной до 10—15 м, то площадь вскрытых запасов обоих пластов принимается одинаковой и определяется по тому из пластов, по которому приводится основной штрек.

Квершлаги, являющиеся вспомогательными (например, для доставки материалов и т. д.), не считаются вскрывающими выработками.

При сложной складчатой форме залегания пластов границы вскрытых запасов принимаются согласно проекту вскрытия и во вскрытые включаются те части пластов, по которым можно проводить основные штреки.

Запасы того или иного участка могут быть включены во вскрытые только один раз при вскрытии только одной выработкой.

При горизонтальном залегании вскрытые шахтным стволов, тезенком или штольней запасы подсчитываются в пределах технических границ шахтного поля или до заранее известных крупных тектонических нарушений.

В ряде случаев затраты на проведение штреков главного направления относятся на статью капитальных затрат, т. е. штреки главных направлений также считают вскрывающими горными выработками. При таком к ним подходе вскрытые запасы в пределах шахтного поля будут определяться площадями пластов, подлежащих выемке, с соответствующими штреками главного направления с учетом их фактического положения.

Подготовленными называются те запасы из числа вскрытых, которые подсечены основными штреками, пройденными по пласту, и не требуют для дальнейшей подготовки проведения основных подготовительных выработок.

Подготовленные запасы подсчитывают в пределах контура, имеющего для разных условий разработки границы, показанные на рис. 227—235. Условные обозначения, приведенные на рис. 227, относятся и к рис. 228—235.

Из рисунков следует, что границами подготовленных запасов являются:

- 1) по падению — нижний контур нижнего основного штреека или его раскоски;
- 2) по восстанию — нижний контур верхнего основного штреека или его раскоски;
- 3) по простирианию — прямая линия, проведенная по восстанию пласта через забой нижнего штреека до пересечения этой линии с границей по восстанию.

Если проводятся полевые штрееки или подготовка данного пласта производится через гезенки или квершлаги, пробивающие со смежного сближенного пласта, подготовленные запасы подсчитываются на участках, границами которых являются:

- 1) по падению — нижний контур нижнего штреека данного пласта;
- 2) по восстанию — нижний контур верхнего штреека данного пласта;
- 3) по простирианию — прямая линия, проведенная по восстанию пласта через наиболее удаленный забой нижнего штреека, рассеченного из последнего квершлага или гезенка.

При горизонтальном залегании пласта, при работе по обе стороны от основного штреека, подготовленные запасы подсчитываются в пределах контура, границами которого являются:

- 1) линия, проведенная через забой основного штреека, перпендикулярно ему, и вторая линия, проведенная через начало основного штреека;

2) границы, до которых будет производиться выемка по обе стороны от основного штреека.

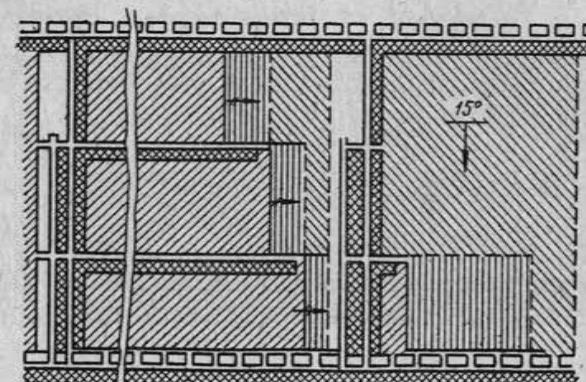
При работе по одну сторону от основного штреека этими границами являются: 1) основной штреек, на который выдается полезное ископаемое, и техническая граница выемочного участка; 2) линии, перпендикулярные основному штрееку, проведенные через забой и начало штреека.

Подготовленные запасы являются суммой запасов активных и неактивных.

К активным относятся запасы, готовые к выемке и подготовленные к нарезке.

К группе неактивных относят запасы во временных целиках, временно заваленные; временно затопленные; временно находящиеся на пожарных участках.

Готовыми к выемке считаются запасы на выемочных участках, где пройдены все требующиеся для данной системы



Условные обозначения	
□	Временные целики
▨	Подготовленные к нарезке запасы
▨	Готовые к выемке запасы
▨	Выработанное пространство
▨	Раскоска
▨	Потери в целиках
▨	Погашенные выработки
↓	Угол падения пласта
→	Направление подвигания забоя

Рис. 227. Сплошная система разработки с транспортировкой угля на задний бремсберг, с предварительным прохождением бремсбера в целиках

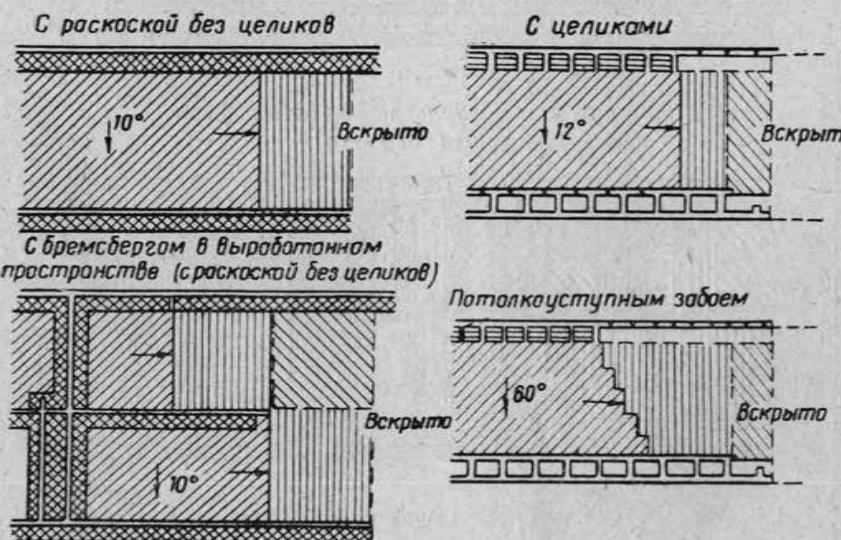


Рис. 228. Сплошная система разработки

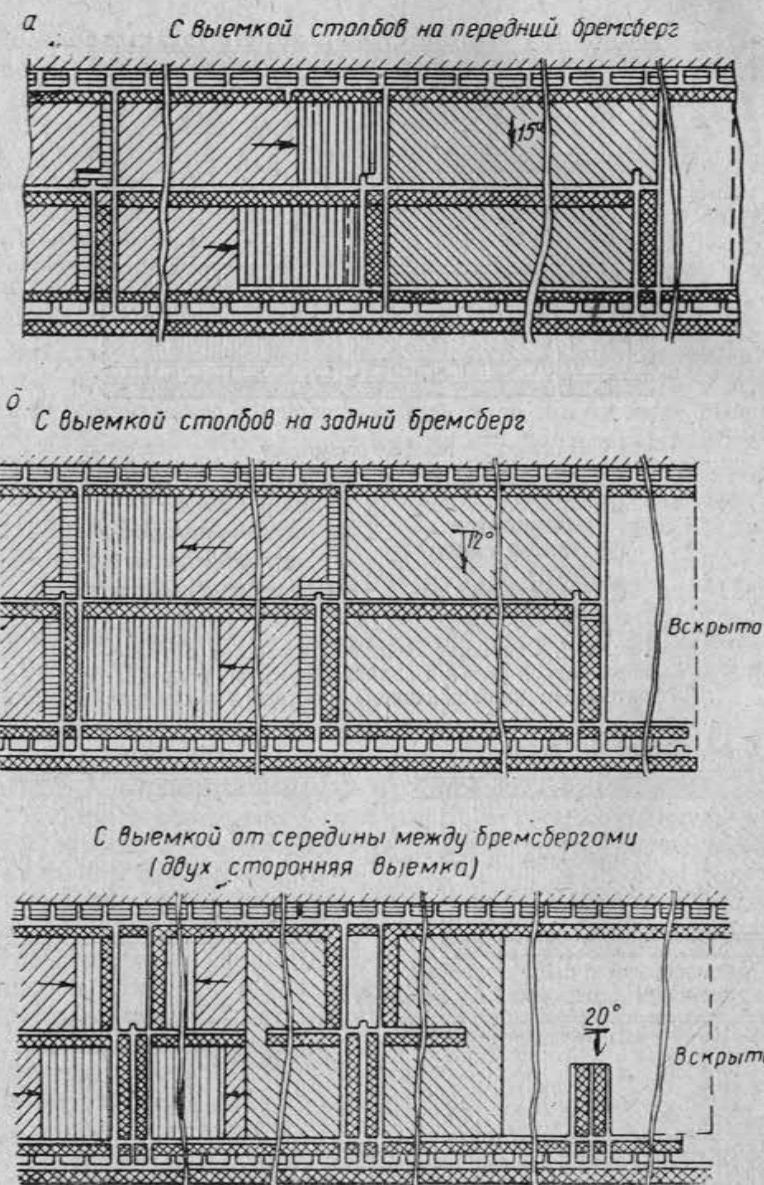


Рис. 229. Система разработки длинными столбами по простиранию

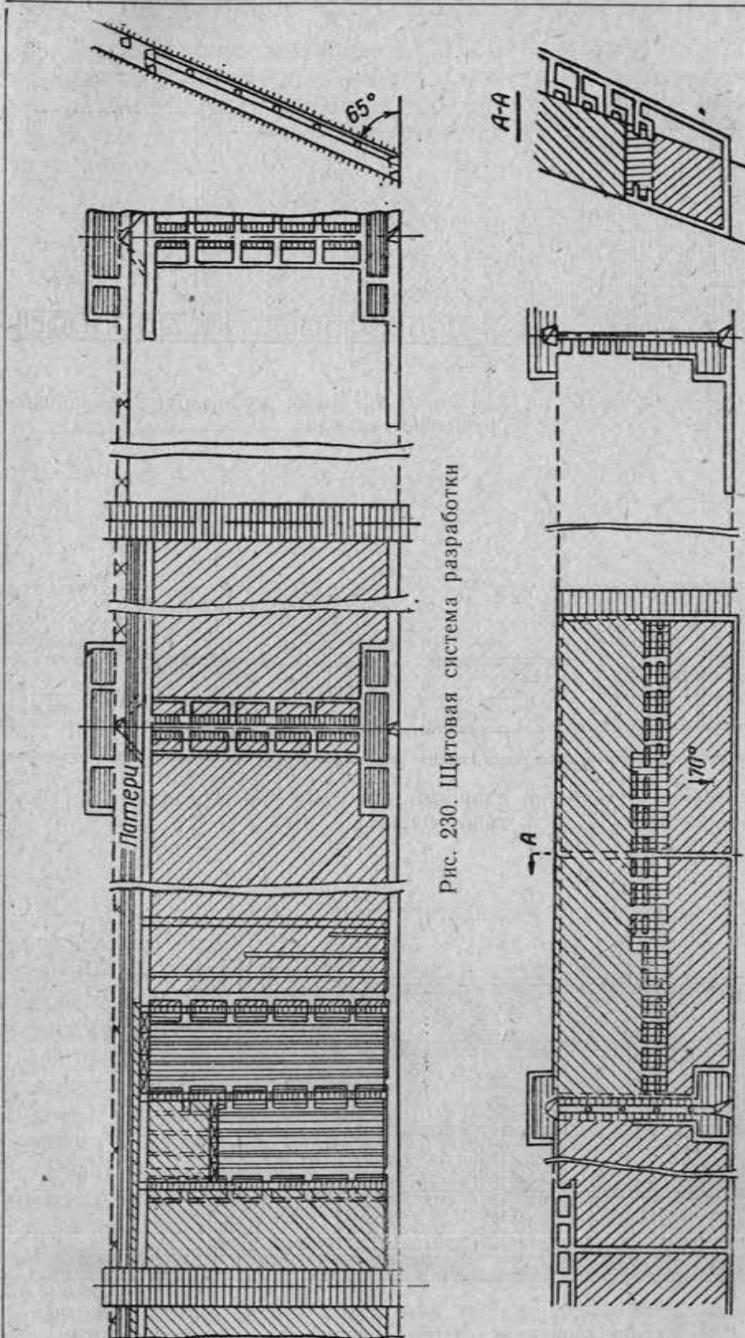


Рис. 230. Щитовая система разработки

Рис. 231. Система разработки горизонтальными слоями с обрушением кровли

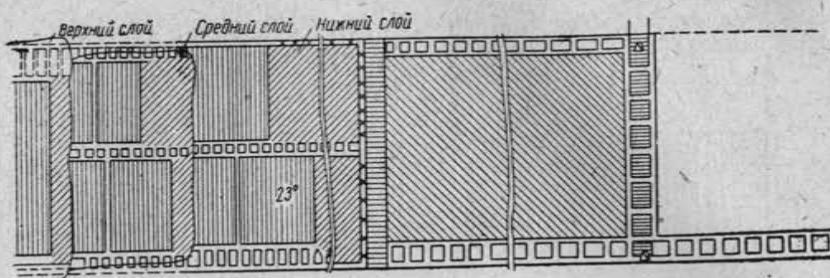


Рис. 232. Система разработки наклонными слоями в нисходящем порядке с обрушением кровли

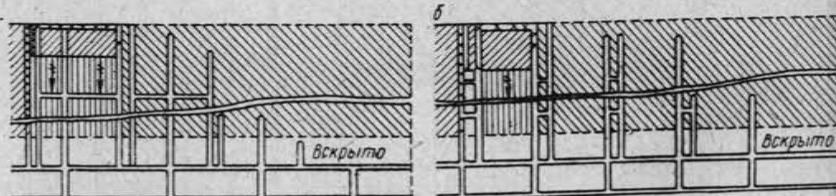


Рис. 233. Система разработки длинными столбами при горизонтальном залегании пластов

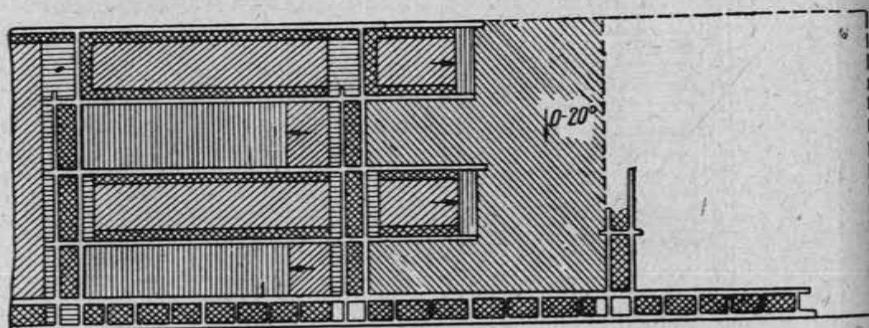


Рис. 234. Комбинированная система разработки — парные штреки

разработки подготовительные и нарезные выработки и законченные работы по оборудованию очистных забоев (монтаж щита, оборудование лавы), позволяющие производить очистную выемку в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации угольных шахт.

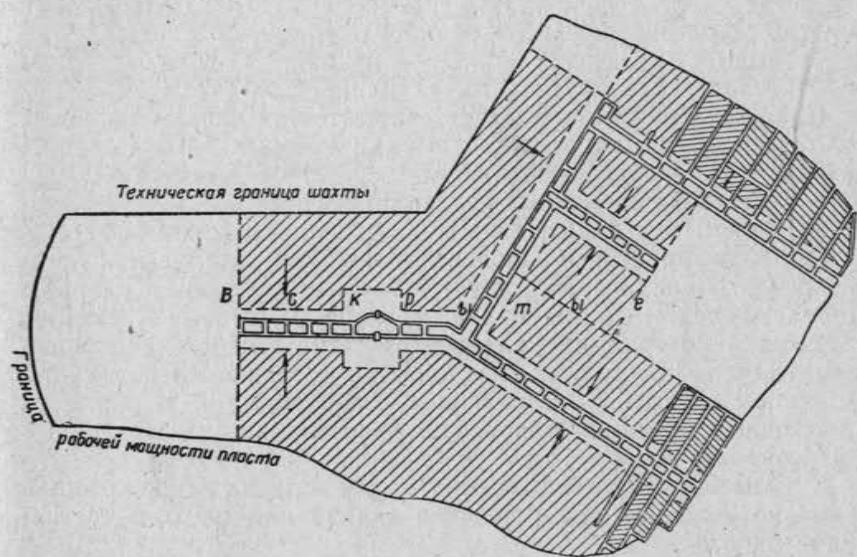


Рис. 235. Горизонтальное залегание

Запасы, удовлетворяющие указанным требованиям, но находящиеся на участках, очистная выемка на которых вызывает подработку вышестоящего пласта, слоя, подэтажа и т. п., не считаются готовыми к выемке и относятся к запасам во временных целях.

При слоевой выемке пластов и при разработке сближенных пластов в случае, когда в каждом из разрабатываемых пластов (слоев) имеется нормально действующая линия забоев, запасы, готовые к выемке в каждом пласте (слое), подсчитываются в контурах всего выемочного участка, где пройдены все подготовительные и нарезные выработки. Если очистная выемка на одном из пластов (слоев) приостановлена и запасы этого пласта (слоя) исключены из числа готовых к выемке, то в других пластах (слоях) запасы, готовые к выемке, подсчитываются в границах, где ведение очистных работ исключает подработку других пластов (слоев).

При одновременной разработке нескольких этажей или подэтажей в случае, когда в каждом из них имеется нормально действующая линия забоев (с установленным опережением между этажами и подэтажами, наличием нормального проветривания и т. д.), запасы, готовые к выемке, исчисляются в контурах участков, где пройдены все подготовительные и нарезные выработки. Если очистные работы в одном из этажей или подэтажей остановлены или не производятся, то запасы, готовые к выемке, подсчитываются в границах, исключающих подработку запасов в других этажах или подэтажах.

Подготовленными к нарезке считаются те запасы из числа подготовленных, для очистной выемки которых требуется проведение только нарезных выработок.

К запасам во временных целиках относятся:

а) запасы в целиках, служащих для поддержания подготовительных выработок и запроектированных к выемке при погашении указанных выработок; б) запасы во временных целиках, оставленных для других целей; в) запасы, готовые к выемке, разработка которых временно невозможна вследствие ее вредного влияния на сближенные пласты, соседние слои и т. п.; г) запасы, временно затопленные, заваленные и в пожарах, в настоящее время восстановленные, но еще не подготовленные к нарезке или выемке.

К временно заваленным относят запасы, доступ к которым временно невозможен по причине завала или плохого состояния выработок.

К временно затопленным относят запасы, доступ к которым невозможен по причине затопления выработок.

К запасам в пожарах относят запасы на участках, изолированных перемычками, вследствие чего на них нельзя производить ни нарезных, ни очистных работ.

При подземной разработке рудных и нерудных месторождений

Вскрытие запасы для рудных и нерудных месторождений определяются так же, как и при подземной разработке угольных пластов, т. е. к вскрытым относятся запасы части залежи, расположенной выше горизонта подсечки капитальными вскрывающими выработками, из которых намечается проведение подготовительных выработок (рис. 236).

Для указанных месторождений единая промышленная классификация запасов отсутствует. В ряде случаев (рудники цветной металлургии и др.) из вскрытых выделяют запасы, подготовленные и готовые к выемке.

Подготовленными называются запасы руды в блоках или на участках, где проведены все подготовительные выработки.

предусмотренные принятой схемой подготовки и разделяющие этаж на эксплуатационные блоки и участки. Запасы руды во временных целиках (междукамерных, надштрековых, подштрековых и т. д.) переводят в группу подготовленных после ликвидации пустот и выполнения других работ, предусмотренных для выемки целика.

Готовыми к выемке называются запасы в блоках или на участках, где проведены нарезные выработки, необходимые для начала очистных работ. Например, при системе разработки

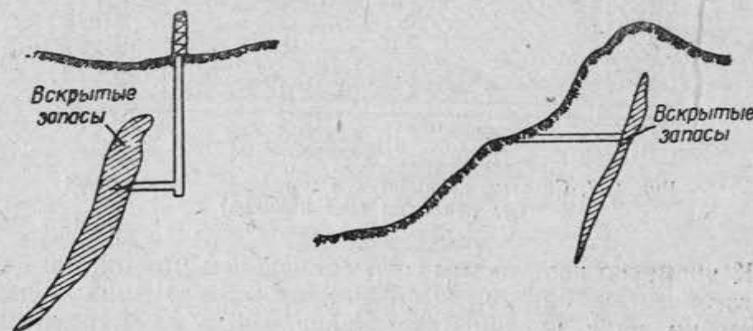


Рис. 236. Вскрытие рудной залежи

открытым забоем с подэтажными штреками к готовым к выемке относят запасы на тех участках и в тех блоках, где пройдены подэтажные штреки, разрезной восстающий, аккумулирующие штреки, а также выработки горизонта грохочения, горизонта подсечки и рудоспуски. При системе разработки с магазинированием руды, без закладки (без целиков) к готовым к выемке относят запасы тех участков и блоков, в которых проведены рудоспуски и рассечки из восстающего к очистному забою (рис. 237).

В некоторых случаях применяют более детальную классификацию вскрытых запасов, выделяя из них полуподготовленные, подготовленные и нарезанные к очистной выемке. При этом запасы, нарезанные к очистной выемке, подразделяют на временно неактивные и готовые к выемке (рис. 238).

Полуподготовленными называют запасы таких участков, на которых полностью проведены главные горизонтальные подготовительные выработки (при горизонтальном залегании — главные штреки).

К подготовленным относят запасы таких блоков, где проведены все подготовительные выработки, за исключением нарезных, проведение которых предшествует очистной выемке.

К запасам, нарезанным для очистной выемки, относят запасы блоков, в которых проведены все подготовительные и нарезанные выработки, предусмотренные применяемой системой разработки.

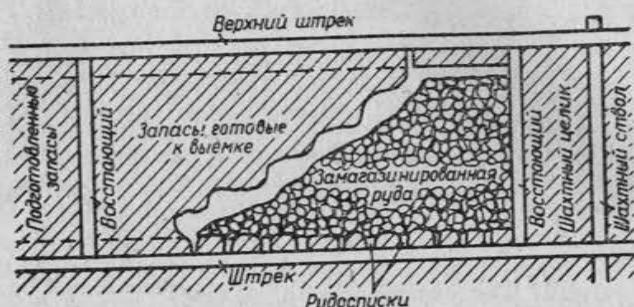


Рис. 237. Система разработки с магазинированием руды без закладки (без целиков)

К временно неактивным относят запасы целых или части подготовленных блоков, выемка которых временно задерживается по ряду причин (отставание работ на параллельных или соседних залежах, наличие непогашенных пустот, необходимость соблюдения установленной проектом очередности ведения очистных работ, требования Правил безопасности и т. п.).

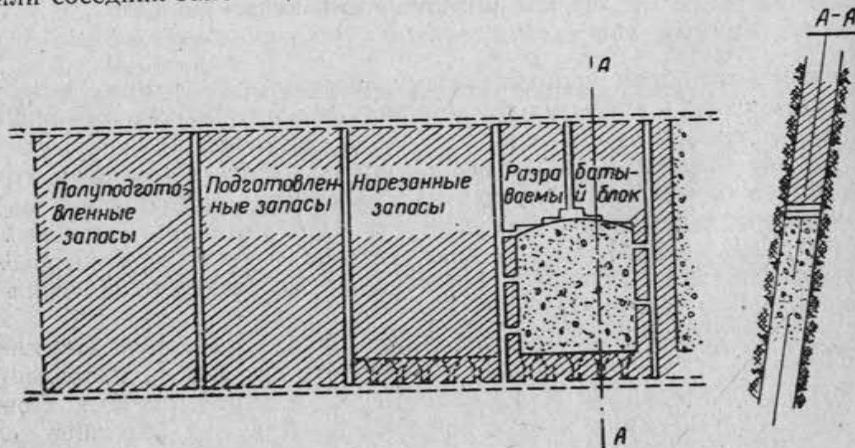


Рис. 238. Разделение запасов на подготовленные и полуподготовленные

мость соблюдения установленной проектом очередности ведения очистных работ, требования Правил безопасности и т. п.).

Запасами, готовыми к выемке, считаются те запасы из числа нарезанных, выемка которых возможна в любое время (на рис. 238 — в пределах разрабатываемого блока).

При открытой разработке

При открытой разработке угольных месторождений к вскрытым относят запасы, находящиеся в пределах контура, ограниченного сверху поверхностью пласта, с которого сняты пустые породы экскаваторами (без окончательной зачистки), с боков — плоскостями уступов, построенных от границ обнаженной поверхности, с углами откосов и бермами, принятими проектом разработки, а снизу — почвой пласта, проектной глубиной разработки, дренажным горизонтом или глубиной,



Рис. 239. Открытая разработка горизонтального пласта

при которой сходящиеся боковые плоскости уступов дают ширину дна траншеи, минимальную для данного способа ведения работ.

Из числа вскрытых выделяют запасы (рис. 239, 240): подготовленные к зачистке, готовые к выемке, во временных целиках, временно заваленные, временно затопленные и временно находящиеся на пожарных участках.

К подготовленным к зачистке относят запасы, не требующие для дальнейшей подготовки основных экскаваторных вскрышных работ и нуждающиеся только в зачистке породы (мощностью 0,5—1,0 м), оставшейся после основной экскаваторной вскрыши, от понутных пород при селективной выемке или от подвалки.

К готовым к выемке относят зачищенные запасы, которые могут быть вынуты без нарушения основных правил ведения горных работ и безопасности (сохранение установленных проектом ширины берм, полноты выемки и т. д.). Запасы нижележащих уступов переходят в готовые к выемке по мере подвигания фронта работ вышележащих уступов, а по верхнему уступу — по мере подвигания вскрышных работ и зачистки породы после экскаваторных работ.

К запасам во временных целиках относят: запасы во временных целиках под сооружениями (эстакады, скаты и т. п.); вскрытые запасы в нижних уступах, выемка которых в данное время не может производиться ввиду наличия неотработанных запасов в вышележащих уступах; запасы в предохранительных и путевых бермах уступа.

К временно заваленным относят запасы, выемка которых временно невозможна вследствие завала их породой (в том числе при оползнях). После уборки (перевалки) этой породы

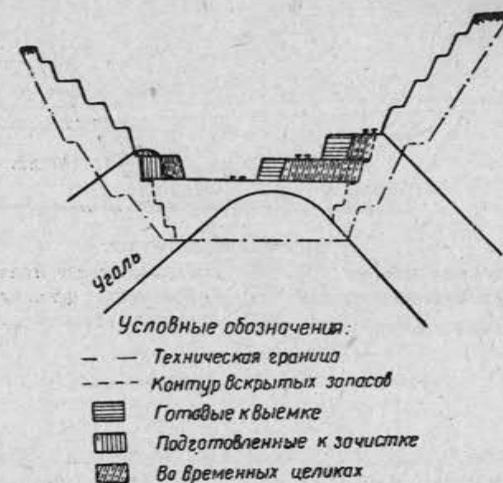


Рис. 240. Открытая разработка пласта, залегающего в виде антиклинальной складки

временно заваленные запасы переводят в подготовленные к зачистке, готовые к выемке или запасы во временных целиках.

Временно заваленные запасы могут быть списаны с баланса и переведены в потери от неправильного ведения горных работ в случае, если их разработка является нерентабельной.

К временно затопленным относят запасы на затопленных участках, откачка воды или дренаж которых может быть осуществлена в непродолжительный срок. По мере осушения затопленных участков эти запасы могут быть переведены в подготовленные к зачистке, готовые к выемке или запасы во временных целиках.

К запасам в пожарах относят запасы, выемка которых в данный момент невозможна ввиду пожара. При ликвидации пожара запасы должны быть опробованы и в случае несоответствия установленным кондициям по зольности списаны как потери, а в противном случае переведены в одну из следую-

щих категорий: временно заваленные, подготовленные к зачистке, готовые к выемке и во временных целиках.

При открытой разработке **рудных и нерудных месторождений** применяют различные классификации промышленных запасов.

На горных предприятиях цветной металлургии к вскрытым относят запасы тех участков уступа, которые сверху освобождены от покрывающих пустых пород или руды вышележащего уступа или обнажены вследствие естественных условий залегания. При этом во всех случаях должна быть проведена выездная траншея или траншея для оборудования подъемника (бремсберга) на отметку рабочего горизонта, принятого проектом разработки.

Границей вскрытых запасов по глубине является горизонт, подсеченный выездной траншней.

В тех случаях, когда разработка уступа, расположенного ниже транспортных путей, ведется без предварительного прохождения траншей (например, при применении драглайна), вскрытые запасы по этому уступу подсчитываются на участках, освобожденных от покрывающих пород или руды вышележащего уступа.

К подготовленным и одновременно готовым к выемке относят запасы частей уступа с обнаженными верхней и боковой поверхностями, обеспечивающими ведение очистной выемки. Для отнесения запасов уступа или его части к подготовленным требуется выполнение горноподготовительных работ, предусмотренных проектом (проходка разрезной траншеи, дренаж, зачистка уступа от пород после вскрыши).

В ряде случаев подготовленные запасы подразделяются на запасы: готовые к выемке, в зачистке (на площади, где не произведена окончательная зачистка породы после экскаваторной вскрыши) и во временных целиках (под путями на уступах, под вышележащими уступами и т. д.).

На железорудных и асBESTовых карьерах к вскрытым относят запасы, заключенные в контуре, верхней границей которого является площадь, обнаженная от покрывающих пустых пород, нижней — горизонт, подсеченный выездной траншней, а боковыми — плоскости уступов, построенные от границ обнаженной поверхности с углами откосов и бермами, принятыми проектом разработки.

Из числа вскрытых выделяют запасы в бермах, во временных целиках, готовые к выемке. Для отнесения запасов к готовым к выемке требуется выполнение всех горноподготовительных работ, предусмотренных техническим проектом или планом эксплуатации (в том числе зачистка уступов от породы после основной вскрыши).

Подсчет запасов различных категорий производится как по руде, так и по полезным компонентам.

При разработке залежей сложного строения, залегающих на склонах гор (например, Магнитогорское месторождение), к вскрытым относят запасы, подсеченные самым нижним горизонтом горных работ, а сбоку — ограниченные проектными границами отработки уступов.

Ввиду сложного строения залежи (перемежаемость различных сортов руд и пород) при выделении подготовленных запасов принимают во внимание возможность планирования суточной добычи с учетом выхода с данного горизонта определенного процента богатых товарных руд. Поэтому здесь из числа вскрытых выделяют запасы подготовляемые, подготовленные и готовые.

Подготовляемыми являются запасы, для которых подготовка горизонта для экскавации закончена, но количество богатых руд в забоях по всему фронту недостаточно для обеспечения планируемой суточной добычи.

К подготовленным относят запасы, для которых все горно-подготовительные работы закончены, а выход богатых руд по фронту работ достаточен для обеспечения планируемой суточной добычи руды.

Готовыми считаются запасы обуренные и взорванные.

В ряде случаев на карьерах, разрабатывающих наклонные пластовые или пластиобразные залежи, вскрытые запасы подсчитываются в пределах объемного контура, верхней границей которого является поверхность залежи, освобожденная от покрывающих пород, с боков — плоскости уступов, построенные по принятым в проекте углам откосов к бермам, а снизу — подошва уступа, следующего за нижним разрабатываемым.

Из вскрытых выделяют запасы подготовленные и неподготовленные (между подошвой нижнего действующего уступа и подошвой следующего уступа).

Из подготовленных, в свою очередь, выделяют запасы, готовые к выемке и под предохранительными бермами. Кроме того, в качестве особого вида учитывают запасы, временно оставленные (во временных предохранительных целиках или временно оставленные по другим причинам).

При открытой разработке огнеупорных глин из подготовленных выделяют запасы, частично подготовленные (на площади, где основная экскаваторная вскрыша пород произведена и необходимо произвести механизированную или ручную зачистку кровли пласта от оставшейся породы), готовые к выемке (полностью зачищенные от породы).

Запасы, частично подготовленные, подразделяются на категории в зависимости от мощности пород, подлежащих зачистке.

§ 64. О нормировании подготовленных и готовых к выемке запасов

Одним из условий нормальной деятельности горного предприятия является обеспеченность подготовленными запасами. Для суждения о последней на каждом предприятии должны быть установлены соответствующие условия работы нормативы, служащие критерием правильного планирования горных работ. Нормативы представляют собой неснижаемые резервы подготовленных и готовых к выемке запасов, которыми должно располагать горное предприятие при заданном размере добычи и принятых системах разработки.

Наличие нормативов позволяет своевременно оценивать отставание подготовительных работ, могущее привести к невыполнению плана добычи или, наоборот, выявлять излишнее развитие подготовительных работ, вызывающее неоправданные затраты средств на поддержание выработок и омертвление средств, затраченных на преждевременную проходку.

По установившимся представлениям [IV, 14], в основу методики нормирования запасов положено требование строгой согласованности в проведении подготовительных, нарезных и очистных работ как необходимого условия для поддержания годовой добычи предприятия на установленном планом уровне. Указанное требование выражается в том, что число блоков, находящихся одновременно в подготовке, нарезке и очистной выемке, должно быть пропорционально времени, затрачиваемому на подготовку, нарезку и отработку блока. Математически это требование выражается следующим образом:

$$\frac{N_n}{N_h} = \frac{T_n}{T_h}; \quad \frac{N_n}{N_o} = \frac{T_n}{T_o}; \quad \frac{N_h}{N_o} = \frac{T_h}{T_o} \dots, \quad (\text{XIII}, 2)$$

где N_n , N_h , N_o — число блоков, находящихся одновременно в подготовке, нарезке и очистной выемке;

T_n , T_h , T_o — время, затрачиваемое на подготовку, нарезку и очистную выемку блока.

Смысл приведенного требования сводится к тому, что за время очистной выемки группы блоков должно быть подготовлено такое же количество блоков, которые обеспечат сохранение добычи на заданном уровне.

Величина нормативов обусловливается рядом факторов: системой разработки и ее параметрами в данных горногеологи-

ческих условиях, скоростью подвигания подготовительных, нарезных выработок и очистных работ и др. С изменением указанных факторов изменяются и нормативы обеспеченности предприятия запасами. Поэтому нормативы запасов должны устанавливаться для каждого горного предприятия в отдельности и корректироваться в меру изменения условий разработки.

Пусть необходимо установить нормативы запасов для действующего предприятия с плановой добычей A тонн в месяц. Для обеспечения этой добычи рудник (шахта) должен иметь некоторое количество блоков (участков), находящихся в стадии очистной выемки и некоторое число резервных блоков на случай временного прекращения очистной выемки в каких-либо действующих блоках.

Норматив запасов, готовых к выемке, должен быть равен количеству готовых к выемке запасов, сосредоточенных в действующих и резервных блоках, обеспечивающих плановую добычу рудника, т. е.

$$Q_0 = akN_0g, \quad (\text{XIII}, 3)$$

где a — коэффициент, характеризующий среднее количество готовых к выемке запасов в блоке за период его отработки;

k — коэффициент резерва;

g — средний запас блока.

Норматив B_1 , готовых к выемке запасов во временном выражении (в месяцах) найдется как отношение количества запасов Q_0 к месячной добыче A :

$$B_1 = \frac{Q_0}{A} = \frac{akN_0g}{A}.$$

Но величина

$$A = vN_0 = \frac{gN_0}{T_0},$$

где v — производительность блока $\frac{g}{T_0}$;

T_0 — время отработки блока.

Отсюда:

$$B_1 = \frac{akN_0g}{gN_0} T_0, \text{ или } B_1 = akT_0. \quad (\text{XIII}, 4)$$

Коэффициент a находится из условия равномерного и последовательного включения блоков в очистную выемку. Он в относительном выражении готовых к выемке запасов в блоке за период отработки блока всегда меньше единицы. Величина

коэффициента a зависит от системы разработки и от числа стадий очистной выемки блока.

Если запасы блока отрабатываются в одну стадию и переводятся в категорию готовых к выемке целиком по блоку, то запасы блока в процессе его отработки будут уменьшаться от 1 до 0. При полной отработке запасов блока для обеспечения бесперебойной работы рудника по добыче в очистную выемку должен быть включен следующий блок с запасом, равным единице, и также отработан до 0 и т. д. Таким образом, в среднем уровень готовых к выемке запасов в блоке при одностадийной очистной выемке составляет половину первоначальных запасов блока. Это положение справедливо для любого количества одновременно действующих блоков.

Нетрудно видеть, что при любом числе стадий отработки блока $a = \frac{1}{2n}$, где n — число стадий. Анализ обеспеченности запасами отдельных предприятий по системам разработки подтверждает правильность этого положения.

На величину коэффициента k оказывают влияние многие факторы: система разработки, сложность производственного процесса очистной выемки, степень постоянства геометрических элементов рудных тел, возможность выклинивания или встречи тектонических нарушений, неравномерность распределения руды по качеству, степень механизации горных работ, их организация и число действующих блоков (k уменьшается с увеличением числа блоков).

Колебания продолжительности работ в блоке (в месяцах) наиболее полно характеризуют степень изменчивости месторождения по всем показателям в совокупности и позволяют определить величину резерва как коэффициент вариации ряда сроков отработки блока из выражения

$$k = 1 + \frac{m}{T_0}. \quad (\text{XIII}, 5)$$

где m — среднее квадратическое отклонение отдельных сроков отработки блока;

T_0 — среднее время отработки блока.

Подготовленные запасы равны сумме готовых к выемке запасов Q_0 , необходимых для бесперебойной работы по добыче, и некоторого количества подготовленных запасов Q_n , находящихся в стадии нарезки, необходимых для своевременной подготовки к очистной выемке. Следовательно, норматив подготовленных запасов в месяцах запишется в виде

$$B_2 = \frac{Q_0 + Q_n}{A}, \text{ мес.} \quad (\text{XIII}, 6)$$

Норматив готовых к выемке запасов $B_1 = \frac{Q_h}{A}$ — находится по формуле (XIII, 4).

Выразим второй член формулы (XIII, 6) как произведение запасов блока на число блоков, находящихся в нарезке. Из (XIII, 2) имеем

$$Q_h = gN_h \quad (\text{XIII, 7})$$

$$N_h = \frac{N_0}{T_0} T_h$$

где T_h — продолжительность нарезных работ до начала очистной выемки в блоке. Тогда

$$Q_h = \frac{N_0}{T_0} T_h g.$$

$$\text{При } A = \frac{g}{T_0} N_0 \text{ величина } \frac{Q_h}{A} = \frac{N_0 T_h g T_0}{g N_0 T_0} = T_h.$$

Подставив полученные результаты в выражение (XIII, 7), имеем

$$B_2 = (akT_0 + T_h), \text{ мес.} \quad (\text{XIII, 8})$$

Нормативы B_1 и B_2 , вычисляемые по формулам (XIII, 4) и (XIII, 8), относятся к одной системе разработки. Нормативы запасов по руднику в целом определяются как средневзвешенные из нормативов по системам разработки:

$$\left. \begin{aligned} B_{1\text{ по руднику}} &= \frac{B'_1 c' + B''_1 c'' + B'''_1 c''' + \dots}{100}, \text{ мес.;} \\ B_{2\text{ по руднику}} &= \frac{B'_2 c' + B''_2 c'' + B'''_2 c''' + \dots}{100}, \text{ мес.} \end{aligned} \right\} \quad (\text{XIII, 9})$$

где $B'_1, B''_1, \dots, B'_2, B''_2$ — нормативы запасов по системам разработки (в месяцах);

c', c'', c''' — удельный вес системы разработки (в %) в общей добыче полезного ископаемого по руднику.

Таким образом, из изложенного вытекает следующий порядок определения нормативов запасов на действующем горном предприятии.

Нормативы B_1 и B_2 определяются отдельно для каждой применяемой на руднике (шахте) системы разработки.

Устанавливается число стадий очистной выемки и уровень готовых к выемке запасов в блоке — коэффициент $a = \frac{1}{2n}$. Правильность выбора величины последнего проверяется анализом обеспеченности рудника готовыми к выемке запасами по рассматриваемой системе разработки за 2—3 года. Расхождение между расчетным и фактическим значением a не должно превышать нескольких единиц второго знака.

Далее собирается максимум данных, характеризующих продолжительность нарезных и очистных работ в блоке для получения средних значений T_h , T_0 и коэффициента резерва k . Пользуясь полученными величинами по формулам (XIII, 4), (XIII, 8) и (XIII, 9), определяют нормативы подготовленных и готовых к выемке запасов.

§ 65. Учет состояния и движения балансовых и промышленных запасов предприятия

При учете состояния и движения запасов полезного ископаемого на шахте исходными данными являются балансовые запасы шахты.

Фактическое состояние балансовых запасов шахты на начало года выявляется непосредственным подсчетом, выполняемым геологом при участии маркшейдера или одним маркшейдером при отсутствии геолога в штате шахты. При этом подсчет запасов ведется в пределах технических границ шахты применительно к эксплуатационным горизонтам (участкам) и элементам геологических структур.

Для подсчета запасов и учета последующих их изменений на кальке составляют комплект планов и разрезов в масштабе основных маркшейдерских планов, на которых показывают:

- а) границу шахтного поля и границы безопасного ведения горных работ;
- б) подготовительные выработки и контур очистных работ;
- в) известные и предполагаемые тектонические нарушения;
- г) разведочные выработки;
- д) точки замера мощностей, углов падения, отбора проб на определение показателей полезного ископаемого с обозначением численных значений их;
- е) границы и номера блоков, в которых производится подсчет запасов, а также границы запасов категорий А, В и С;
- ж) контуры охранных и барьерных целиков;
- з) контуры участков с некондиционными запасами или участки, выемка которых невозможна по тем или иным условиям со ссылкой на акт и дату списания этих запасов;

- и) очаги пожаров и границы затопленных участков;
- к) потери полезного ископаемого в виде целиков;
- л) границы временных целиков.

Подсчет запасов производится раздельно по каждому разрабатываемому и одному нижележащему невскрытому горизонту. По всем прочим невскрытым горизонтам запасы даются суммарно.

При подсчете запаса в объемной или весовой мере по каждому контуру используют средние значения соответствующих показателей, получаемые тем или иным приемом. Результат подсчета сводится в таблицы подсчета балансовых запасов шахты по состоянию на начало года.

Форма таблицы может быть произвольной, но она должна включать все необходимые сведения.

В таблице даются итоги по участкам (блокам), горизонтам и по шахте в целом.

Итоговые данные впоследствии вносятся в таблицу первичного учета состояния и движения запасов шахты.

Номенклатура участков и блоков в обоих случаях должна быть одинаковой.

При последующем подсчете запасов вновь пересчитывают запасы только тех участков (блоков), которые претерпели изменения.

Задача первичного учета запасов, осуществляемого маркшейдерской службой шахт, заключается в том, чтобы:

- а) дать численную характеристику состояния запасов на начало отчетного периода и изменения их, имевшие место за отчетный период;
- б) выявить состояние запасов на конец отчетного периода и дать представление об обеспеченности шахты запасами на предстоящее время;
- в) контролировать выполнение плана подготовки запасов.

Запасы за тот или иной отчетный период могут изменяться по следующим причинам:

- а) уменьшаться в результате добычи и потерь;
- б) уменьшаться за счет выявления в процессе эксплуатации участков с некондиционным полезным ископаемым или участков, разработка которых невозможна по тем или иным условиям;
- в) уменьшаться или увеличиваться вследствие изменения границ шахтного поля;
- г) изменяться в результате доразведки или пересчета запасов. Уменьшение запасов за счет добычи и потерь устанавливается по данным учета количества добывого и фактически потерянного в недрах полезного ископаемого. Изменение запа-

сов в результате уменьшения или увеличения размеров шахтного поля устанавливается по маркшейдерским планам.

Изменения же, вызванные выявлением при эксплуатации непромышленных (с некондиционным полезным ископаемым) участков или участков, выемка которых невозможна, определяются по данным списания их с баланса шахты. При этом некондиционными запасами считаются такие, которые ранее были включены в балансовые запасы, но в процессе эксплуатации оказались имеющими нерабочую мощность залежи, высокое содержание вредных компонентов или балластных примесей.

Изменения запасов, происходящие в результате доразведки или пересчета, в течение года фиксируются приближенно, главным образом за счет перевода запасов из одной категории в другую. На конец года эти изменения уточняются.

Первичный учет состояния и движения запасов полезного ископаемого на шахте производится дифференцированно с подразделением по горизонтам, элементам геологических структур. Отчет о движении запасов представляется в конце полугодия. Остатки запасов на конец года корректируются непосредственным подсчетом балансовых запасов, выполняемым, как отмечено выше, геологической и маркшейдерской службами шахты.

Указанный учет ведется в книге первичного учета запасов шахты по установленной форме, откуда и берутся исходные сведения по запасам для оперативного использования или представления отчетных данных по запасам в вышестоящие организации.

§ 66. Классификация и учет потерь

Объектом учета и контроля являются фактические потери полезного ископаемого, т. е. та часть запасов, которая являлась пригодной для разработки, но впоследствии испорчена (потеряла свойство полезного ископаемого), уничтожена пожаром или навсегда оставлена в недрах в соответствии с требованиями безопасного ведения работ, вследствие несовершенства применяемой системы разработки или неправильного ведения горных работ.

Из приведенного определения следует, что запасы участков, выявленные разведочными и горными работами как некондиционные, а также запасы во временных целиках не должны относиться к потерям.

Учет потерь, являясь одним из важных элементов охраны недр, осуществляется в целях:

а) выяснения эффективности той или иной принятой системы разработки с точки зрения размеров потерь полезного ископаемого;

б) контроля правильности ведения горных работ;

в) численной оценки потерь применительно к отдельным их видам в целях проведения ряда организационно-технических мероприятий, направленных к сведению потерь до минимума;

г) учета пространственного распределения потерь в недрах.

Маркшейдерская служба шахты, выполняющая функции учета, не должна ограничиваться только фиксацией потерь, а вместе с горнотехническим надзором обязана наблюдать за осуществлением мер по снижению их до размеров, определяемых установленными нормативами потерь или технико-экономическими расчетами.

Рассмотрим скжато основные положения учета потерь применительно к подземной разработке угольных и рудных месторождений.

Угольные месторождения

Для облегчения анализа потерь их разделяют на группы в соответствии с причинами, вызвавшими их появление:

а) не зависящие от системы разработки;

б) связанные с системой разработки (эксплуатационные потери);

в) вызванные неправильным ведением горных работ.

В первую группу входят:

1. Потери полезного ископаемого в охранных и барьерных целиках, оставление которых технически и экономически обосновано, а выемка впоследствии невозможна.

2. Потери, вызываемые неблагоприятными геологическими и гидрогеологическими условиями (нарушенная кровля, отсутствие в кровле устойчивых пород, обводненность, плывуны, текtonические нарушения).

Из общей цифры этого вида должны особо выделяться потери по мощности (в кровле и почве пласта).

В потери второй группы включаются:

1. Целики, оставляемые у подготовительных выработок с целью сохранения последних, при условии, что проектом не предусматривается погашение указанных целиков.

2. Целики, оставляемые в очистном пространстве по причинам, не обусловленным завалом или другими факторами неправильного ведения работ, например потери в посадочных целиках — «ножах».

3. Слои, оставляемые в кровле или почве пласта при разра-

ботке не на полную его мощность, в соответствии с паспортом применяемой системы разработки.

4. Потери отбитого полезного ископаемого, появляющиеся в результате выброса в забутовку при взрывании, неполной зачистки в забое и растрески при транспортировании; для сланцев — неполное разделение сланца и породы и забрасывания сланца в забутовку или пустую породу, отбираемую на ленте в виде сростков с известняком.

При учете эксплуатационных потерь необходимо различать фактические и неизбежные потери.

Первые характеризуют фактическое состояние, а вторые дают представление о потерях при условии правильного применения системы разработки.

К третьей группе относятся:

1. Излишки потерь сверх неизбежных в охранных и барьерных целиках при оставлении последних в размерах, превышающих технически обоснованные пределы.

2. Излишки эксплуатационных потерь сверх принятых проектом или предусмотренных нормативами для данной системы разработки — в целиках около подготовительных выработок и в очистном пространстве.

3. Потери полезного ископаемого, оставляемого в кровле и почве выработок по причинам, не обусловленным неблагоприятными геологическими и гидрогеологическими условиями.

4. Потери от завала выработок вследствие неудовлетворительного управления кровлей, затопления и других аварий, вызванных неправильным ведением работ, потери от подработки пластов.

5. Потери от подземных пожаров.

6. Потери в недоработанных и брошенных без достаточных оснований участках у границ и в середине шахтного поля.

При учете потерь следует руководствоваться следующими положениями:

а) запасы полезного ископаемого учитываются как потери лишь в том случае, когда точно установлена невозможность или нецелесообразность выемки их в будущем;

б) к потерям из-за пожаров и затопления относятся не только запасы полезного ископаемого, которые сгорели, испорчены пожаром или затоплены, но также запасы в целиках, ограждающих аварийный участок, если эти целики впоследствии не могут быть выработаны;

в) целики у границ шахтных полей и около затопленных выработок относятся к потерям в том случае, если это вызвано требованиями безопасного ведения работ и если причины, побудившие к оставлению целиков, не могут быть устранены по техническим или экономическим соображениям;

г) запасы полезного ископаемого, оставляемого в недрах, учитываются как потери из-за неблагоприятных геологических или гидрогеологических условий лишь в том случае, когда с этими потерями не представляется возможным бороться потехническим или экономическим условиям. В противном случае они учитываются как потери от неправильного ведения горных работ. Последние вообще должны строго отделяться от прочих видов потерь;

д) к фактическим потерям относятся те запасы, которые фактически оставлены в недрах, а не предполагаются к оставлению в будущем, в связи с чем потери подсчитываются в пределах погашенного за отчетный период контура.

При отделении потерь, вызванных неправильным ведением горных работ, от потерь других видов маркшейдер руководствуется нормативами потерь. Это позволяет ему из потерь, связанных с системой разработок, выделить ту часть, которая вызвана неправильным ведением горных работ. Указанные нормативы разрабатываются трестом, утверждаются вышестоящей организацией и согласовываются с органами Госгортехнадзора. Нормативы потерь устанавливают: размер целиков, оставляемых около подготовительных выработок в очистном пространстве, на границах выемочных участков, мощность пропластков полезного ископаемого, оставляемого в кровле и почве, и т. д.

Величина потерь по нормативам должна быть оптимальной и должна находиться в полном соответствии с конкретными условиями разработки и технико-экономическими возможностями применяемых систем разработки. На предстоящий год подсчитываются плановые потери. Они могут несколько отличаться от нормативных вследствие того, что за этот период выемочные участки могут быть отработаны лишь частично и не все элементы потерь, предусмотренные нормативами, окажутся в контуре, намеченному к отработке.

Потери от неправильного ведения горных работ характеризуют качество работы отдельных участков и шахты в целом. При правильной организации производства эти потери не должны иметь места. Поэтому при ведении учета потерь и борьбы с потерями на потери от неправильного ведения горных работ должно быть обращено особое внимание.

Графические материалы, по которым ведется подсчет добычи и потерь, должны обеспечивать достаточную полноту изображения результатов маркшейдерских замеров. В тех случаях, когда основные маркшейдерские планы указанным требованиям не удовлетворяют, составляют специальные замерные планы.

Основные маркшейдерские планы (или специально составляемые замерные планы) и замерные книги являются основ-

ной документацией при учете добычи и потерь полезного ископаемого.

С количественной точки зрения можно выделить три группы потерь:

- а) по площади (в целиках);
- б) по мощности;
- в) отбитого полезного ископаемого.

Потери по площади устанавливаются по маркшейдерским планам путем перемножения площади целика на фактическую (установленную в горных выработках) полную полезную мощность и объемный вес полезного ископаемого в целике.

Потери по мощности подсчитываются путем сопоставления средних значений полной полезной мощности с вынимаемой полезной мощностью.

Потери отбитого полезного ископаемого в относительном выражении даются по установленным нормативам. Последние получаются на основании проводимых экспериментов (замеров, определений) применительно к различным условиям разработки.

Относительные величины потерь определяются следующим образом:

- а) фактические потери в предохранительных и барьерных целиках — делением абсолютной цифры потерь на балансовые запасы шахты;
- б) потери, связанные с системами разработки, и от неправильного ведения работ — делением абсолютной цифры потерь на балансовые запасы в пределах погашенного контура без потерь первой (а) группы и потерь по геологическим (или гидрогеологическим) причинам.

Рудные месторождения

Первичный учет потерь на шахте (руднике) осуществляется ежеквартально и ведется в книгах установленной формы. Номенклатура объектов учета должна быть та же, что и при учете движения запасов, так как сведения по потерям вносятся в книгу первичного учета движения запасов. В квартальном учете потерь последние группируются по системам разработки.

Большинство приведенных выше общих положений относится и к учету потерь на рудных месторождениях, разрабатываемых подземным способом, поэтому ограничимся основными особенностями рудных месторождений в этом отношении.

Большая изменчивость условий залегания, характера оруднения, а также содержания металлов в руде даже в пределах одного блока месторождения вынуждает учет потерь вести здесь по более дробным объектам — по каждому рабочему

блоку. В случае единобразия условий и систем разработок учет может быть проведен по более укрупненным объектам, например по этажам.

При разработке рудных месторождений потери разделяются на количественные и качественные.

Количественными потерями называют недодачу по разным причинам весового количества руды или металла против подсчитанного в месторождении, на участке или в блоке. Их можно подсчитать по руде или по металлу и давать их в абсолютном или относительном выражении.

Под качественными потерями (разубоживанием руды) понимают снижение содержания металла (металлов) в добывом полезном ископаемом по сравнению с содержанием его в массиве.

Разубоживание руды вызвано попаданием в отбитую руду пустых пород и бедных руд из прослойков и вмещающей толщи, а также потерями при добыче наиболее богатой по содержанию металла рудной мелочи.

Разубоживание снижает технологические свойства (ценность руды) и удорожает транспортировку ее и обогащение.

Единой классификации для рудных месторождений не существует вследствие большого разнообразия горногеологических условий.

Для иллюстрации приведем классификацию потерь, применяемую с теми или иными изменениями при разработке месторождений цветных и редких металлов, согласно которой выделяют следующие виды потерь:

1) из-за дефектности геологоразведочных работ (пропуски параллельных залежей и апофиз, недостаточно точное оконтуривание рудных тел, неправильное опробование и т. д.);

2) из-за дефектности маркшейдерской документации (например, ошибки в маркшейдерских планах, вызывающие подработку сближенных залежей и оставление излишне больших целиков);

3) по геологическим причинам (наличие сильно нарушенных участков, сложная конфигурация контуров залежи, затрудняющая полную отработку, залежи на границе выклинивания и т. д.);

4) по гидрогеологическим причинам (при затоплении выработок, разработке сильно обводненных участков и т. д.);

5) в предохранительных целиках;

6) от неправильного развития горных работ;

7) от применяемых систем разработки (эксплуатационные потери);

8) из-за подземных пожаров;

9) при погрузке и транспортировании руды.

Потери в предохранительных целиках могут быть значительными, особенно при неудачном расположении сооружений на поверхности и при неправильном заложении капитальных выработок.

Потери из-за неправильного развития работ происходят вследствие несоблюдения необходимой очередности выемки отдельных участков и рудных тел, например выемка междукамерных целиков без увязки с работами вышележащих горизонтов, непланомерная выемка слоев в блоке и т. д.

Потери, зависящие от применяемых систем разработки, в некоторых случаях также могут быть весьма значительными. Большини могут быть потери из-за подземных пожаров, особенно на сульфидных месторождениях, так как они включают в себя не только руду, которая уничтожена пожаром, но и руду в противопожарных целиках.

Иногда виды потерь объединяют в группы; так, например, П. А. Рыжов в работе [II, 23] применительно к условиям разработки месторождений цветных металлов приводит четыре группы потерь, а именно: 1) эксплуатационные потери; 2) потери от брака горнотехнических работ; 3) потери от брака геолого-маркшейдерских работ; 4) неизбежные потери. Нетрудно видеть, что эти группы включают все перечисленные выше виды потерь.

Открытая разработка

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом все виды фактических потерь подразделяют на:

- не зависящие от системы разработки;
- связанные с системой разработки (эксплуатационные потери);
- вызванные неправильным ведением горных работ.

В первую группу включают потери:

1. В охранных целиках, оставление которых технически и экономически обосновано.

2. Вследствие неблагоприятных геологических условий (резко изменяющаяся мощность, выклинивание залежи, сложный, неровный контакт, включения пустой породы и т. д.). Часто потери этого вида могут вызываться наличием геологических нарушений, на участках которых экскаваторная выемка полезного ископаемого трудноосуществима, а ручная —нерентабельна, а также на участках со сложной гипсометрией почвы и кровли залежи.

3. Вызванные неблагоприятными гидрогеологическими ус-

ловиями (в результате внезапного прорыва воды и затопления полезного ископаемого на длительное время).

Для месторождений, залегающих в слабых породах (Богословское, Коркинское), характерны потери, вызываемые оползнями.

Во вторую группу входят потери:

1. В целиках после их погашения.

2. В кровле и почве пласта, неизбежные при зачистке и выемке полезного ископаемого экскаватором, в связи с необходимостью обеспечения последнему, при данном угле падения залежи, горизонтального хода. При этом потери полезного ископаемого заключены в так называемых «треугольниках» висячего и лежачего боков залежи. Борьба за снижение этого вида потерь может идти за счет улучшения работы экскаватора и применения на зачистке соответствующего оборудования.

3. От перевалки при системах работы с перевалкой в выработанное пространство пустой породы, покрывающей залежь. Здесь потери происходят вследствие смешивания породы с осыпающимся полезным ископаемым с бортов и перелопачивания этой смеси как пустой породы в выработанное пространство. Уменьшение потерь возможно путем обеспечения предварительной и тщательной уборки осыпей полезного ископаемого перед производством свалки пустой породы.

4. Потери отбитого полезного ископаемого, появляющиеся в результате разброса при производстве взрывных работ, попадания в отвалы пустой породы в сростках и т. д.

Эксплуатационные потери следует подразделять на нормативные и фактические. Первые дают представление о потерях при правильном ведении горных работ, а вторые характеризуют состояние эксплуатационных потерь в каждый данный момент.

В потери из-за неправильного ведения горных работ входят потери:

1) в охранных целиках, превышающих технически необходимые размеры;

2) в кровле и почве пласта, превышающие нормативные;

3) в недоработанных, брошенных участках у границ выемочного поля, оставление которых не вызвано техническими причинами, например, на флангах карьера, в лежачем боку при несоблюдении запроектированного угла погашения борта карьера и т. д.;

4) от завала пустой породой;

5) от пожаров;

6) потери отбитого полезного ископаемого, обусловленные неполной зачисткой, растреской при транспортировании и т. д.

Учет потерь неразрывно связан с учетом добычи и поэтому производится одновременно с ним. Подсчет потерь, так же как и подсчет добычи, производится по замерным поступенным планам и поперечным профилям масштаба 1:500, составляемым наряду с основными маркшейдерскими планами. По мере развития горных работ замерные поступенные планы и поперечные профили непрерывно пополняются.

Потери в предохранительных целиках и вследствие неблагоприятных геологических и гидрогеологических условий определяются по планам путем умножения соответствующей площади целика или площади неотработанного участка на фактическую (установленную в процессе отработки) полную полезную мощность залежи и на объемный вес полезного ископаемого в массиве.

Потери в почве и кровле залежи определяются по замерным планам и поперечным профилям путем нанесения на них, по данным съемки, подошвы нижнего очистного уступа и подошвы нижнего вскрышного уступа и сопоставления их с фактическим положением почвы и кровли залежи, нанесенным по данным съемки и разведочного бурения. Для подсчета потерь площадь контура берется с плана, а средняя мощность оставляемого слоя получается как разность между мощностью залежи и фактически вынутой мощностью или берется по результатам непосредственного замера ее с учетом потерь при зачистке.

Потери отбитого полезного ископаемого устанавливаются путем ряда опытных замеров, из которых выводится среднее.

Потери от перевала породы при системе работ с перевалкой нижнего вскрышного уступа в выработанное пространство определяются посредством съемки уступа до и после завала его породой. Разница в объеме дает потери от перевалки. При систематическом наблюдении за этим видом потерь выводится среднее их значение на 1 пог. м полосы перевала, в результате чего подсчет этих потерь может быть сведен к измерению длины полосы перевала.

Потери от пожаров и от завала породой подсчитываются по планам и поперечным профилям.

§ 67. Об учете разубоживания руды

Оценка показателей разубоживания руды имеет большое практическое значение.

За последние годы разработан ряд методов учета разубоживания руды, среди которых следует отметить петрографический метод, успешно применяемый на ряде вольфрамовых рудников.

Применительно к условиям Тырны-Аузского вольфрамово-молибденового месторождения указанный метод представляется в следующем виде. Месторождение сложено четырьмя основными разновидностями горных пород: пироксен-гранатовыми скарнами зелено-коричневого цвета, биотитовыми роговиками темного, почти черного цвета, мраморами светло-серого цвета и лейкократовыми гранитсидами белого цвета. По внешнему виду все перечисленные породы легко отличимы друг от друга.

Поступающая на обогатительную фабрику рудная масса после среднего дробления регулярно подвергается опробованию для определения крупности питания мельниц. Эти же пробы используются для определения петрографического состава товарной руды, позволяющего оценивать степень вовлечения пустых пород в выдаваемую руду. Вес каждой пробы после ее сокращения составляет 2,5 кг. Наибольший размер частиц не превышает 10—13 мм. Сокращенная проба просеивается через сито с отверстием 7 мм и тщательно промывается водой, взвешивается и высыпается на стекло или бумагу, где вручную разбирается на отдельные разновидности пород, каждая из которых после разборки также взвешивается. Разборка пробы производится при дневном свете и занимает около 1 ч.

Таким образом, после переработки руды работники геологомаркшейдерской службы получают материалы по количественному и качественному разубоживанию товарной руды за истекшие сутки и, зная действующие добывочные участки и их характеристику, могут требовать немедленного принятия конкретных мер к уменьшению разубоживания руды.

Способ следует рекомендовать для оперативного использования в подходящих условиях как экспресс-метод, но при этом необходимо предварительное тщательное экспериментальное определение коэффициента избирательного истирания разновидностей горных пород для введения в результат подсчета необходимых поправок.

При разработке методики учета разубоживания руды следует обращать внимание на изучение трещиноватости руды и вмещающих пород. Вовлечение пустых пород в добываемую руду и потери обогащенной рудной мелочи, несомненно, связаны с характером проявления трещиноватости.

Не касаясь деталей учета, излагаемых в инструктивных материалах, рассмотрим основные положения общепринятого аналитического метода учета разубоживания и извлечения руды.

Введем принятые в работе [IV,5] обозначения:

Q_1, c_1 — запас промышленной (кондиционной) руды, t , фактически отбитой от массива в пределах выемочной единицы, и среднее содержание полезного компонента (металла) в ней, %;

Q_2, c_2 — количество рудной массы, t выданной на поверхность из данной выемочной единицы, и среднее содержание в ней полезного компонента, %;

y, c_3 — количество, t , пустой породы или некондиционных руд, вовлеченных в добычу, и среднее содержание в них металла, %;

x — количество, t , промышленной руды в добываемой рудной массе.

При этом показатель (коэффициент) b разубоживания руды найдется из выражения

$$b \% = \frac{y}{Q_2}, \quad (\text{XIII, 10})$$

а показатель (коэффициент) i_p извлечения руды определится по формуле

$$i_p \% = \frac{Q_2 - y}{Q_1} 100 = \frac{Q_2}{Q_1} (100 - b). \quad (\text{XIII, 11})$$

В тех случаях, когда y непосредственно определить нельзя, его находят исходя из уравнений баланса руды и баланса металла:

$$x + y = Q_2; \quad (\text{XIII, 12})$$

$$x \frac{c_1}{100} + y \frac{c_3}{100} = Q_2 \frac{c_2}{100}. \quad (\text{XIII, 13})$$

Решая уравнения (XIII, 12) и (XIII, 13) совместно, получим

$$y = Q_2 \frac{c_1 - c_2}{c - c_3}. \quad (\text{XIII, 14})$$

Далее, пользуясь (XIII, 10), (XIII, 11) и (XIII, 14), получим окончательные формулы для вычисления показателей разубоживания b и извлечения i_p руды:

$$b \% = \frac{c_1 - c_2}{c - c_3} 100; \quad (\text{XIII, 15})$$

$$i_p \% = \frac{Q_2 - y}{Q_1} 100 = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{c_2 - c_3}{c - c_3} 100. \quad (\text{XIII, 16})$$

Зная коэффициент извлечения i_p руды, потери Δ_p отбитой руды найдутся из выражения

$$\Delta_p \% = 100 - i_p, \%. \quad (\text{XIII, 17})$$

Извлечение i_m и потери Δ_m металла, зависящие от технологии добычи, прямо связаны с извлечением i_p и потерями Δ_p руды и выражаются формулами, аналогичными формулам (XIII, 16) и (XIII, 17).

Показатель i_m извлечения металла принимается равным отношению количества P_2 металла в выданной на поверхность кондиционной руде к количеству P_1 металла в кондиционной руде в массиве:

$$i_m \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100.$$

Но так как

$$P_2 = \frac{Q_2 c_2}{100} - \frac{y c_3}{100} \quad \text{и} \quad P_1 = \frac{Q_1 c_1}{100},$$

а y определяется выражением (XIII, 14), то окончательно извлечение металла выразится в виде

$$i_m \% = 100 \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{c_2 - c_3}{c_1 - c_3}. \quad (\text{XIII, 18})$$

Потери металла, связанные с технологией добычи, равны

$$\Delta_m \% = 100 - i_m %. \quad (\text{XIII, 19})$$

При $c_3=0$ будем иметь:
показатель разубоживания руды

$$b \% = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \cdot 100; \quad (\text{XIII, 20})$$

показатели извлечения руды и металла

$$i_p \% = i_m \% = 100 \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{c_2}{c_1}; \quad (\text{XIII, 21})$$

количество вовлекаемой в добычу руды пустой породы

$$y = Q_2 \frac{c_1 - c_2}{c_1}. \quad (\text{XIII, 22})$$

Из приведенных выше формул следует, что показатель разубоживания b понимается как величина, характеризующая степень засорения добытой рудной массы некондиционной или пустой породой. Фактически разубоживание может происходить не только за счет вовлечения в добычу некондиционных руд или пустых пород, но в какой-то мере и за счет потерь обога-

щенной рудной мелочи. Если это условие имеет место, то в уравнении баланса металла (XIII, 13) следует величину x умножить не на c_1 , а на некоторое c'_1 ($c'_1 < c_1$). Тогда выражение для y примет вид:

$$y = \frac{c'_1 - c_2}{c'_1 - c_3} Q_2 \quad (\text{XIII, 23})$$

или (при $c_3=0$)

$$y = \frac{c'_1 - c_2}{c'_1} Q_2. \quad (\text{XIII, 24})$$

Из сравнения (XIII, 23) и (XIII, 24) с (XIII, 14) и (XIII, 22) следует, что при наличии потерь обогащенной рудной мелочи y , определяемое по формулам (XIII, 14) и (XIII, 22), должно получаться завышенным. Но так как практическое определение величины c'_1 затруднено, то не представляется возможным воспользоваться формулами (XIII, 22) и (XIII, 24), т. е. для определения y приходится применять формулы (XIII, 14) и (XIII, 22).

Показатели разубоживания руды при разработке полиметаллических руд, вычисляемые по формулам (XIII, 15) и (XIII, 20), для различных компонентов должны иметь одинаковые значения, равные проценту вовлекаемых в добычу некондиционных руд или пустых пород. Однако наблюдаются расхождения между значениями b для различных компонентов руды, вычисленными по формулам (XIII, 15) и (XIII, 20), или расхождения между y , вычисленным по формулам (XIII, 14) и (XIII, 22), и y , подсчитанным непосредственно по замерам в очистном пространстве. Указанные расхождения объясняются неизбежными ошибками подсчета b и y , зависящими от ошибок определения величин c_1 , c_2 , c_3 и Q_2 (главным образом первых трех), входящих в перечисленные формулы, а также потерями обогащенной рудной мелочи. При значительных потерях последней, как уже отмечалось выше, получаются завышенные значения y , и в этом случае показатель b разубоживания, вычисленный по формулам (XIII, 15) и (XIII, 20), не характеризует степени засорения добытой руды некондиционной рудой или пустой породой. Величина b окажется выше процента засорения, так как включает в себя и потери обогащенной рудной мелочи.

Показатели i_p и i_m извлечения руды и металла будут при этом заниженными, а потери Δ_p и Δ_m руды и металла завышенными.

В связи с изложенным имели место предложения об отказе от определения b по формуле (ХIII, 15) в пользу получения его по формуле (ХIII, 22). Следует отметить, что последняя полностью отвечает понятию разубоживания руды, как снижения содержания металла в добываемой рудной массе по отношению к содержанию кондиционной руды в массиве, за счет вовлечения в добывчу некондиционных руд или пустых пород и потерь обогащенной рудной мелочи. В этом ее большое достоинство. Формулу (ХIII, 15) также можно применять и при наличии значительных потерь обогащенной рудной мелочи. Надо лишь иметь в виду, что полученный в этом случае показатель разубоживания будет отражать не только степень засорения кондиционной руды, но и потери обогащенной рудной мелочи. Важно осуществлять оценку разубоживания единообразно.

Во всех случаях когда представляется возможность непосредственного определения y по замерам в очистном пространстве, его следует непременно производить и полученные значения использовать для нахождения показателей разубоживания и извлечения руды.

Приведенные выше формулы определения показателей разубоживания и извлечения руды применимы в случаях, когда вся отбитая руда в той или иной выемочной единице выдается на поверхность и отправляется потребителю или когда учет указанных показателей производится за период полной отработки выемочной единицы. В противном случае необходимо учитывать количество и качество остатков отбитой руды на начало и конец отчетного периода.

В этих условиях рекомендуется исходить из следующих уравнений баланса руды и баланса металла:

$$Q_1 + y - \Delta_p = Q'_2 - O_1 + O_2; \quad (\text{ХIII}, 25)$$

$$Q_1 \frac{c_1}{100} + y \frac{c_3}{100} - \Delta_m = Q'_2 \frac{c'_2}{100} - O_1 \frac{c_4}{100} + O_2 \frac{c_5}{100}, \quad (\text{ХIII}, 26)$$

где O_1, c_4 — количество, t , остатков отбитой руды на начало отчетного периода и среднее содержание в ней металла, %;

O_2, c_5 — то же, на конец отчетного периода;

Q'_2, c'_2 — количество, t , руды, отправленной потребителю за отчетный период и среднее содержание в ней металла, %;

Δ_p, Δ_m — соответственно потери отбитой руды и металла, t . Остальные обозначения пояснены выше.

Относительное выражение потерь Δ_p руды и Δ_m металла (по отношению к запасам отбитой от массива кондиционной руды

и металла в ней) найдется на основании уравнений баланса руды (ХIII, 25) и баланса металла (ХIII, 26):

$$\Delta_p \% = \frac{Q_1 + y + O_1 - O_2 - Q'_2}{Q_1} 100; \quad (\text{ХIII}, 27)$$

$$\Delta_m \% = \frac{Q_1 c_1 + y c_3 + O_1 c_4 - O_2 c_5 - Q'_2 c'_2}{Q_1 c_1} 100. \quad (\text{ХIII}, 28)$$

Показатели извлечения i_p руды и i_m металла определяются из выражений:

$$i_p \% = 100 - \Delta_p, \% ; \quad (\text{ХIII}, 29)$$

$$i_m \% = 100 - \Delta_m, \% . \quad (\text{ХIII}, 30)$$

При вычислении показателя разубоживания b руды принимается выражение (ХIII, 10). Если же при этом y нельзя определить непосредственными замерами, то он вычисляется по формуле, основанной на выражениях (ХIII, 25) и (ХIII, 26), а именно:

$$y = \frac{Q'_2 (c_1 - c'_2) + O_1 (c_4 - c_1) + O_2 (c_1 - c_5)}{c_1 - c_3}. \quad (\text{ХIII}, 31)$$

На основании (ХIII, 10) и (ХIII, 31) находится выражение b :

$$b \% = \frac{Q'_2 (c_1 - c'_2) + O_1 (c_4 - c_1) + O_2 (c_1 - c_5)}{Q_1 (c_1 - c_3)} 100. \quad (\text{ХIII}, 32)$$

Преимущество формул (ХIII, 29) и (ХIII, 30) перед ранее приведенными заключается в том, что они позволяют оценивать разубоживание и извлечение руды при наличии остатков отбитой руды на начало и конец отчетного периода. Но их недостатком является значительная погрешность получаемых результатов из-за ошибок определения количества и качества остатков отбитой руды.

Необходимо указать, что формулы (ХIII, 27) — (ХIII, 30), (ХIII, 31) и (ХIII, 32) построены по типу формул (ХIII, 14) — (ХIII, 19). Если остатки отбитой руды отсутствуют или остаются неизменными, т. е. вся добываемая за отчетный период руда отправляется потребителю, то $Q'_2 = Q_2$; $c'_2 = c_2$; $O_1 (c_4 - c_1) + O_2 (c_1 - c_5) = 0$ и формула (ХIII, 32) преобразуется в (ХIII, 15).

Ввиду более низкой точности формул (ХIII, 27) — (ХIII, 30), (ХIII, 31) и (ХIII, 32) по сравнению с (ХIII, 14) — (ХIII, 19) можно ожидать, что при пользовании ими искажающее влияние

потерь обогащенной рудной мелочи вряд ли будет выходить за пределы этой точности.

Для определения коэффициента разубоживания руды с учетом остатков отбитой руды на начало и конец отчетного периода П. И. Кудряшевым [V, 8] дана следующая формула:

$$b\% = \left(1 - \frac{Tc_t - O_1c_4 + O_2c_t}{(T - O_1 + O_2)c_t}\right) 100, \quad (\text{XIII}, 33)$$

где T — вес товарной руды, t ($T = D - O_1 + O_2$); при этом D — добыча за отчетный период;

c_t — среднее содержание металла в товарной руде, %.

Если вес товарной руды (руды, отправленной потребителю) обозначить через Q'_2 , а c_1 — через c'_2 , как это сделано в формуле (XIII, 32), и, кроме того, иметь в виду, что $T - O_1 + O_2 = Q_2$, формула (XIII, 33) может быть приведена к виду:

$$b\% = \frac{Q'_2(c_1 - c'_2) + O_1(c_4 - c_1) + O_2(c_1 - c_5)}{Q_2c_1} 100. \quad (\text{XIII}, 34)$$

Сравнивая это выражение с формулой (XIII, 32), видим, что оно в отличие от последней построено по типу формулы (XIII, 20). В самом деле, если принять, что вся добываемая руда отправлена потребителю, то $Q'_2 = Q_2$; $c'_2 = c_2$; $O_1 = O_2$ (или $O_1 = O_2 = 0$), $c_4 = c_5$ и формула (XIII, 34), а, следовательно, и (XIII, 33) приводятся к виду (XIII, 20).

Потери металла П. И. Кудряшев [IV, 8] предлагает определять из выражения

$$\Delta_m\% = \frac{Q_1c_1 - Tc_t + O_1c_4 - O_2c_5 + Bc_B + x_hc_h}{Q_1c_1 + x_hc_h} 100, \quad (\text{XIII}, 35)$$

где B , c_B — количество, t , разубоживающих примесей, вовлеченные в добычу, и среднее содержание в них металла, %;

x_h , c_h — количество, t , неотбитой промышленной руды, оставленной в целиках, и среднее содержание в ней металла, %.

На основании (XIII, 35) находится показатель i_m извлечения металла по формуле (XIII, 30).

Величина B , входящая в выражение (XIII, 35), вычисляется по П. И. Кудряшеву, применительно к условиям Криворожских рудников, по эмпирической формуле

$$B = \frac{c_1 - c_t}{2(c_1 - c_B)} Q_1. \quad (\text{XIII}, 36)$$

Если количество B некондиционной руды, вовлеченной в добычу, и среднее в ее содержание в ней металла обозначить через y и c_3 , T — через Q'_2 , а c_t через c'_2 , как это сделано в формуле (XIII, 28), выражение (XIII, 35) запишется в виде

$$\Delta_m\% = \frac{Q_1c_1 + yc_3 + O_1c_4 - O_2c_5 - Q'_2c'_2 + x_hc_h}{Q_1c_1 + x_hc_h} 100. \quad (\text{XIII}, 37)$$

Из изложенного следует, что формулы (XIII, 29), а следовательно, и (XIII, 27) отличаются от формулы (XIII, 20) лишь тем, что учитывают потери металла в отбитой руде совместно с потерями металла в целиках. Следовательно, формулы (XIII, 20) и (XIII, 27) могут применяться на практике с равным основанием во всех случаях, когда не встает задача определения потерь металла в целиках.

Глава XIV

МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УЧЕТА ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 68. Общие положения

Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи полезного ископаемого на горных предприятиях относится к одному из основных видов маркшейдерских работ. Осуществляется он путем замеров горных выработок и полезного ископаемого на складах шахты.

Оперативным называется учет добычи полезного ископаемого по количеству и весу вагонеток, скипов, вагонов или по данным взвешивания полезного ископаемого, поступающего из горных выработок за смену, сутки, месяц.

Правильность оперативного учета, как выше отмечено, контролируется ежемесячными замерами остатков полезного ископаемого на складах. В этом случае вес Q добытого за отчетный период полезного ископаемого определяется из соотношения

$$Q = Q_1 - Q_2 + Q_3, \quad (\text{XIV}, 1)$$

где Q_1 — вес полезного ископаемого, отправленного по данным бухгалтерского учета потребителям (в том числе израсходованного на собственные нужды шахты), т; Q_2, Q_3 — остатки полезного ископаемого на складах, дозировочных площадках, в бункерах, а также в вагонах, погруженных, но не проведенных по расходу, соответственно на начало и конец отчетного периода (месяца), т.

Остатки полезного ископаемого на складах и в бункерах определяются маркшейдерскими замерами.

Добыча, подсчитанная по соотношению (XIV, 1), обычно принимается к учету при определении месячной добычи шахты.

Параллельно с замерами складов производятся съемка и замеры горных выработок, которые при определенных условиях позволяют определить количество добытого полезного ископаемого по отдельным выработкам и участкам.

Помимо подсчета добычи замер горных выработок преследует ряд других целей, например:

а) определение длины и фактических сечений капитальных и подготовительных выработок;

б) определение подвижания выработок с целью учета фактического объема выполненных работ и цикличности;

в) определение длины линии забоев для подсчета фронта подготовительных и очистных работ;

г) сбор и фиксирование данных, необходимых для детализации маркшейдерских планов, учета потерь полезного ископаемого, характеристики строения участка и т. д.

Порядок производства и периодичность замеров устанавливаются соответствующими ведомственными инструкциями и распоряжениями.

Подсчет добычи по соотношению (XIV, 1) при небольших остатках полезного ископаемого на складах (в размерах 3—4-суточной добычи) и при правильной форме штабелей является достаточно точным и может быть выполнен с ошибкой в пределах 0,5—1,0%. Однако этот подсчет исключает возможность контроля добычи применительно к отдельным эксплуатационным участкам.

Контроль добычи по съемкам и замерам выработок (по количеству отбитого от целика полезного ископаемого) свободен от указанного недостатка, но может дать приемлемые результаты лишь при благоприятных горнокомплексных и геологических условиях, позволяющих производить детальный замер выработанного пространства с достаточной точностью.

Цифры добычи, полученные по данным маркшейдерских съемок и замеров выработок, используются при учете движения запасов, извлечения и потерь полезного ископаемого в недрах, а в указанных выше благоприятных условиях и для контроля оперативного учета добычи по выработкам и участкам. В последнем случае можно пользоваться сопоставительной таблицей (табл. 7), в которой общая добыча по шахте (графа 4), полученная из соотношения (XIV, 1), распределяется по участкам пропорционально данным графы 3.

Подсчет добычи по замерам выработок и замеры остатков на складах производятся по состоянию на конец последней смены отчетного месяца.

Практически замеры выработок производятся в последние 1—2 дня отчетного месяца или в первый день месяца, следующего за отчетным. В этот же день обычно производят и замеры складов. В связи с этим результаты замера исправляют за счет разрыва во времени между моментом замера и концом последней смены месяца. Величины поправок определяют по данным оперативного учета добычи и отгрузки полезного ископаемого с учетом разницы между началом суток, принимаемым на шахте и на железнодорожном транспорте.

№ эксплуатационного участка шахты	Добыча по оперативному учету, т	Добыча по замерам выработок, т	Добыча по замерам складов, т	Разность
				(2) — (4), т
1	6 560	6 930	6 620	-60
2	8 920	8 810	8 420	+500
3	5 610	5 720	5 470	+140
4	10 620	10 360	9 900	+720
Итого по шахте	31 710	31 820	30 410	+1 300

Подсчет добычи производится раздельно по залежам, пластам, слоям, горизонтам и участкам с выделением в последних добычи из очистных и подготовительных выработок.

Вес добытого полезного ископаемого при маркшейдерских замерах получается умножением объема выемки по полезному ископаемому на объемный вес полезного ископаемого в массиве.

Остатки полезного ископаемого на складах и в бункерах подсчитывают по сортам. Количество остатков в тоннах получают умножением объема отвалов (или заполненной части бункеров) на объемный вес полезного ископаемого в отвалах (бункерах).

Результаты подсчета остатков на складах и добычи по замеру выработок округляются до трех значащих цифр.

В тех случаях, когда отгружаемое из штабелей полезное ископаемое подвергается обогащению, следует в подсчитанные запасы в штабелях вводить соответствующую поправку. Например, на угольных шахтах эту поправку можно ориентировочно оценить из соотношений:

$$\Delta Q = \frac{Q(0,3c_1 - c)}{100}, \quad (\text{XIV}, 2)$$

$$\Delta Q = \frac{Q(a - b)}{100}, \quad (\text{XIV}, 3)$$

где ΔQ — поправка к весу угля в штабеле за счет пород отборки при отгрузке, т;

Q — количество угля на складе;

c_1 — количество породы, отобранный при определении объемного веса угля, %;

c_2 — количество породы, отбираемой при отгрузке угля, %;

a — среднее содержание видимой породы в угле при определении среднего веса вагонеток, %;

b — допустимый процент содержания видимой породы в товарном угле, предусмотренный стандартом по качеству.

Соотношение (XIV, 2) применяется в том случае, когда определение объемного веса насыпного угля производится при помощи ящика с предварительной тщательной отборкой из пробы всей видимой породы. В этом случае поправка ΔQ , как правило, незначительна и вводить ее следует лишь тогда, когда она превышает точность подсчета полезного ископаемого в штабелях.

§ 69. Подсчет добычи по замерам выработок

Определение объема выемки полезного ископаемого при подземных разработках

Определение объема выработанных частей залежи производится по данным маркшейдерских съемок и замеров. Объем выемки полезного ископаемого в подземных выработках может быть получен:

а) умножением площади выемки на среднюю полезную вынимаемую мощность пласта или слоя (например, при разработке угольных пластов длинными столбами и сплошной системой);

б) умножением длины выработки на площадь обнажения залежи в плоскости забоя (при замерах добычи из подготовительных выработок и камер);

в) методом вертикальных или горизонтальных сечений (при выемке камерами значительной высоты и на открытых разработках).

Площадь выемки определяется по плану в соответствии с наносимым на план по данным съемки положением линии забоя на начало и конец отчетного периода или подсчитывается как произведение средней длины линии забоя на среднее подвигание ее за учетный период. Из площади выемки, вводимой в подсчет, исключается суммарная площадь целиков, оставленных в выработанном пространстве. При небольшой длине линии забоя (например, при выемке угольных пластов длинными столбами) последняя измеряется непосредственно при помощи рулетки.

Среднее значение длины линии забоя за учетный период определяется как среднее арифметическое из всех произведенных в течение учетного периода промеров.

Аналогично определяется длина линии забоя подготовительных выработок с раскоской. Подвигание линии забоя выработок в данном случае определяется промерами от маркшейдерских точек или пересечений выработок по обоим штрекам, между которыми располагается забой.

При значительной длине линии забоя последняя определяется по замерному плану, составленному по данным инструментальной съемки. В этом случае средняя длина линии забоя подсчитывается как среднее арифметическое из ряда промеров по плану или по формуле (при хорошо выдержанном подвигании)

$$L_{cp} = \frac{F}{D_{cp}}, \quad (\text{XIV}, 4)$$

где F — площадь выемки, определяемая планиметром; D_{cp} — среднее подвигание линии забоя.

Аналогично определяется среднее подвигание линии забоя. Мощность, вводимая в подсчет добычи, определяется как разность между общей нормальной мощностью в пределах кровли и почвы выработки и суммарной мощностью всех прослойков, не идущих в добычу.

Среднее значение мощности пласта определяется по ряду замеров, производимых тесьмойной рулеткой. При замерах производится зарисовка структуры пласта.

Структурные колонки наносят на планы горных выработок в соответствии с утвержденными условными обозначениями. В тех точках, где зарисовка структуры не производилась, результаты измерения надписываются на плане в виде дроби: числитель — общая вынимаемая мощность пласта; знаменатель — полезная вынимаемая мощность пласта.

Мощность хорошо выдержанных пластов измеряется ежедекадно через 15—20 м вдоль линии забоя лавы.

Для месторождений с невыдержаными мощностями пластов расстояние между точками измерения мощности выбирается в зависимости от степени ее изменчивости.

Документация замеров (применительно к разработке угольных месторождений) состоит в составлении и ведении:

1) журналов замера горных выработок (на открытых разработках — журналов замера вынутых объемов вскрыши и объемов горной массы в массиве);

2) замерных планов (на открытых разработках — замерных поступательных планов и вертикальных профильных разрезов к ним) масштаба 1:500—1:1000;

3) журналов подсчета добычи (на открытых разработках — журналов подсчета вынутых объемов вскрыши полезного ископаемого).

В журналы замера горных выработок заносятся эскизы всех очистных и подготовительных выработок, работы в которых производились в отчетном периоде. На эскизах показывают данные съемок и замеров, необходимые для детализации маркшейдерских планов и подсчета добычи (положение замерных точек, размеры сечений выработок вчерне, мощность пласта и структурные колонки, длины линий забоев, форма и размеры оставленных целиков). Журнал замера вынутых объемов вскрыши и объемов горной массы на открытых разработках представляют собой журналы тахеометрической или профильной съемки и нивелировки.

Замерные планы составляют в плоскости пласта или в проекции на горизонтальную или вертикальную плоскость, отдельно по каждой очистной выработке.

На них показывают: все пройденные выработки, положение линии очистного забоя на начало и конец месяца, форму и размеры целиков, мощность пласта, структурные колонки и т. д. Замерные планы составляют по данным журналов замера выработок. На замерных поступательных планах и разрезах показывают: пункты геодезического обоснования, бровки уступов, отметки верхних и нижних площадок уступов, контуры отработанных площадей с указанием времени выемки, положение почвы и кровли пласта и прослойков пустой породы, контуры породных отвалов, геологические нарушения.

В журналы подсчета добычи вносят эскизы выработок, все размеры, необходимые для подсчета добычи, и результаты подсчета добычи. Добычу подсчитывают по каждой выработке, участку, пласту и по всей шахте в целом с выделением добычи из подготовительных и очистных выработок. На открытых разработках в эти журналы вносят: площади выемки, высоты уступов, расстояния между профильными линиями, коэффициенты угленасыщенности и результаты подсчета выемки горной массы, полезного ископаемого и попутных пород.

Определение объема выемки при открытых разработках

Вынутые объемы горной массы, полезного ископаемого, а также вскрыши на карьерах определяют по данным тахеометрической или профильной съемки. Подсчет объемов производится методом горизонтальных или вертикальных сечений.

В первом случае

$$V = F_1 h_{cp} \quad (\text{XIV}, 5)$$

(при съемке только верхней бровки уступа) или

$$V = \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right) h_{cp} \quad (\text{XIV}, 6)$$

(при съемке верхней и нижней бровок уступа),

где F_1 — площадь выемки по отработанной части верхней площадки уступа;

F_2 — то же, нижней площадки уступа;

$h_{ср}$ — средняя высота уступа.

Величины F_1 и F_2 определяют планиметром по поуступным планам горных работ, на которых по данным съемки строят контуры отработанных площадей.

Средняя высота уступа определяется как разность средних отметок верхней и нижней площадок уступа.

При подсчете объемов по данным профильной съемки

$$V = \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right) L, \quad (\text{XIV}, 7)$$

где V — объем выработанной части уступа в пределах соседних профильных линий;

F_1, F_2 — площади выработанной части уступа на вертикальных сечениях по профильным линиям;

L — расстояние между профильными линиями.

Объем в пределах участка получается суммированием объемов в пределах соседних профильных линий.

Тахеометрическая съемка уступов производится в соответствии с требованиями «Технической инструкции по производству маркшейдерских работ».

Профильная съемка заключается в определении превышений (нивелировкой технической точности) и расстояний между характерными точками.

По полученным данным строят разрезы по профильным линиям. Масштаб сечений принимается 1:500—1:1000, а расстояние между профильными линиями 20—30 м.

При раздельной выемке пропластков полезного ископаемого и прослойков пустых пород съемка и определение вынутых объемов по формуле (XIV, 5) производятся по пропласткам, а общий объем по участку уступа получается суммированием частных объемов.

Объем отбитого полезного ископаемого определяется:

1) по объему горной массы и коэффициенту угленасыщенности (на угольных разрезах) или коэффициенту выхода полезного ископаемого;

2) непосредственным подсчетом по площадям обнажения полезного ископаемого в сечениях по профильным линиям;

3) по площадям отработанных участков уступа и средней высоте уступа;

4) по площадям отработанных участков пласта в его средней мощности на отработанном участке.

В первом случае объем полезного ископаемого получается

умножением объема вынутой горной массы на коэффициент угленасыщенности K (отношение вертикальной суммарной мощности угольных пропластков в пределах угольного уступа к общей высоте уступа). Последние определяются по зарисовкам угольного забоя или по геологическим разрезам. Коэффициенты выхода подсчитываются как отношение площадей обнажения полезного ископаемого к площади разреза уступа в пределах отработанного участка.

Во втором случае подсчет производится по формуле (XIV, 7); при этом в качестве F принимают площади сечения пропластков полезного ископаемого на разрезах по профильным линиям.

Третий случай может иметь место, когда уступ расположен по полезному ископаемому. В этом случае подсчет объема полезного ископаемого производится по формуле (XIV, 6).

Четвертый случай имеет место при выемке горизонтально залегающего пласта одним уступом.

В первом и во втором случаях объем выемки по попутным породам определяется как разность между объемом вынутой горной массы и объемом вынутого полезного ископаемого.

Определение объемного веса полезных ископаемых в целике

Для определения объемного веса полезных ископаемых (а также пород) в массиве применяют следующие способы:

- пробную вырубку;
- лабораторное определение;
- способ аналитического подсчета.

Первый способ применяется при определении объемного веса сравнительно слабых (поддающихся выемке без применения взрывчатых веществ), трещиноватых, пористых или сильно загрязненных посторонними включениями полезных ископаемых.

Второй способ дает хорошие результаты при определении сравнительно плотных и однородных по вещественному составу полезных ископаемых.

Третий способ применяется при наличии хорошо выраженной зависимости между объемным весом и содержанием в полезном ископаемом отдельных компонентов или примесей.

Способ пробной вырубки заключается в следующем. В подготовительной или очистной выработке или на уступах (при открытых разработках) после тщательного выравнивания поверхности забоя или площадки уступа производится вырубка полезного ископаемого в форме нишеобразной выемки или неглубокого шурфа с ровными взаимно-перпендикулярными стенками. Несколькими промерами определяются средняя ширина, длина и высота (глубина) выемки, а затем ее объем. Все полученные

при вырубке полезные ископаемые взвешиваются и полученный вес делится на объем выемки.

Во избежание потерь полезного ископаемого вырубка последнего ведется без применения взрывчатых веществ, а взвешивание — на весах, установленных на месте вырубки. Объем выемки должен составлять не менее 1 м³. Прослойки пустой породы, не идущие в добычу, в объем выемки и во взвешиваемое полезное ископаемое не включаются.

Для пробной вырубки выбирают сухие забои. Ошибка единичного определения объемного веса в благоприятных условиях не превосходит 2—3%, а при неблагоприятных условиях доходит до 4—5%. Ошибка среднего из ряда определений зависит от количества определений и однородности полезного ископаемого.

Для повышения точности среднего значения объемного веса следует:

- определение объемного веса производить отдельно для каждой разновидности полезного ископаемого (или породы);
- количество определений выбирать в зависимости от однородности полезного ископаемого;

в) определение объемного веса периодически повторять по мере перехода горных работ на новые участки.

Определение объемного веса каменных углей должно производиться раздельно по пластам, если содержание внутренней золы по этим пластам разнится более чем на 3—5%.

При лабораторном определении объемного веса пользуются методом гидростатического взвешивания. Для опыта отбирают образцы (куски) полезного ископаемого весом 200—250 г.

Определение объемного веса образцов непористых и не размокающих в воде производится следующим образом.

Отобранные образцы очищают при помощи щетки от мелких осколков и пыли и взвешивают на технических весах (дважды с точностью до 0,1 г). Затем для насыщения водой образцы помещают в сосуд с водой и подвергают кипячению. После кипячения образцы охлаждают, вытирают влажной тряпкой (или промокательной бумагой) и снова взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г.

Второе взвешивание насыщенных водой образцов производится в воде на гидростатических (или приспособленных для этой цели технических) весах. Взвешивание производится дважды с точностью до 0,1—0,2 г.

Объемный вес испытуемого образца вычисляется по формуле

$$R = \frac{P_1}{P_3 - P_2}, \quad (\text{XIV, 8})$$

где P_1 — вес образца до насыщения водой;
 P_3 — вес образца после насыщения водой;
 P_2 — вес образца в воде.

P_1 , P_2 , P_3 выражаются в граммах.

Образцы, слабо впитывающие влагу (например, каменный уголь), для насыщения водой необязательно кипятить, их можно погружать на 3—5 мин в воду комнатной температуры.

Определение объемного веса полезного ископаемого в сухом состоянии выполняется так же, как описано выше, с той лишь разницей, что перед взвешиванием в воздухе и насыщением водой образец высушивается при 105—115° до постоянного веса.

Определение объемного веса полезных ископаемых, сильно пористых или размокающих в воде, производится с парафинированием образцов.

В этом случае объемный вес образца находится из выражения

$$R = \frac{P_1}{P_2 - P_3 - \frac{P_2 - P_1}{\Delta}}, \quad (\text{XIV, 9})$$

где P_1 — вес образца до парафинирования;
 P_2 — вес образца после парафинирования;
 P_3 — вес запарафинированного образца в погруженном в воду состоянии;

Δ — объемный вес парафина.

Объемный вес неоднородных по составу полезных ископаемых желательно производить посредством гидростатического взвешивания больших кусков (штуфов).

В этом случае следует пользоваться десятичными весами и баком (или бочкой) с водой, устанавливаемым на десятичные весы.

Объемный вес штуфа определяется из соотношения

$$R = \frac{P_1}{P_2 - P_3}, \quad (\text{XIV, 10})$$

где P_1 — вес штуфа;
 P_3 — вес бака с водой;
 P_2 — вес бака с водой после погружения штуфа в воду (в подвешенном положении).

При наличии трещиноватых и пористых полезных ископаемых следует прибегать к предварительному замачиванию штуфа или к покрытию его тонким слоем смолы.

Определение объемного веса лабораторным способом производится на образцах, имеющих естественную влажность. Для

весьма плотных полезных ископаемых объемный вес можно принимать равным удельному весу, а последний определять пикнометром.

Для повышения точности результата определение объемного веса следует производить по большому числу образцов. По мере перехода горных работ на новые участки определения необходимо периодически повторять.

Подсчет объемного веса полезного ископаемого в залежи сложного строения производится по формуле среднего взвешенного

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_i P_i}{\Sigma P_i}, \quad (\text{XIV, 11})$$

где R_i — объемные веса отдельных разновидностей полезного ископаемого;

P_i — веса, в качестве которых принимаются мощности пропластков отдельных разновидностей полезного ископаемого или соотношения площадей обнажения их на разрезах.

Формулой (XIV, 11) можно пользоваться также при определении объемного веса горной массы в целике.

В этом случае в качестве частных значений R_i принимаются объемные веса полезного ископаемого и попутных пород, а в качестве весов P_i — мощности, соотношение площадей или объемов пропластков полезного ископаемого и попутных пород на разрезах или в пределах соседних сечений в выработке или в уступе (при открытых разработках).

Аналитический способ основан на вычислении объемного веса в зависимости от содержания тех или иных компонентов или примесей.

Характер указанной зависимости устанавливается методами теории корреляции. В настоящее время этот метод можно рекомендовать для определения объемного веса каменных и плотных (типа челябинских) бурых углей.

Не исключена возможность применения его для определения объемного веса и других полезных ископаемых.

Объемный вес угля $R_{\text{п}}$ (по угольным пропласткам) для отдельных пластов и участков пласта определяется из выражения, предложенного Д. А. Казаковским,

$$R_{\text{п}} = R_{\text{г}} + K (A_{\text{в}}^{\text{c}} - A_{\text{вр}}^{\text{c}}), \quad (\text{XIV, 12})$$

где $R_{\text{г}}$ — среднее значение объемного веса образцов чистого угля по данным гидростатического взвешивания (при естественной влажности);

K — коэффициент, характеризующий изменение объемного веса при изменении содержания внутренней (конституционной) золы на 1%;

$A_{\text{в}}^{\text{c}}$ — средний процент содержания в угле внутренней золы (средняя зольность чистых угольных пропластков) на участках, подлежащих разработке;

$A_{\text{вр}}^{\text{c}}$ — среднее содержание внутренней золы в образцах, использованных для гидростатического взвешивания, %.

Величину коэффициента K следует принимать:

- 1) для антрацитов 0,009;
- 2) для каменных углей и плотных бурых углей типа челябинских 0,007;
- 3) для бурых углей типа Подмосковного бассейна 0,010—0,012 по данным М. И. Глейзера (ВНИМИ);
- 4) для горючих сланцев 0,009—0,010.

При определении объемного веса угля в целике с учетом засорения добываемого угля породой можно пользоваться соотношением

$$R_{\text{п}} = R_{\text{г}} + K (A_{\text{в}}^{\text{c}} - A_{\text{вр}}^{\text{c}}) + \Delta R_{\text{п}}, \quad (\text{XIV, 13})$$

где $\Delta R_{\text{п}}$ — поправка за засоренность породой.

Поправка $\Delta R_{\text{п}}$ может быть определена из соотношения

$$\Delta R_{\text{п}} = \frac{R_y (R_{\text{п}} - R_y) c_{\text{п}}}{100 [(R_{\text{п}} - (R_{\text{п}} - R_y) c_{\text{п}})],} \quad (\text{XIV, 13'})$$

где R_y — объемный вес чистого угля;

$R_{\text{п}}$, $c_{\text{п}}$ — средний объемный вес пород, засоряющих уголь при добыче, и содержание породы, %.

Ввиду незначительной величины поправки $\Delta R_{\text{п}}$ последняя может быть определена ориентировочно по данным опробования товарного угля.

На угольных месторождениях $R_{\text{п}}$ близко к 2. В соответствии с этим при подземном способе разработки (где средний вес вагонеток определяется при условии удаления из угля всей видимой породы и остающейся после этого 3—4% породы, которая не поддается ручной отборке) поправку $\Delta R_{\text{п}}$ можно принимать равной 0,02.

Для определения величин $R_{\text{г}}$ и $A_{\text{вр}}^{\text{c}}$ поступают следующим образом:

а) по каждому из разрабатываемых пластов отбирают 15—20 образцов чистого угля весом 200—250 г;

б) отобранные образцы сдаются в лабораторию, где раскалываются на две неравные части. Меньшая часть образца (50—100 г) взвешивается и поступает на определение зольности, а

большая — на определение объемного веса методом гидростатического взвешивания;

в) по результатам лабораторных определений вычисляют средний объемный вес образцов R_g и среднюю зольность A_{vg}^c .

Входящая в выражения (XIV, 12) и (XIV, 13) зольность угольных пропластков A_{vg}^c берется по данным пластовых проб, отбираемых службой углеобогащения (или качества) треста в связи с разработкой стандартов зольности.

В том случае, когда содержание внутренней золы в угле различно для разных пластов и изменяется по мощности, подсчет объемного веса производится с подразделением по слоям, пластам или группам пластов.

Так как объемный вес зависит не только от содержания внутренней золы, но и от степени метаморфизма угля, соотношения (XIV, 12) — (XIV, 13) должны быть установлены отдельно для каменных, бурых углей и антрацитов.

Отбор образцов и определение их объемного веса и зольности производятся один раз при установлении величин R_g и A_{vg}^c . В дальнейшем корректирование объемного веса производится без дополнительных его определений, на основании выражений (XIV, 12) и (XIV, 13) по значениям зольности чистых угольных пачек A_{vg}^c , получаемым от службы качества или углеобогащения.

На месторождениях лимнического типа, характеризующихся значительным изменением зольности по площади пласта, пересмотр численных значений объемного веса производится по возможности ежегодно с учетом последних данных пластовых проб на участках, намеченных к разработке.

Представление о зависимости объемного веса угля от факторов, его определяющих, дает табл. 8.

Таблица 8

Изменение факторов, влияющих на объемный вес	Изменение объемного веса угля, t/m^3	
	в массиве	в разрыхленном состоянии
Изменение содержания внутренней золы на +1%	+0,007	+0,005
Изменение содержания внешней золы (породы) на +1%	+0,005	+0,003
Изменение коэффициента разрыхления на +0,01	—	-0,007
Изменение влажности на +1%	+0,011	+0,008

Примечание. Коэффициент разрыхления рядового угля при подземном способе разработки приблизительно равен 1,5, а мелкого (класса — 5 мм) — 1,6.

Объемный вес полезных ископаемых и пород зависит от их влажности. Поэтому определение объемного веса полезных ископаемых, характеризующихся значительными колебаниями влажности, следует производить с учетом влажности проб и образцов.

Впоследствии полученные данные могут быть использованы для приведения объемного веса к определенной влажности.

Для каменных углей, антрацитов и других полезных ископаемых, влажность которых не подвержена существенным колебаниям, определение объемного веса следует производить при естественной влажности, не делая приведений. При этом для отбора образцов и проб следует выбирать сухие забои.

В заключение следует отметить возможности использования в настоящее время радиоактивных изотопов для определения объемных весов полезных ископаемых в целике (массиве). Физические основы и способы определения рассматриваются в курсе «Применение изотопов».

§ 70. Замер полезного ископаемого на складах шахты

Определение объема полезного ископаемого в отвалах и бункерах

Объем заполненной части бункеров подсчитывают исходя из емкости последних и степени заполнения, определяемой замерами.

Определение объема отвалов полезных ископаемых (на открытых разработках также отвалов пустых пород) можно производить:

а) тахеометрической или (при соответствующих условиях) мензурульной съемкой;

б) способом профилей (вертикальных сечений);

в) рулеточным замером.

Для учета рельефа площадки склада заранее составляется топографический план последней (масштаб 1 : 200; сечение горизонталей 0,25 м; масштаб 1 : 500; сечение горизонталей 0,25—0,50 м).

Для построений и подсчетов при периодических замерах изготавливаются светскопии планов.

Методике и точности замеров следует уделять особое внимание при наличии больших остатков на складах.

В соответствии с этим при очередных текущих замерах следует определять лишь изменение остатков за отчетный период, принимая по прежним данным запасы тех отвалов или частей их, которые в течение отчетного периода не претерпели изменений. Генеральные замеры в этом случае производятся через бо-

лее длительные промежутки времени (например, раз в квартал или полугодие).

Тахеометрическая (а в соответствующих условиях мензульная) съемка применяется при определении объема отвалов большой емкости, имеющих сложную форму. Масштаб съемки 1 : 500.

Предельное расстояние визирования при тахеометрической съемке не должно превышать 30 м. Средняя площадь, приходящаяся на одну пикетную точку при сложной форме отвалов, не должна превышать 20 м².

При съемке в качестве опорных пунктов используются временные или постоянные точки, закладываемые на площадке склада и на поверхности отвалов или на эстакадах и других сооружениях, расположенных на складе.

Горизонтальные координаты первой группы точек определяются теодолитно-полигонной съемкой, а отметки — геометрическим нивелированием. Координаты второй группы точек определяются теодолитно-полигонной съемкой или в случае недоступности — засечками и тригонометрическим нивелированием.

Запись полевых наблюдений и абрис съемки ведутся в специальной полевой книжке.

Результаты съемки наносят на план площадки склада в виде контуров и горизонталей поверхности отвалов. Сечение горизонталей принимается в зависимости от сложности поверхности и высоты отвалов 0,25—0,50 м (при средней высоте отвала до 3 м) и 0,5—1,0 м (при средней высоте более 3 м).

Подсчет объема отвалов производится по формуле трапеции по горизонтальным или вертикальным параллельным сечениям, составляемым по совмещенному плану площадки склада и поверхности отвала. Площади горизонтальных и вертикальных сечений определяются планиметром при двукратной обводке.

При подсчете объема по способу вертикальных сечений (профилей) расстояние между сечениями принимается:

- при сложной конфигурации отвала и сравнительно небольших размерах его (до 7000—10 000 м³) — 5 м;
- при правильной вытянутой форме и больших размерах отвала (свыше 7000—10 000 м³) — 10 м.

Горизонтальный масштаб сечений принимается аналогично масштабу площадки склада, а вертикальный 1 : 100 — 1 : 200.

Способ профилей рекомендуется применять при замерах остатков полезного ископаемого на эстакадных и железнодорожных отвальных складах, характеризующихся вытянутой формой отвалов с относительно ровной поверхностью и правильной конфигурацией. Не исключается применение этого способа и при замерах отвалов на складах других типов. При определении отвалов способом профилей на площадке склада производят

разбивку поперечников в виде параллельных равноудаленных друг от друга линий, ориентированных приблизительно перпендикулярно оси отвала (штабеля), и закрепляют надежными центрами крайние (опорные) точки поперечников (с двух или, при невозможности, с одного конца каждого поперечника). Путем теодолитной съемки и геометрического нивелирования (технической точности) определяют горизонтальные координаты и отметки опорных точек, а также отметки пикетных точек на поперечниках; затем наносят опорные точки и поперечники на топографический план площадки склада и вычерчивают профили площадки склада по поперечникам, по которым и производят подсчет объема.

Для исключения ошибок исходных данных определение горизонтальных координат и отметок опорных точек поперечников производится от тех же пунктов, которые служили исходными при съемке площадки склада или нивелировке профилей по почве. Расстояние между поперечниками принимается равным 5 м.

При последующих периодических замерах производится съемка профилей отвала в направлении поперечников.

Съемка профиля включает:

а) измерение расстояний (тесьмой или стальной рулеткой) от опорной точки поперечника до подошвы отвала, длины откоса и последующих расстояний между точками перегиба по верху отвала;

б) геометрическое нивелирование всех точек профиля, между которыми производилось измерение расстояний. Исходными для нивелировки являются крайние точки поперечников и временные реперы, заранее закладываемые на поверхности отвала.

Геометрическое нивелирование отвала вдоль поперечников может быть заменено измерением вертикальных углов подвесным полукругом.

Построение разрезов отвала по поперечникам производится на заранее заготовленных профилях площадки склада по поперечникам. Это построение выполняется графически по измеренным расстояниям между точками поверхности отвала и их отметками или (в случае применения висячего полукруга) по измеренным расстояниям и углам наклона. Масштаб разрезов 1 : 100 — 1 : 200. Линии профилей и контур отвала на плане наносят в карандаше с указанием даты замера.

При подсчете объема отвала емкостью менее 7000—10 000 м³ используют все поперечники, разбитые через 5 м. При большей емкости для подсчета объема используют поперечники, расположенные через 10 м.

Объем отвала подсчитывается по формуле трапеции по пло-

щадям сечений в направлении поперечников. Площади сечений определяют планиметром при двукратной обводке.

Рулеточный замер применяется при определении объема небольших отвалов (емкостью до 1000—1500 м³), а также более крупных отвалов, имеющих правильную форму.

При пользовании этим способом следует применять висячий полукруг и нивелирные рейки, а для привязок использовать заранее известные высоты эстакад и других сооружений, расположенных на складе. Результаты замера (конфигурация отвала, замеры) наносят на копию плана площадки склада.

Подсчет кубатуры производится по формулам геометрии путем разбивки отвалов на части и уподобления этих частей геометрически правильным телам. Для отвалов различной формы можно широко пользоваться формулой призматоида:

$$V = \frac{H}{6} (F_1 + 4F_2 + F_3), \quad (\text{XIV}, 14)$$

где H — высота тела;

F_1 — площадь нижнего основания тела;

F_2 — площадь его среднего сечения (площадь сечения плоскостью, перпендикулярной H и делящей высоту H пополам);

F_3 — площадь верхнего основания (для конуса, пирамиды $F_3=0$).

Площадь среднего сечения F_2 может быть определена по плану или непосредственным замерам в натуре. Формула (XIV, 14) дает точное значение объема целого ряда правильных тел (призматоид, призма, пирамида, усеченная пирамида, конус, усеченный конус и др.).

Точность определения объема отвалов зависит от способа замеров, формы и размеров отвалов. По данным М. И. Глейзера (ВНИМИ), полученным из многократных замеров, и из сравнения результатов точных и обычных замеров среднеквадратические ошибки замера одного отвала при обычной тщательности и детальности замеров составляют при рулеточном замере (для отвалов от 400 до 7000 м³) от ±6% для отвалов правильной формы до ±14% для отвалов неправильной формы.

Инструментальные замеры (для отвалов от 3000 до 6000 м³) обеспечивают следующую точность:

- 1) при мензульной съемке в масштабе 1:200 — до ±1,5%;
- 2) при мензульной съемке в масштабе 1:500 — до ±3,5%;
- 3) при тахеометрической съемке в масштабе 1:500 до 4,0%;
- 4) при способе профилей до ±3,5%.

Исследования показывают, что ошибки объема являются случайными. Поэтому при наличии нескольких штабелей ошиб-

ка суммарных запасов убывает по квадратическому закону.

Определение объемного веса полезного ископаемого в отвалах. Определение объемного веса полезного ископаемого в отвалах может быть произведено следующими способами:

- 1) замером объема и взвешиванием полезного ископаемого (при отгрузке) в небольших штабелях правильной формы;
- 2) погрузкой полезного ископаемого в железнодорожные вагоны с последующим взвешиванием вагонов на вагонных весах и замером объема погруженного в вагоны полезного ископаемого;
- 3) выемкой полезного ископаемого из отвала (из неглубоких шурfov, ниш и т. п.) с последующим взвешиванием извлеченного полезного ископаемого и замером объема выемки;
- 4) закладкой ящика определенной кубатуры в отвал с последующим извлечением ящика и взвешиванием заполнившего его полезного ископаемого;
- 5) взвешиванием на десятичных весах полезного ископаемого, насыпанного в ящик, объем которого точно определен.

На величину объемного веса оказывают влияние следующие факторы:

- 1) качественный состав полезного ископаемого (например, содержание полезных компонентов в руде, содержание внутренней золы в угле и т. п.);
- 2) плотность вещества полезного ископаемого;
- 3) содержание в полезном ископаемом различных примесей (например, породы);
- 4) крупность кусков полезного ископаемого в отвале (определенная величину коэффициента разрыхления);
- 5) влажность полезного ископаемого;
- 6) длительность хранения полезного ископаемого в отвалах и размер отвалов (определяющие степень уплотнения отвалов).

Наиболее совершенными способами определения объемного веса нужно считать такие, которые наряду с простотой и небольшой затратой труда гарантируют достаточную точность единичных определений и учитывают изменения качественного состава полезного ископаемого, содержания примесей, крупности и влажности полезного ископаемого в различных точках отвала, а также степень уплотнения полезного ископаемого в отвалах с течением времени.

Первый из перечисленных выше способов является довольно трудоемким и кроме того, в нем лишь частично учитываются уплотнение полезного ископаемого с течением времени и возможные колебания крупности и вещественного состава полезного ископаемого в различных штабелях.

Второй способ не всегда легко осуществим. Наряду с этим остается неизвестным, в какой мере здесь учитываются воз-

можные изменения состава, крупности полезного ископаемого и уплотнение отвалов. Такими же недостатками (помимо трудности точного замера кубатуры выемки) обладает и третий способ.

Положительной стороной первого и второго способов является сравнительно высокая точность единичного определения объемного веса (вследствие большой массы взвешиваемого полезного ископаемого).

Четвертый способ позволяет до некоторой степени учитывать уплотнение полезного ископаемого в отвале, но не обеспечивает полного учета возможных колебаний качественного состава и крупности полезного ископаемого в различных точках отвала.

Пятый способ является наиболее простым и легко выполнимым. Однако он может дать благоприятные результаты лишь при соответствующей организации определений и при наличии полезного ископаемого, достаточно измельченного. Помимо этого, возникает необходимость ведения поправки за счет уплотнения отвалов.

Для учета возможных изменений качественного состава и крупности полезного ископаемого в различных точках отвала и уменьшения ошибок за счет неточного определения веса и объема при всех способах определения объемного веса необходимо стремиться к получению возможно большего количества данных, соответствующих различным условиям. Во избежание искажающего влияния влажности определение объемного веса следует производить в сухую погоду или приводить результаты определений к определенной влажности (например, к средней влажности отгружаемого полезного ископаемого) по формуле

$$R' = R \frac{100 + w'}{100 + w}, \quad (\text{XIV}, 15)$$

где w , w' — абсолютная влажность, %;

R' — объемный вес при влажности w' ;

R — объемный вес при влажности w .

При определении объемного веса полезного ископаемого, насыпанного в ящик, необходимо стремиться к тому, чтобы отобранная проба (по крупности и качественному составу) отвечала средней характеристике полезного ископаемого в отвале (или отвалах). Ввиду этого полезное ископаемое, насыпаемое в ящик, следует отбирать в возможно большем числе точек, равномерно расположенных по поверхности отвала.

Так как на поверхности отвала полезное ископаемое вследствие окисления и выветривания подвержено измельчению и разубоживанию, отбор пробы, насыпаемой в ящик, следует

производить с глубины до 0,5—1,0 м (в зависимости от срока хранения и характера полезного ископаемого).

Во избежание искажения естественного коэффициента разрыхления вследствие ограниченных размеров ящика необходимо:

а) изготавливать ящик таким образом, чтобы внутри него не было выступающих планок;

б) при насыпке укладывать мелкое полезное ископаемое к стенкам ящика, а в середину — более крупные куски в перемешку с мелочью;

в) тщательно выравнивать поверхность полезного ископаемого на уровне краев ящика посредством деревянной рейки.

В ящик полезное ископаемое насыпается после отборки породы и взвешивания отдельными порциями в деревянных носилках с бортами. Для взвешивания необходимо применять хорошо выверенные десятичные весы. Объем ящика определяется по ряду промеров высоты, длины и ширины выверенной металлической линейкой или стальной рулеткой. Окончательное значение объемного веса при каждом определении получается делением веса полезного ископаемого на кубатуру ящика.

Размер ящика выбирается в зависимости от крупности кусков полезного ископаемого от $1 \times 1 \times 1$ м (например, для рядового угля) до $2 \times 2 \times 1$ м (например, для крупного грохоченого угля).

Для контроля правильности полученного результата и повышения точности последнего необходимо производить несколько определений объемного веса для каждой разновидности полезного ископаемого. В полученное значение объемного веса следует вводить поправку за уплотнение отвалов.

Величина поправки для различных видов и сортов полезных ископаемых определяется эмпирически — наблюдением за усадкой отвалов при различных сроках хранения (нивелировкой заложенных на поверхности отвалов — реперов). Для каменного угля эта поправка может быть ориентировочно определена по табл. 9.

Таблица 9

Первоначальная крупность угля, заложенного в отвал (крупность не измененного выветриванием угля)	Продолжительность хранения угля в отвале	Поправка за уплотнение (числитель при сухой погоде, знаменатель при дождливой погоде или снеготаянии) t/m^3
Уголь рядовой (при подземной разработке)	До 1 месяца	0,02/0,04
	2 месяцев	0,03/0,05
	6	0,04/0,06
	Свыше года	0,08

Необходимо иметь в виду зависимость объемного веса угля от крупности, зольности и типа углей.

В связи с этим следует:

- объемный вес сортировочного угля определять раздельно для различных классов крупности;
- определение объемного веса антрацитов, бурых и каменных углей производить раздельно;
- на месторождениях, характеризующихся различной зольностью отдельных пластов, объемный вес определять применительно к отдельным пластам (если средняя зольность чистых угольных пропластков различается в пределах более 3—5% и если складирование углей различных пластов производится раздельно).

Перечисленные требования следует учитывать также и при определении объемного веса руд, характеризующихся различными крупностью и содержанием примесей и компонентов, влияющих на величину объемного веса.

Определение объемного веса необходимо периодически повторять (в зависимости от изменчивости вещественного состава полезного ископаемого, поступающего из шахты или рудника).

Ориентировочно объемный вес полезного ископаемого в разрыхленном состоянии (R_n) можно определить из соотношения

$$R_n = \frac{R_u}{K_p}, \quad (\text{XIV, 16})$$

где R_u — объемный вес полезного ископаемого в целике;

K_p — коэффициент разрыхления (может быть найден из соотношения объемов, занимаемых полезным ископаемым в целике и после отбойки от целика).

На угольных шахтах и карьерах соотношение (XIV, 16) можно применять для контроля результатов непосредственного определения.

Такой способ определения R_n является основным при замерах остатков отбитого полезного ископаемого в забоях на открытых разработках, где непосредственное определение R_n затруднено. В этом случае коэффициент K_p определяется путем сопоставления объемов горной массы или полезного ископаемого в целике и в развале, образовавшемся после проведения взрывных работ. Определение объемов при этом производится по данным маркшейдерских съемок.

Для определения объемного веса полезного ископаемого на складах могут быть в отдельных случаях использованы радиоактивные изотопы.

ЛИТЕРАТУРА К IV—V РАЗДЕЛАМ

- Бауман В. И. К вопросу об определении запасов месторождений. «Горный журнал», т. IV, 1908.
- Баранов П. В., Буткевич Т. В. Петрографический метод опре-

деления разубоживания руды. Тр. Всесоюз. науч.-техн. совещания по маркшейдерскому делу. Углетехиздат, 1958.

3. Гудков В. М. Определение разубоживания при разработке полиметаллических месторождений. Тр. Всесоюз. науч.-техн. совещания по маркшейдерскому делу. Углетехиздат, 1958.

4. Изаксон С. С. Методика подсчета запасов угольных месторождений. Госгортехиздат, 1960.

5. Казаковский Д. А. О теоретических основах учета разубоживания извлечения руды и полезных компонентов. XLI сборник ВНИМИ. Изд. ВНИМИ, 1961.

6. Казаковский Д. А. Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов. Углетехиздат, 1948.

7. Классификация запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР, М., 1960.

8. Кудряшев П. И. Определение потерь и разубоживания руды. «Горное дело» (Известия вузов), 1958, № 3.

9. Мининг С. Э. Страгическое решение задачи определения общей ошибки запасов месторождения. XXXI сборник ВНИМИ, Углетехиздат, 1957.

10. Скиданенко К. К. К вопросу об оценке точности определения запасов месторождений по методу общих цифр. Известия вузов. «Геология и разведка», 1959, № 7.

11. Смирнов В. И., Прокофьев А. П. и др. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1960.

12. Справочник по маркшейдерскому делу. Углетехиздат, 1955.

13. Справочник маркшейдера, часть II. Металлургиздат, 1953.

14. Стешенко А. И. и Гельман Д. З. Методика установления норм подготовленной и готовой к выемке руды. Сборник трудов ДПИ. «Маркшейдерское дело», вып. IV, Металлургиздат, 1958.

15. Золотарев А. С. Подсчет запасов полезного ископаемого в блоке между сходящимися профилями. ОНТИ, 1936.

16. Журавский А. М. Общие методы подсчета запасов рудных месторождений. Труды ГГРУ ВСНХ СССР, вып. 116, 1931.

17. Казаковский Д. А. О маркшейдерском контроле добычи посредством замера складов. Сборник ВНИМИ ХУШ, 1949.

18. Казаковский Д. А. Ошибка аналогии при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых. Изв. высш. уч. заведений. Горный журнал № 1, 1962.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технический прогресс и быстро развивающаяся горнодобывающая промышленность предъявляют все новые, более высокие требования к горной геометрии и геометризации месторождений полезных ископаемых.

Удовлетворить эти требования невозможно без дальнейшей разработки и развития теории этой дисциплины и методов решения горногеометрических задач при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых.

Узловыми вопросами дальнейшего развития горной геометрии являются:

1. Усовершенствование и разработка рациональных методов и средств изображения горных выработок и структур в сложных горногеологических условиях. Наряду с изысканиями новых методов следует обратить внимание на возможность комбинированного использования применяемых способов изображения с целью достижения полноты характеристики изображаемых показателей.

Для уменьшения трудоемкости графических работ необходима разработка новых приборов, механизирующих воспроизведение чертежей. Наличие разнообразных прозрачных материалов (пластиков) позволяет широко использовать для изображения сложных узлов горных выработок и геологических структур прозрачные модели.

2. Усовершенствование и разработка методов геометризации складчатых и разрывных форм нарушений, основанных на закономерностях осадконакопления и образования структур. Разработка нарушенных участков месторождений требует дальнейшего изучения проявлений тектонических разрывов в разных геологических условиях. При этом в качестве основной задачи исследования является разработка методики расшифровки разрывных структур, отыскания смещенной части залежи, а также прогнозирования нарушений на соседние участки или залежи.

3. Изучение трещиноватости горного массива и отображение ее на маркшейдерских планах, имеющие большое теоретическое и практическое значение в связи с проблемой устойчивости массива.

4. Разработка методов геометризации физико-химических и

других показателей, характеризующих геологические и горнотехнические условия залежи, установление генетической взаимосвязи как между отдельными показателями, так и формой залежи.

5. Создание методики эксплуатационной геометризации при разработке различных типов месторождений. Оценка по горнодобывающим данным точности горногеометрических гравификтов, составляемых по данным предварительной и детальной разведки.

6. Совершенствование существующих и изыскание новых методов подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки при разработке рудных месторождений и дальнейшее исследование вопросов, связанных с характеристикой разведенности и точности подсчета запасов.

Требуют дальнейшего изучения такие вопросы охраны недр, как учет потерь и разубоживания, а также маркшейдерский контроль добычи, особенно на рудных месторождениях, в сложных горногеологических условиях.

Приведенные вопросы не исчерпывают содержания проблем горной геометрии, но дают представление об их объеме и разнообразии.

Успешное их решение и инженерное использование достигнутых результатов связано с изучением геологической обстановки и условий эксплуатации месторождений. Следовательно, необходимо обеспечивать комплексную разработку вопросов с участием геологов и специалистов по разработке месторождений.

Студенты должны хорошо ознакомиться с состоянием и перспективами развития изучаемого предмета и путем посильного участия в выполнении научно-исследовательских работ приобрести соответствующие навыки. Без этого немыслимо формирование инженера-новатора с присущим ему творческим подходом к решению инженерных задач, выдвигаемых производством.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	2
Предисловие к третьему изданию	3
Введение	5
<i>Раздел первый</i>	
ПРОЕКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГОРНОЙ ГЕОМЕТРИИ	
Глава I. Проекции с числовыми отметками	13
§ 1. Общие сведения	17
§ 2. Проекции точек, прямых и плоскостей	24
§ 3. Метод совмещения	28
§ 4. Проекции многогранников	29
§ 5. О поверхностях	31
§ 6. Достоинства и недостатки метода проекций с числовыми отметками	31
Глава II. Аксонометрические и аффинные проекции	33
§ 7. Общие сведения	36
§ 8. Аксонометрические проекции	43
§ 9. Аффинные проекции	50
Глава III. Линейные и стереографические проекции	52
§ 10. Общие сведения	52
§ 11. Линейная и гномоническая проекции	59
§ 12. Стереографические проекции	60
<i>Раздел второй</i>	
ГЕОМЕТРИЯ ЗАЛЕЖИ И ЗАДАНИЯ ВЫРАБОТОК	
А. ПЛОСКОСТНАЯ И СКЛАДЧАТАЯ ФОРМА ЗАЛЕГАНИЯ	76
Глава IV. Плоскостная форма залегания	76
§ 13. Геометрические параметры залежи	79
§ 14. Инклинометрическая съемка скважин	88
§ 15. Определение элементов залегания	98
§ 16. Определение мощности пласта и построение разрезов	105
§ 17. Глубина залегания	107
§ 18. Задание выработок	109
§ 19. Изображение плоскостных форм залегания	113
Глава V. Складчатая форма залегания	113
§ 20. Общие положения	123
§ 21. Построение гипсометрического плана пласта	136
§ 22. О других способах изображения складчатой поверхности пласта	136
<i>Б. ГЕОМЕТРИЯ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУР</i>	
Глава VI. Об образовании разрывов и их влиянии на горные работы.	139
§ 23. Общие сведения	143
§ 24. Влияние разрывных нарушений на горные работы	147
Глава VII. Смещения (дизъюнктивы)	155
§ 25. Элементы смещения	155
§ 26. Геометрические параметры смещений	158
§ 27. Геометрическая классификация смещений	158

§ 28. Геометрические задачи, решаемые при разработке нарушенных участков	166
§ 29. О характере наблюдаемых в природе смещений	198
Глава VIII. Трещиноватость горного массива	208
§ 30. Характеристики и группировки трещин	—
§ 31. Геометрические показатели трещиноватости. Производство наблюдений	214
§ 32. Обработка наблюдений и документация трещиноватости	219
§ 33. Об учете трещиноватости массива при решении некоторых горных задач	230

*Раздел третий***ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Глава IX. Анализ скрытых и условных топографических поверхностей	240
§ 34. Общие положения	240
§ 35. Линейные и контурные показатели	—
§ 36. Об ошибке метода общих цифр (интервальной и ячеистой суммы)	250
§ 37. Изменчивость и изученность показателя залежи	257
§ 38. Сглаживание (обобщение) результатов наблюдений	259
§ 39. О построении скрытой или условной топографической поверхности	270
Глава X. Структурные и качественные графики	281
§ 40. Общие положения	290
§ 41. Структурные и качественные графики	—
§ 42. Некоторые примеры геометризации месторождений полезных ископаемых	293
§ 43. Использование горногеометрических графиков в процессе разведки	306
§ 44. Геометрический анализ работы откатки по штреку при выборе места заложения ствола шахты	315
§ 45. Использование структурных и качественных графиков при планировании добычи руды заданного состава	318
	323

*Раздел четвертый***ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Глава XI. Общие вопросы подсчета запасов	328
§ 46. Общие положения	328
§ 47. Определение исходных показателей залежи	—
§ 48. Оконтуривание залежи	333
§ 49. Определение площадей	337
§ 50. Определение объемов	343
Глава XII. Способы подсчета запасов	348
§ 51. Способ среднего арифметического	357
§ 52. Способ геологических блоков	—
§ 53. Способ эксплуатационных блоков	359
§ 54. Способ многоугольников (ближайшего района)	360
§ 55. Способ треугольников	365
§ 56. Способ вертикальных (параллельных и сходящихся) разрезов	371
§ 57. Способ изолиний	373
§ 58. Способы подсчета запасов пластовых месторождений	382
§ 59. О комбинированных и других способах подсчета запасов	383
§ 60. Выбор способа подсчета	385
§ 61. Об ошибках подсчета запасов	386
	388

<i>Раздел пятый</i>	
УЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ, ПОТЕРЬ, РАЗУБОЖИВАНИЯ И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО	
Глава XIII. Учет движения запасов, потерь и разубоживания	393
§ 62. Общие положения	—
§ 63. Классификация промышленных запасов по степени подготовленности к выемке	394
§ 64. О нормировании подготовленных и готовых к выемке запасов	409
§ 65. Учет состояния и движения балансовых и промышленных запасов предприятия	413
§ 66. Классификация и учет потерь	415
§ 67. Об учете разубоживания руды	423
Глава XIV. Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи полезных ископаемых	432
§ 68. Общие положения	—
§ 69. Подсчет добычи по замерам выработок	435
§ 70. Замер полезного ископаемого на складах шахты	445
Заключение	454

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
61	4 сверху	$\beta = \beta'$	$\beta = \beta_1$
174	4 снизу	разреза	разрыва
269	4 сверху	K — красные числа;	K — красные числа, здесь $K = (\varepsilon_i + \varepsilon_{i+1}) - (\varepsilon'_i + \varepsilon'_{i+1})$
268	1, 2 снизу (ф. IX, 35)	✓	$\pm\sqrt{ }$
283	3 снизу	На рис. 175	На рис. 172
356	11 сверху	$\frac{100}{1000}$	$\frac{1}{1000}$
391	8 сверху (ф. XII, 29)	✓	$\pm\sqrt{ }$
425	11 сверху	$b \% = \frac{y}{Q_2}$	$b \% = \frac{y}{Q_2} \cdot 100$
427	13 сверху	(XIII, 22)	(XIII, 23)
430	6 сверху, (ф. XIII, 33) в знаменателе	c_T	c_1
434	9 снизу	из соотношений	из соотношений (см. IV — V, 17):
442	11 сверху	$R_{общ} = \frac{R_i P_i}{\Sigma P_i}$	$R_{общ} = \frac{\Sigma R_i P_i}{\Sigma P_i}$

И. Н. Ушаков. Горная геометрия.

Ушаков Иван Николаевич
ГОРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ (ГЕОМЕТРИЯ НЕДР)

Отв. редактор В. А. Букринский
Техн. редактор А. Сабитов
Редактор издательства А. Х. Славоросов
Корректор Л. М. Каменецкий

Сдано в набор 24/II 1962 г.
Подписано в печать 9/V 1962 г.
Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Печ. л. 28,75
Уч.-изд. л. 26,94 Тираж 4500 экз. Т-03797
Изд. № 143 Инд. 1/1а Цена 94 к. +20 к. переплет
Заказ № 112
Государственное научно-техническое издательство
литературы по горному делу
ГОСГОРТЕХИЗДАТ
Москва, Грузинский вал. д. 35

Московская типография Госгортехиздата,
Москва, Ж-88, Южно-портовый 1-й пр., 17.