Российский Государственный
Геологоразведочный Университет

К.Н. Трубецкой
Ю.П. Галченко

Учебник

ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Горное дело»

Москва
Академический Проект
2010

УДК 622
ББК 33
Т 77

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ:

Трубецкой К.Н. — заведующий кафедрой Российского государственного геологоразведочного университета, профессор, доктор технических наук, академик Российской академии наук;
Галченко Ю.П. — профессор Российского государственного геологоразведочного университета, доктор технических наук, член-корреспондент Российской экологической академии

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Демидов Ю.В. — советник генерального директора ОАО «Апатит», профессор, доктор технических наук;
Хронин В.В. — профессор Московского государственного горного университета, кандидат технических наук;
Кафедра «Разработка месторождений цветных, редких и радиоактивных металлов» Российского государственного геологоразведочного университета

Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.

Т 77 Основы горного дела: Учебник / Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. — М.: Академический Проект, 2010. — 231 с. + 32 с. цв. вкл. — (Фундаментальный учебник).

ISBN 978-5-8291-1123-6

Учебник подготовлен в соответствии с Государственным образовательным стандартом по курсу «Основы горного дела». Рассмотрена история и логика развития горного дела, его техники и технологии, а также горных наук. Приведена характеристика минерально-сырьевого комплекса и его значения для современной цивилизации. Изложены основные представления о горном деле применительно к разработке рудных и россыпных месторождений, угля и нерудных полезных ископаемых. Рассмотрены технологические основы проведения горных выработок и добычи полезных ископаемых. Даны общие представления о разрушении горных пород. Подробно описаны основные технологические процессы и системы разработки месторождений полезных ископаемых открытым, подземным и комбинированным способами. Дана характеристика технологических процессов первичной переработки и обогащения полезных ископаемых. Приведена общая информация о специальных методах разработки твердых ископаемых, а также месторождений нефти и газа.

Учебник предназначен для студентов горных вузов, обучающихся по профилю подготовки бакалавров, специалистов — горных инженеров и магистров в области горного дела, геологии, маркшейдерии, обогащения полезных ископаемых и горной экологии.

УДК 622
ББК 33

© Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., 2009
© Оригинал-макет, оформление.
Академический Проект, 2010

ISBN 978-5-8291-1123-6

ПРЕДИСЛОВИЕ

Накапливавшийся тысячелетиями потенциал знаний привел к фантастическому взлету техники и росту производительных сил. Дав человечеству совершенно недоступные ранее жизненные блага, эти новые возможности поставили нас перед лицом трудностей, о наличии которых совсем недавно нельзя было и предполагать.

Горное дело относится к одному из основных видов человеческой деятельности, обеспечивающих существование и уровень развития цивилизации. Горное дело как область промышленного производства охватывает разведку месторождений полезных ископаемых, их разработку, первичную переработку добываемого минерального сырья, строительство горных предприятий и подземных сооружений различного назначения; оно включает в себя все виды техногенного воздействия на земную кору, а также горные науки, изучающие закономерности преобразования и сохранения земных недр. И не случайно периодизация древней истории построена по видам добываемых из недр материалов, из которых в тот или иной период преимущественно изготовлялись орудия труда: каменный, бронзовый и железный века.

В течение почти двух миллионов лет основным материалом для человека служил камень. В конце каменного века (4—3-е тыс. до н. э.) человек перешел к использованию меди и золота. В 3—2-м тыс. до н. э. была освоена плавка меди и ее сплава — бронзы. В середине 2-го тыс. до н. э. на смену бронзе пришло железо, и его эпоха продолжается до сих пор.

Дисциплина «Основы горного дела» является одной из первых дисциплин, формирующих профиль подготовки специалистов по таким направлениям, как горное дело, маркшейдерия и обогащение полезных ископаемых. Задачей ее изучения является получение знаний об основных терминах, понятиях и принципах добычи различных полезных ископаемых подземным, открытым, комбинированным, физико-химическими и другими способами и геотехнологиями.

Цели изучения дисциплины:

— овладение горной терминологией и комплексом понятий, формирующих область деятельности человека при освоении и сохранении земных недр;

— освоение принципов ведения и обеспечения горных работ;

— освоение принципов современной технологии добычи твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых;

— овладение комплексом понятий о качестве добываемого полезного ископаемого и способами его улучшения.

Изучение дисциплины базируется на основе знаний отдельных дисциплин гуманитарного, социально-экономического, естественного и общетехнического

циклов. Основными из них являются: геология, история горного дела, начертательная геометрия, экология, обеспечение жизнедеятельности и др. В свою очередь, «Основы горного дела» являются базой для изучения общетехнических и специальных дисциплин.

В учебнике рассматриваются методы разработки рудных и россыпных месторождений, а также некоторые способы добычи нерудных полезных ископаемых и угля, имеющих общую технологию с разработкой рудных месторождений (например, бестранспортная система разработки одинаково приемлема для разработки угля и пластовых месторождений железных и других руд). Горное дело тесно связано с геологией и минералогией, поисками и разведкой, а также с первичной переработкой (обогащением) полезных ископаемых. Поэтому необходимые сведения по этим предметам также включены в настоящий учебник.

Техногенное разрушение литосферы с целью извлечения необходимых минеральных и энергетических ресурсов постепенно обретает глобальные масштабы как по объему извлекаемого материала, так и по объему отходов, размещаемых на земной поверхности. Поэтому в учебнике достаточно подробно даны общие представления о современных проблемах, целях, задачах и методах горной экологии.

Учебник создавался на основе курса лекций «Основы горного дела», читаемого авторами в РГГРУ с 2003 г. В нем также использованы результаты опубликованных собственных исследований авторов, получившие признание специалистов.

Содержание учебника соответствует требованиям действующего Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки «Горное дело».

Глава 1

ДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И РАЗВИТИЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ

1.1. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ТЕХНОКРАТИЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Основополагающее место в общем развитии цивилизации занимает минерально-сырьевой комплекс. Человечество ежегодно извлекает из недр Земли многие сотни млиардов тонн различных руд, горючих ископаемых и строительных материалов. В результате переработки этого сырья выплавляется около 800 млн т различных металлов, рассеивается на полях более 400 млн т минеральных удобрений и до 4 млн т различных ядохимикатов. Индустрии добычи твердых полезных ископаемых принадлежит первое место в образовании и накоплении на поверхности планеты твердых отходов, количество которых составляет не менее 65 — 70 % от общего объема добычи. В недрах Земли образовалось огромное количество полостей и пустот в виде отработанных шахт и карьеров. В результате изменяется сбалансированное за предшествующие эпохи напряженное состояние массивов, нарушается режим подземных и поверхностных вод, деформируется и сама земная поверхность.

Нарастающий технологический прессинг на природные экосистемы приводит к их быстрому и часто необратимому разрушению, которое по своим масштабам постепенно принимает глобальный характер. При этом парадоксальность ситуации заключается в том, что прогрессирующая деградация природы происходит на фоне быстро растущих расходов человечества на ее охрану; при этом энергетические ресурсы, необходимые для сохранения природы на современном уровне развития, могут быть получены только путем техногенного разрушения фундамента этой природы — литосферы Земли.

И тем не менее получение полезных ископаемых является сегодня и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью для самого факта существования человека. Поэтому от того, как в наше время будет организовано это производство, какие ограничения и допуски будут наложены на его развитие, в широком смысле зависит сохранение или необратимое разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологические периоды развития планеты.

Исходный биологический принцип существования живой материи состоит в непрерывном поглощении низкоэнтропийной энергии солнечного света. Этот процесс дает возможность поддержания и увеличения упорядоченности и сложности на планете с помощью фотосинтеза и других процессов жизнедеятельности. Солнечная энергия поступает на поверхность Земли в определенном объеме, и за миллионы лет эволюции биосфера приспособилась к использованию этого фиксированного количества солнечной энергии. На протяжении последних столетий

(а это лишь мгновение в истории биосферы) человек перестал довольствоваться годовым поступлением солнечной энергии и начал со все нарастающей интенсивностью проживать земные запасы низкоэнтропийного материала (минерального топлива и сырья), которые, по сути, также представляют собой часть полученной в прежние эпохи от Солнца энергии. Но, в отличие от прямой солнечной энергии, их можно использовать с любой необходимой в данный момент для развития общества интенсивностью. Поэтому сегодня минеральное сырье, извлекаемое из недр Земли, является основой существования технократической цивилизации. Практически весь антропогенный материальный мир построен и функционирует за счет результатов прямого или косвенного разрушения определенных участков литосферы и последующего использования полученного при этом вещества. По последним данным, минеральное сырье дает исходные материалы и энергетическую основу производству 70 % всей номенклатуры конечной продукции человеческого общества.

Экономическая система человечества состоит из людей, средств производства и материальных благ. На протяжении последних столетий ее наиболее яркой чертой был огромный количественный рост. Население росло темпами, далеко превышающими известные ранее в истории, и это беспрецедентное увеличение стало возможным только в условиях сопровождающего его еще более быстрого расширения производства материальных благ. Население мира увеличивалось примерно на 2 % в год, удваиваясь каждые 35 лет, мировое потребление товаров — на 4 % в год с удвоением каждые 17 — 18 лет, а добыча полезных ископаемых на каждого жителя Земли — на 9,98 % в год с удвоением каждые 9 — 10 лет (табл. 1.1, рис. 1.1 и 1.2).

Таблица 1.1

Динамика удельной добычи минерального сырья и народонаселения планеты

Показатели	Ед. изм.	Годы						
		1900	1950	1970	1980	1986	1999	2006
Народонаселение	млрд чел.	1,6	2,5	3,7	4,4	4,9	6,0	6,7
Годовая добыча вещества литосферы, в т. ч.:	т/чел. × год	10,1	17,8	40,6	79,8	113,2	148,0	164,0
полезного ископаемого		4,7	8,2	15,6	27,5	36,5	46,5	52,2
пустой породы		5,4	9,6	24,9	52,25	76,55	101,5	111,8

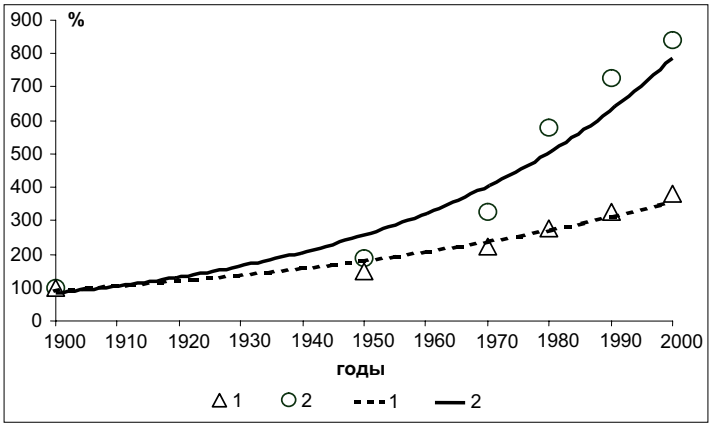


Рис. 1.1. Динамика роста народонаселения Земли и удельной добычи минерального сырья:
1 — рост численности населения; 2 — рост добычи сырья на человека в год

Рассматривая экологические последствия этого факта, следует отметить, что в подавляющем большин-стве случаев добыча единицы объема полезного ископаемого (особенно твердого) сопровождается извлечением на поверхность значительно большего объема пустой породы. Поэтому масштаб общего разрушения литосферы возрастает значительно быстрее, чем добыча собственно полезных ископаемых.

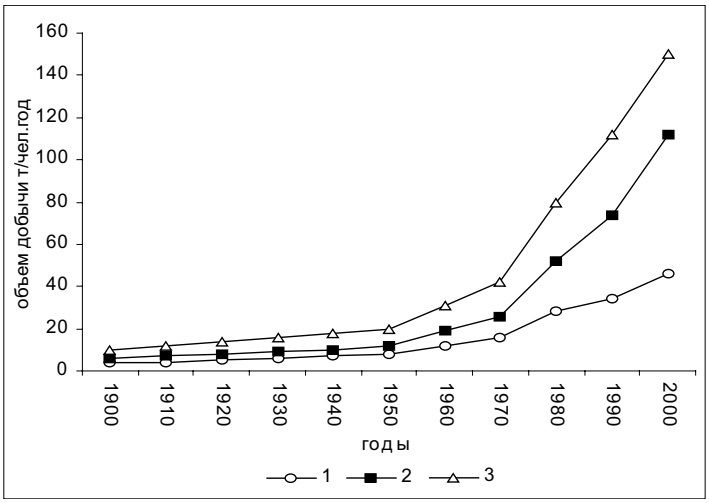


Рис. 1.2. Изменение масштабов техногенного разрушения литосферы:

1 — объем добычи полезных ископаемых; 2 — объем добычи пустых пород; 3 — объем добычи горной массы

Термины «производство» и «потребление» не совсем точны для описания этого процесса. Фактически человек не производит и не уничтожает вещество и энергию, он только переводит их из одного состояния в другое. Человек преобразует сырье в товары, а товары — в ту или иную форму отходов. Для того чтобы численность людей и количество товаров постоянно увеличивались, требуется все больший объем сырья, трансформируемого в товары и в конечном итоге — в отходы.

Отходы невозможно снова превратить в сырье иначе как путем расхода энергии, которая неизбежно перейдет в отходящее тепло, непригодное для вторичного использования. Природа может регенерировать некоторые виды отходов, но это занимает время и создает опасность перегрузки естественных систем. Возможности регенерации ограничены процессом рассеяния материала и энергии, или вторым законом термодинамики. Вещество может восстанавливаться, но всегда с коэффициентом значительно меньше 100 %, а энергия вообще невозобновима. Именно поэтому количественное и качественное развитие цивилизации всегда будет требовать того или иного уровня добычи из недр Земли минерального сырья и прежде всего — сырья энергетического.

Приведенные на рис. 1.1 и 1.2 соотношения темпов роста народонаселения Земли и приходящегося на одного человека объема добычи минеральных ресурсов свидетельствуют прежде всего об экстенсивности процессов обеспечения развития общества этими ресурсами.

Общее количество вещества, ежегодно извлекаемого из литосферы, а также распределение его по видам полезных ископаемых приведено в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Объемы и структура добычи полезных ископаемых (ПИ)

Вид сырья	Доля в общей добыче, %	Годовой объем добычи, млрд т		
		полезных ископаемых	пустых пород	горной массы
Рудное, в т. ч.:	**14,6**	**41**	**274,0**	**315,0**
– черные металлы	9,9	27,9	186,3	214,2
– цветные металлы	4,7	13,1	87,7	100,8
Нерудное, в т. ч.:	**62,9**	**176**	**202,4**	**378,4**
– стройматериалы	58,1	163	179,3	342,3
Энергетическое, в т. ч.:	**22,5**	**63**	**132,3**	**195,3**
– уголь	10,7	30	90	120
Всего	***100***	***280***	***608,7***	***888,7***

Наиболее существенной частью минерально-сырьевого комплекса является индустрия строительных материалов. Добыча их более чем в полтора раза превышает добычу всего вместе взятого рудного и энергетического сырья (рис. 1.3).

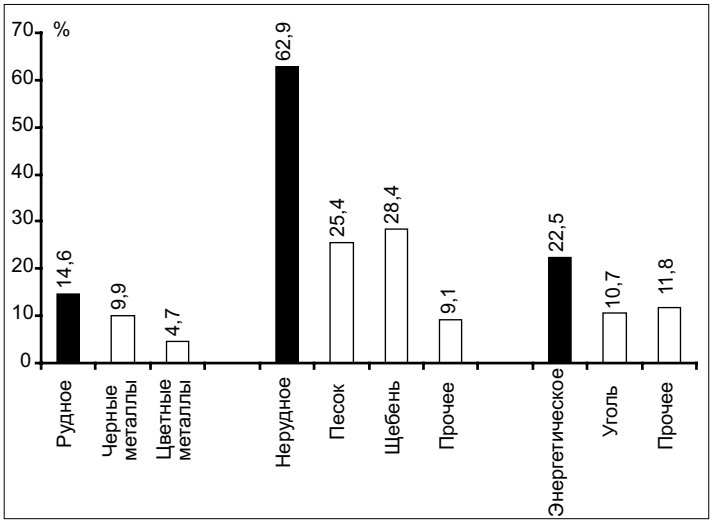


Рис. 1.3. Структура добычи из литосферы различных видов минерального и топливно-энергетического сырья

При современном уровне развития геотехнологий на единицу извлекаемого из недр твердого полезного ископаемого приходится от 1,1 до 6,7 единицы пустой породы, также извлекаемой из недр и размещаемой затем на поверхности Земли. Это при достигнутых объемах добычи, адекватно ежегодному изъятию из естественного оборота более 5000 км^2 поверхности. Не менее значимые экологические последствия имеет ограниченность запасов любого месторождения. Если срок существования среднестатистического добывающего предприятия принять равным 40 годам, то это означает, что для простого поддержания уровня обеспеченности минеральным сырьем необходимо ежегодно 1/40 общего его потребления обеспечивать за счет освоения новых месторождений. В силу геологической предопределенности местоположения новых добывавших предприятий это означает практически неизбежную необходимость отторжения от сохранившихся площадей естественной биоты Земли не менее 3500 – 4000 км^2 ежегодно.

Безусловно, горная промышленность — не главный виновник экологического кризиса. По интенсивности загрязнения природной среды она находится далеко позади таких отраслей, как химическая промышленность, металлургия, нефтепереработка или теплоэнергетика, а по размерам нарушаемых площадей более чем на порядок отстает от лесной промышленности. И тем не менее главная особенность минерально-сырьевого комплекса заключается в перераспределении в объеме литосферы и на земной поверхности огромных масс горных пород (табл. 1.2), уже соизмеримых по своей величине с объемом вещества, находящемся в биологическом обороте нашей планеты (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Биомасса Земли (сухой вес/живой вес)

Тип экосистемы	Площадь, млн км^2	Удельная средняя биомасса растений, кг/м^2	Мировая величина биомассы, 10^9 т		Продуктивность		
			растений	животных	первичная (продуценты)		вторичная (консументы, редуценты)
					кг/м^2/год	10^9т/год	10^9 т/год
Леса всех типов	48,5	34,1/85,2	1650/4125	0,64/1,91	1,52/3,81	74/184	0,44/1,3
Другие наземные системы	82,5	1,7/4,3	142,5/356,2	0,36/1,09	0,33/0,84	28/69	0,42/1,26
Обрабатываемые земли	14	1 /2,5	14/35	0,006/0,018	0,65/1,6	9/23	0,01/0,027
Водные экосистемы суши	4	7,5/37,6	30/150,3	0,03/0,15	1,12/5,62	4,5/22,5	0,042/0,21
Материковые экосистемы в целом	149	12,3/31,4	1836/4666	1,04/3,17	0,77/2,01	115/299	0,9/2,8
Морские экосистемы в целом	361	0,01/0,05	3,9/19,8	0,99/4,98	0,15/0,76	55/274	3/15,1
Общий показатель по Земле	510	3,6/18	1840/4686	2,03/8,15	0,33/1,02	170/573	3,9/17,9

Общая масса вещества, извлекаемого из литосферы и включаемого в том или ином виде в оборот на земной поверхности (889,1 10^9 т/год), составляет уже почти половину мировой величины сухого веса биомассы всех материковых экосистем (1836,55 10^9 т), или 19 % от живого веса всех животных и растений, населяющих сушу нашей планеты.

Пересчитав объемы добываемой горной массы в показатели, аналогичные показателям биологической продуктивности, можно видеть, что в наше время на каждый квадратный метр поверхности суши ежегодно приходится 4,08 кг только пустых пород, извлеченных при получении минеральных ресурсов, что более чем в 5 раз превосходит удельную готовую продуктивность всех сухопутных экосистем и в 3,6 раза больше годовой удельной продуктивности естественной биоты в целом (рис. 1.4).

При таких соотношениях вполне можно говорить о том, что продолжение экстенсивного развития минерально-сырьевого комплекса несет в себе вполне реальную угрозу разбалансирования системы обращения вещества в биосфере планеты.

Перспективы качественного изменения в развитии добычи полезных ископаемых сегодня связаны с основными принципами концепции устойчивого развития (sustainable development), в основе которой лежат исходные принципы физики, биологии и морали.

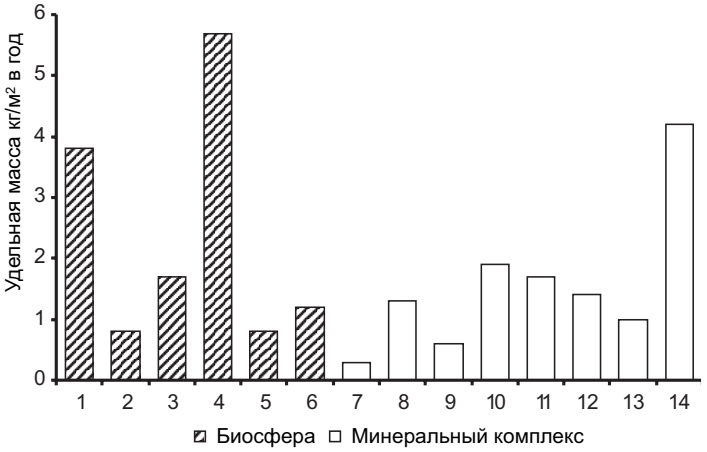


Рис. 1.4. Соотношение удельных показателей годовой продуктивности биосистем и добычи полезных ископаемых

Биопродуктивность: 1 — лесов; 2 — других экосистем суши; 3 — обрабатываемых земель; 4 — водных экосистем суши; 5 — всех морских экосистем; 6 — биосферы Земли. Добыча ископаемых: 7 — руды; 8 — стройматериалы; 9 — энергетическое сырье; 10 — всего полезных ископаемых. Добыча сопутствующих пустых пород: 11 — в рудной отрасли; 12 — для нерудных ископаемых; 13 — в энергетической отрасли; 14 — всего в минерально-сырьевом комплексе

Из первого закона термодинамики (сохранения вещества и энергии) со всей очевидностью следует, что мы ничего не производим и не потребляем, мы просто что-нибудь преобразуем. Из второго закона (возрастания энтропии) вытекает, что при этих преобразованиях происходит постоянное уменьшение полезного потенциала в системе как целом.

Рассматривая структуру добычи полезных ископаемых (табл. 1.2) и характер дальнейшего использования каждого их вида, можно уверенно сказать, что возможности этого пути снижения антропогенного давления на природу весьма ограничены. Наиболее существенная составная часть сырьевого потока из литосферы — нерудное сырье (в основном это стройматериалы) используется таким образом, что повторное его использование в первоначальном качестве практически невозможно. Поэтому любое увеличение потребления этих видов сырья требует пропорционального увеличения антропогенного нарушения литосферы и соразмерной с ним нагрузки на биосферу. Точно так же обстоят дела и с энергетическим сырьем в силу полной невозобновимости энергии, полученной из него.

Однако существуют реальные возможности снижения техногенного давления на биоту в этом секторе добывающей индустрии за счет повышения эффективности потребления энергии, применения энергосберегающих технологий, ограничения неконтролируемого использования энергии и стимулирования эксплуатации более «чистых» альтернативных источников энергии.

Таким образом, возможности снижения экологических последствий развития минерально-сырьевого комплекса за счет регенерации использованного сырья существуют главным образом для сырья рудного, занимающего всего 14,6 % в общей добыче полезных ископаемых и 42,5 % в годовой добыче горной массы. Однако возможности регенерации металлов ограничены технологическими и экономическими условиями, а также сроком существования изделий из этих металлов. Несложный расчет показывает, что если потребление металла растет на 3 % в год, а средний возраст 1 т утилизируемого металла — 10 лет, то даже полный воз-

врат металла в промышленный оборот позволит удовлетворить не более 3/4 роста потребности. Одновременно следует учитывать, что регенерация металлов требует дополнительного расхода энергии, и поэтому экологический эффект от повторного их использования будет существенно ослаблен. Таким образом, хотя данный способ ресурсосбережения может играть важную роль в решении локальных экологических проблем, он не сможет полностью решить эти проблемы в будущем, а потому дальнейшее развитие уровня по-требления нашего общества всегда будет связано с необходимостью получения минерального сырья из литосферы.

Построение технократической цивилизации на основе экстенсивного процесса проживания накопленных в ходе развития планеты запасов вещества и энергии связано с рядом значительных проблем.

Во-первых, эти запасы, по крайней мере в технологически доступной части, будут постепенно оскудевать и в перспективе исчерпаются. Замена ресурсов продлит их жизнь, но не создаст новых ресурсов. Во-вторых, поскольку человек является единственным биологическим видом, живущим вне рамок бюджета солнечной энергии, он неизбежно выйдет из равновесия с остальной частью биосферы, которая на протяжении длительной эволюции приспособилась к фиксированному потоку солнечной энергии. Вполне естественно, что такое несоответствие способов получения энергии должно привести рано или поздно к реакции обратной связи со стороны остальной части системы в самых неблагоприятных для человека формах. Однако естественная биота Земли обладает еще значительными резервами и эластичностью, которые тем не менее исчерпываются в одном направлении за другим. Комплекс этих соображений приводит к мысли, что человечество должно эволюционировать к экономике, более зависящей от солнечной энергии. Можно и нужно стремиться стабилизировать потоки энергии и сырья и направлять развитие техники и технологии на использование возобновимых ресурсов. Сырье литосферы, безусловно, придется расходовать, но этот процесс должен обрести такую форму, чтобы платой за развитие человеческой цивилизации не стало бы уничтожение естественной биоты Земли, а вместе с ней и самого человека.

1.2. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО ДЕЛА

Истоки горного дела уходят в глубокую древность. Одним из главных факторов развития горного дела, определяющим его уровень в различные исторические периоды, являются орудия горного производства. Периодом неолита датируются первые разработки в Европе кремня в горных выработках, иногда с деревянным креплением. Позднее, с 7—6-го тыс. до н. э., начинается систематическая разработка медных и оловянных руд, добыча золота и серебра. В Центральной Европе от этого периода остались выработки со следами крепления, лестниц и т. п. Постепенно выплавка изделий из меди приобретает относительно широкий характер. Например, древние племена, обитавшие на территории современной Армении, выплавляли бронзу 14 типов. С 5—4-го тыс. до н. э. выделяются группы горняков-профессионалов, передававших свой опыт из поколения в поколение. Расширение объемов добычи медных руд приводит к совершенствованию горных технологий. Так, на территории Южной Болгарии по окончании работ горные выработки заполнялись пустой породой. Древние способы разработки россыпных месторождений (в основном золота) принципиально не отличались от современных способов многократного промывания. Задолго до нашей эры горное дело существовало и в Китае, Японии, странах американского континента.

Главным фактором развития производительных сил в античном обществе стало освоение производства железа. Добыча руд и производство металлов относились к наиболее развитым и прибыльным отраслям хозяйства греко-римской цивилизации. С развитием феодальных отношений в горном деле происходят значительные сдвиги. В XI—XIII вв. начинается его широкое развитие в Центральной Европе, возникает пока еще ручное бурение горных пород. Важные усовершенствования были сделаны в Европе в XV—XVI вв. Применение конного привода и водяного колеса для рудничного подъема, а также для водоотливных устройств позволило вести горные работы на глубине до 150 м. Применяются взрывные технологии добычи. Вводится мокрое обогащение, что позволяет вести разработку сравнительно бедных руд. В 1512 г. в Саксонии была выдана привилегия на мокрую толчею. В это время в рудниках начинают устраивать деревянные настилы для перемещения по ним тележек с полезным ископаемым. Появляются первые горные училища и руководства по горному делу («12 книг о металлах» Г. Агриколы, 1556). В горном деле раньше, чем в других отраслях промышленности, нашли применение паровые машины, первоначально для откачивания воды (англичанин Т. Ньюкомен в 1711—1712 гг.), затем и для рудничного подъема.

С эпохи промышленного переворота (кон. XVIII — нач. XIX в.) осуществляется переход к широкому применению машин. В 1815 г. англичанин Г. Дэви, изобретает безопасную рудничную лампу. Совершенствуется техника бурения, все шире применяются взрывчатые вещества, вводится рельсовая откатка с конной тягой. В 30-х гг. XIX в. начинают применяться стальные канаты для рудничного подъема и откатки.

Этапы развития горного дела в России в XVIII–XIX вв.

Россия обладает огромными запасами природных ресурсов, поэтому горному делу на всем протяжении развития страны отводилась ведущая роль. Потребностями экономического и стратегического характера было вызвано строительство уральских, сибирских и олонецких заводов в первой четверти XVIII в. Создание в России горно-металлургической промышленности потребовало коренной реформы горного дела. Начало реформ было положено созданием Петром I 24 августа 1700 г. Приказа рудокопных дел. К концу 1-й четверти XVIII в. завершился период коренной ломки высших административных учреждений. Было централизовано управление горнозаводским производством и создана Берг-коллегия — орган по управлению горнорудными предприятиями в России вместо упраздненного Рудного приказа. В 1719 г. был принят законодательный акт, определявший политику русского правительства в горнорудной промышленности — Берг-привилегию. В 1739 г. в дополнение к Берг-привилегии был издан Берг-регламент. Он просуществовал до 1806 г., как и сама Берг-коллегия, функции которой затем передали Горному департаменту.

В условиях крепостнической России частные предприятия нередко переходили в казенные и наоборот. Особенно много казенных заводов было на Урале. Экономическая отсталость и слабое развитие капитализма вынуждали государство строить и содержать заводы на свои средства. В начале XVIII в. казенные заводы стали раздаваться частным лицам. Например, в 1702 г. первый выстроенный казной на Урале Невьянский завод был передан Никите Демидову, а Акинфий Демидов к концу жизни имел 25 заводов на Урале, Алтае и в центре страны, общее число работавших на него крестьян составляло 38 тыс. душ мужского пола. В 1730—1750-х гг. раздача казенных заводов приняла массовый характер, но уже в конце XVIII в. казна выкупила большинство заводов, разоренных их владельцами. И все-таки в

связи с общим кризисом феодально-крепостнического хозяйства казенные заводы постепенно пришли в упадок и оказались не в состоянии обеспечивать нужды страны. Сказалась не только экономическая неэффективность крепостнических отношений; развитие заводов тормозилось хищнической политикой казенных ведомств, а новые изобретения и открытия медленно внедрялись в производство.

Накопившийся опыт разведывания руд в разных районах страны обусловил возможность целенаправленного ведения поисковых работ и объективной оценки поступавших сведений о залежах полезных ископаемых. Улучшились и приемы разведывания месторождений: наряду с закладкой шурфов вводилась разведка посредством ручных буров (щупов). Изменились организационные формы рудоискательства. Экспедиционная деятельность в России началась в 1702 г., когда Приказ рудных дел направил в Олонецкий край экспедицию подьячего И. Голованова, разведавшую медные руды и основавшую медеплавильный завод близ Онежского озера.

В начале 1730-х гг. в Сибирь «для географического описания и осмотра о плодах земных и минералах» отправилась экспедиция Адмиралтейств-коллегий и Петербургской академии наук. Ею были открыты и описаны месторождения железных и медных руд на землях Кузнецкого и Красноярского краев, залежи каменного угля на Верхней Тунгуске и др. В 1768 — 1774 гг. Академия наук организовала еще пять экспедиций, работавших на огромной территории — от Кольского полуострова и Белоруссии до Кавказа и Каспийского моря. Программа работ предусматривала в том числе и обследование предприятий горнорудной промышленности. В итоге были открыты многочисленные месторождения, на месте которых возводились заводы по переработке медных, серебряных, золото- и железосодержащих руд. Во второй половине XVIII в. появились горные карты месторождений Олонца, Урала, Алтая, Забайкалья с пометками встречавшихся там горных пород, минералов и мест выходов их на поверхность.

Переход к паровой энергетике, связанный с ростом промышленного производства, и быстрое истребление лесов вызвали настойчивые поиски новых топливных ресурсов — торфа и каменного угля. С 1720-х гг. развернулись поиски каменноугольных месторождений на территории европейской части страны и на юго-западе Сибири. В 1721 г. обнаружены залежи каменного угля на Дону. Применение минерального топлива привлекло также частных предпринимателей, например Н.П. Рюмина, А. Демидова, получивших привилегии на добычу угля.

Горное дело в XVIII — начале XXI в.

В результате огромного спроса на продукцию горной промышленности со стороны все более расширяющегося производства горное дело в XIX в. превратилось в крупнейшую отрасль капиталистического хозяйства (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Динамика роста мировой горной промышленности (среднегодовая добыча, млн т) в XIX в.

Годы	Каменный уголь	Железная руда	Золотая руда	Серебряная руда	Руды цветных металлов	Всего
1801 — 1820	13,9	1,8	1,1	0,3	0,2	17,3
1821 — 1840	28,2	4,1	1,4	0,2	0,4	34,4
1841 — 1850	63,7	9,6	4,4	0,4	0,8	78,9
1851 — 1860	109,3	15,0	16,2	0,5	1,7	142,7
1861 — 1870	187,3	20,5	14,2	0,7	2,6	225,3

Из табл. 1.4 следует, что характерной особенно-стью этого периода был интенсивный рост добычи полезных ископаемых. К середине XIX в. Россия заняла первое место в мире по добыче золота и платины. В 1814 г. на Урале, на Березовском прииске началась добыча россыпного золота, а с 1830 г. его стали разрабатывать и в Сибири. Если за 1814 — 1820 гг. добыли 184 пуда золота, то в 1831 — 1840 гг. его добыча превысила 4328 пудов.

Интенсивно развивалась техника проходки стволов шахт. Усовершенствованные методы проходки, вентиляции и водоотлива позволили увеличить глубину разработок. Были созданы высокопроизводительные системы разработки угольных и рудных месторождений; введен электрический привод для подъемных машин, насосов, вентиляторов, рудничного транспорта; осуществлена механизация зарубки с помощью врубовых машин и др. Возникли самостоятельные научно-технические дисциплины, занимающиеся вопросами добычи отдельных видов полезных ископаемых: угля, руд, нефти, торфа и т. п.

В начале XX в. в России продолжился рост горного производства. С 1901 по 1913 г. добыча угля увеличилась с 16 до 21 млн т, железной руды — с 6,2 до 9 млн т, золота — с 34,4 до 60,9 тыс. кг. Добыча меди возросла в 4 раза, цинка — в 1,5 раза, свинца — в 5 раз. По добыче марганцевой руды, уровень которой в 1913 г. достиг 265 тыс. т, Россия занимала ведущее положение в мире (53 % мировой добычи).

Новый этап в развитии горного дела связан с научно-технической революцией (2-я половина XX в.) и характеризуется автоматизацией процессов горного производства и созданием системы горных наук. Научно-техническая революция превратила науку в непосредственную производительную силу, привела к внедрению комплексной автоматизации горного производства, контроля и управления основными технологическими процессами, охраны окружающей среды от влияния горных работ.

В 1990-х гг. в связи с большими объемами добычи основных видов минерального сырья (см. табл. 1.5) перед человечеством встали качественно новые глобальные проблемы, обусловленные динамическими и газодинамическими явлениями: техногенными землетрясениями, горными ударами, тектоническими нарушениями и др. Все это потребовало новых подходов и технологий для преодоления ухудшающихся геологических, горнотехнических и экологических условий. Примерами таких геотехнологий являются: направленное изменение свойств массивов горных пород и минерального вещества на макро- и микроуровне; выщелачивание (в основном подземное) полезных ископаемых и продуктов их обогащения; дегазация и разработка метаноносных угольных пластов; промышленное извлечение метана из нетронутых горными работами высокогазоносных угольных месторождений; подземная газификация углей; биотехнология добычи и глубокой переработки полезных ископаемых, в т. ч. получение нового угольного топлива; создание подземных и наземных сооружений различного назначения (в т. ч. для захоронения и утилизации отходов крупных городов); искусственное продолжение формирования и воспроизводства минеральных ресурсов в литосфере; добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов.

Быстрыми темпами шло также развитие горных наук, которые постепенно уходили от простой эмпирики и вступали в стадию обобщения знаний: Б.И. Бойкий разработал основы аналитического метода проектирования горных предприятий; акад. А.М. Терпигорев заложил научно-методические основы механизации горных работ; акад. Л.Д. Шевяков создал теорию проектирования шахт; акад. А.А. Скочинский заложил основы рудничной аэрологии и безопасного ведения горных работ; акад. Н.В. Мельников и акад. М.И. Агошков заложили научные основы открытой и подземной геотехнологий и комплексного освоения недр.

Таблица 1.5

Мировые объемы добычи основных твердых полезных ископаемых

Полезное ископаемое	Объем добычи, млн т				
	1998	2000	2002	2003	2004
Железная руда,	1040,0	1060,0	1002,0	1100,0	1200,0
в т. ч. в России	192,1	224,8	221,6	241,4	255,2
Уголь,	4683,1	4535,7	4907,0	4835,0	5500,0
в т. ч. в России	232,3	257,9	253,4	276,4	284,1

1.3. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Понятие «техника» происходит от греч. techne, означающего умение, мастерство. В античную (от лат. antiquities — древность, старина) эпоху это слово ассоциировалось с мастерством художника.

Античность — эпоха становления Древнего Рима и Греции, эпоха развития греко-римской цивилизации. Она охватывает период примерно с конца 2-го тыс. до н. э. до середины 1-го тыс. до н. э. Со временем это понятие расширилось; орудия труда, механизмы, машины также стали относиться к технике. В современной науковедческой литературе технику определяют как систему средств труда.

Техника неразрывно связана с технологией — совокупностью взаимосвязанных процессов производ-ства, в которых осуществляется взаимодействие человека и техники по определенной технологии. Развитие техники обусловливает совершенствование технологии, которая, в свою очередь, влияет на параметры техники.

Горная техника в своем развитии прошла длинный исторический путь совершенствования. Этапы и их эволюция связаны главным образом с использованием различных энергетических источников.

Начальный биоэнергетический этап развития горной техники (человек — инструмент — предмет труда) связан с использованием в качестве энергетического источника мускульной силы человека и животного и энергии ветра и воды. Античная эпоха в целом характеризуется крайне низким техническим уровнем развития производительных сил. Причинами этого являлись: рабовладельческий способ производства; натуральное хозяйство, небольшая численность населения и незначительный его прирост. В этот период технический прогресс был обусловлен прежде всего развитием военной и строительной техники, а также потребностями сельского хозяйства и различных ремесел.

Греческие государства классического периода и позже, на территории которых находились месторождения полезных ископаемых, быстро обогащались и становились могущественными. В античном мире хорошо понимали все выгоды, связанные с обладанием минеральными ресурсами. Поэтому нередко войны, возникавшие в античную эпоху, носили характер борьбы за то или иное месторождение полезных ископаемых. Так, афиняне длительное время вели борьбу за фракийские золотые рудники; лакедемоняне с афинянами — за обладание лаврийскими серебряными разработками; римляне с карфагенянами — за богатые иберийские месторождения серебра, золота, меди; македонский царь Филипп с пергамским царем Атталом — за пергамские золотые прииски. Древнегреческий географ и историк Страбон (64/63 г. до н. э. — 23/24 г. н. э.) отмечает в своем 17-томном труде «География», что причина известного плавания аргонавтов за золотым руном в Колхиду, а раньше — некоего Фрика, совершившего аналогичное плавание,

определялась стремлением к захвату россыпных месторождений золота в долине реки Риони на Кавказе.

Помимо использования физической силы в период развития мануфактур широко применялась энергия ветра и воды. Механическая энергия воды приводила в движение механизмы, лес обеспечивал производство топливом. В горном деле повсеместное распространение получил водяной двигатель. Верхнебойные колеса устраивались для насосных установок, подъема руды и ее дробления. В России крупная гидравлическая машина была построена на Змеиногорском руднике на Алтае выдающимся горным инженером Н.К. Фроловым в 1785 г. и использовалась для откачки воды из шахты.

Использование пороха в горном деле с начала XVII в. дало мощное средство для разрушения горных город.

XVII – XIX века можно отнести к этапу машинного производства (человек – машина – инструмент – предмет труда). Промышленный переворот в этот период связан с изобретением паровой машины, которая открывала путь машинному производству, а машинное производство обусловило расширение масштабов горнодобывающей промышленности.

В этот период древесина заменяется углем, водяные колеса — паровым двигателем — энергетической основой промышленности, инструмент рабочего мануфактурного периода — машинами, а железо — сталью — основным материалом крупной промышленности.

В области транспорта началось строительство железных дорог и внедрение паровой тяги.

В XX в. энергетика становится комплексной. Паровые двигатели все больше вытесняются электрическими. Замена пара электричеством — одно из главнейших направлений технического прогресса. За счет открытий в области радиотехники и электротехники машины начинают принимать на себя функции контроля и (частично) управления производством.

Этот этап можно характеризовать как этап электрификации, т. к. основой современной техники, механизации и автоматизации производства является электрификация, благодаря которой интенсифицируется производство, увеличивается производительность машин и оборудования. Машине передаются исполнительная и двигательная функции. В технологических процессах за человеком остается функция управления. Настоящее время можно назвать этапом автоматизации. В этот период научно-технической революции функция управления тоже передается электронным техническим устройствам (ЭВМ, АСУ, АСУП и т. д.). Технические устройства, управляющие машинами, олицетворяют собой этап автоматизации в развитии техники.

Таким образом, горная техника и технология теснейшим образом связаны с использованием энергии, с ее различными видами.

Сейчас, учитывая экологическую обстановку на планете, многие ученые снова обращают внимание на исконные источники энергии, такие как солнце, ветер, вода, морские волны, тепло земных недр и т. д. На основе современной техники освоение этих источников возможно в значительно больших масштабах, чем прежде.

Соотношение науки и техники — величина переменная, каждая эпоха характеризуется своим соотношением. До XVII – XVIII вв. наука в своем развитии отставала от техники. Связи науки с производством были слабыми, т. к. орудия и машины являлись в основном претворением в жизнь накопленных эмпирических знаний, а не результатом научных исследований.

В XVIII – XIX вв. наука догоняет технику. Машинное производство дало толчок бурному развитию науки. С середины XX в. наука в своем развитии опережа-

ет технику и превращается в непосредственную производительную силу. Она воздействует на предметы труда, ее развитие приводит к появлению новых материалов, техники и способов производства.

Все обозначенные выше этапы развития горной техники и технологии систематизированы в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Периоды эволюции в освоении недр Земли (по акад. К.Н. Трубецкому)

Этапы эволюции	Период времени	Основные нововведения в горное дело
Эпоха горных орудий		
Каменные орудия: — собирательство	2,5 млн. лет — 35 тыс. лет до н. э.	Каменные и роговые молоты, кайлы, кирки (рис. 1.5)
— изготовление	35 тыс. лет — 6 тыс. лет до н. э.	Начало подземной и открытой добычи кремня (рис. 1.7)
Металлические горные орудия: — медь и бронза	6 тыс. лет до н. э. — 2 тыс. лет до н. э.	Бронзовые кайла, кирки, молоты. Колесные механизмы (рис. 1.6)
— железо	2 тыс. лет до н. э. — XVI в. н. э.	Железные кайла, клинья, молоты, механические приспособления для шахтного подъема и водоотлива
Эпоха горных машин		
Машины на гидроэнергии	VI — VIII вв. — XVIII в.	Примитивные горные механизмы для обогащения, шахтного подъема, водоотлива. Горные машины с приводом от водяного колеса, конной тяги. Рельсовые вагонетки. Взрывобезопасный светильник, система вентиляции (рис. 1.8)
Паровые машины	XVIII в. — конец XIX в.	Выемочные горные машины, одноковшовые и многоковшовые экскаваторы, буровые станки, врубовые машины, транспортные машины с паровым и электрическим приводами. Конвейеры, обогащение полезных ископаемых (рис. 1.8, 1.9)
Высокопроизводительные горные машины с ДВС и электродвигателями	начало — середина XX в.	Высокопроизводительные экскаваторы, горные комбайны, буровые установки глубокого бурения. Турбобур, электробур. Подземные самоходные машины
Автоматизация процессов горного производства	с 50-х гг. XX в.	Автоматизированные комплексы горных машин, буровые установки сверхглубокого бурения, морское горнодобывающее оборудование. Циклично-поточное и поточное производство

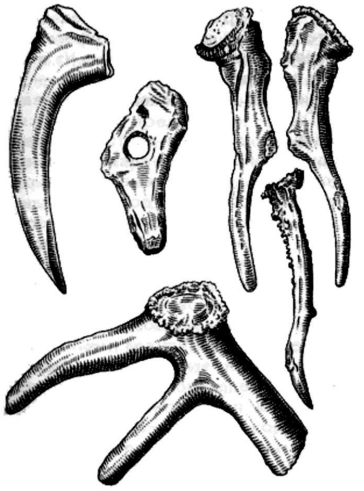


Рис. 1.5. Роговые орудия горняков эпохи неолита

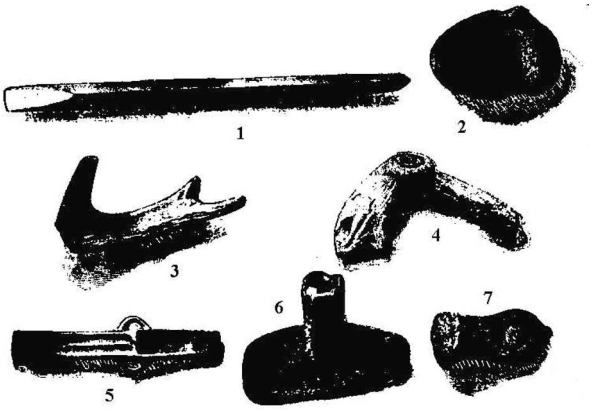
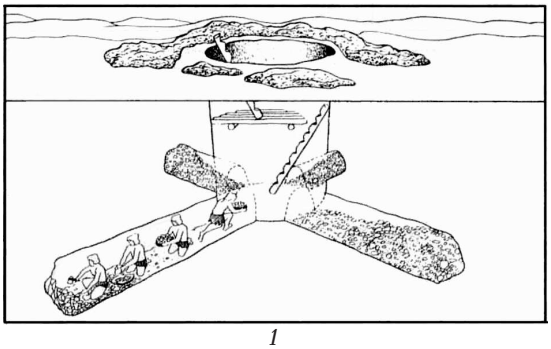
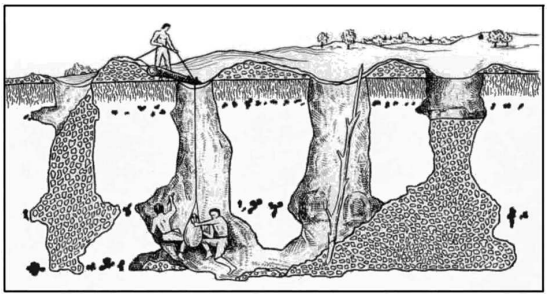


Рис. 1.6. Горные орудия из камня, костей и бронзы:

1 — каменный лом; 2 — каменный молоток; 3, 4 — куски кости для мягких пород; 5, 6, 7 — бронзовые долото, лопата и молоток (г. Фрайберг, Германия)



1



2



3

Рис. 1.7. Подземная добыча кремня для каменного оружия и орудий труда:

1 — путем проходки горизонтальных выработок из вертикальных шурфов в Грамс-Грейвс (Великобритания); 2 — путем проходки вертикальных выработок (шурфов) в районе Красного Села (Белоруссия); 3 — древние горные выработки в Спьене (Бельгия) для добычи кремня

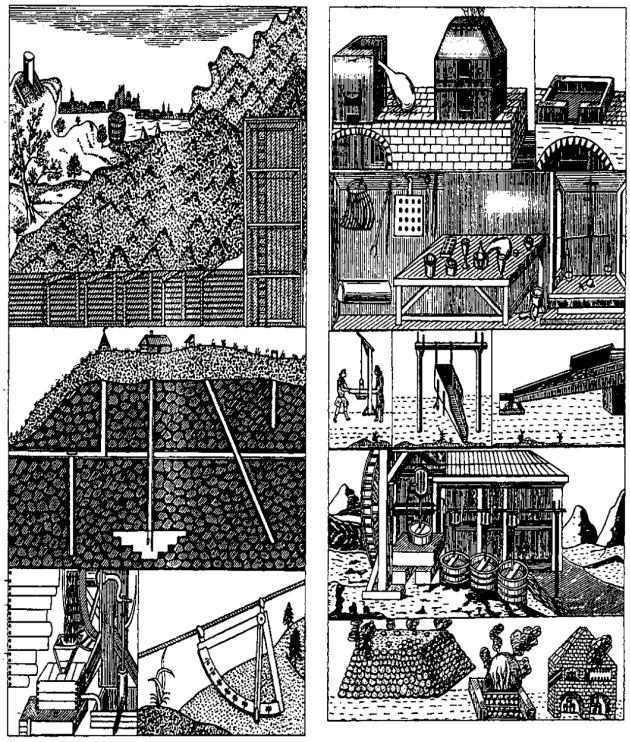


Рис. 1.8. Рисунки из книги М.В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел» (1763)

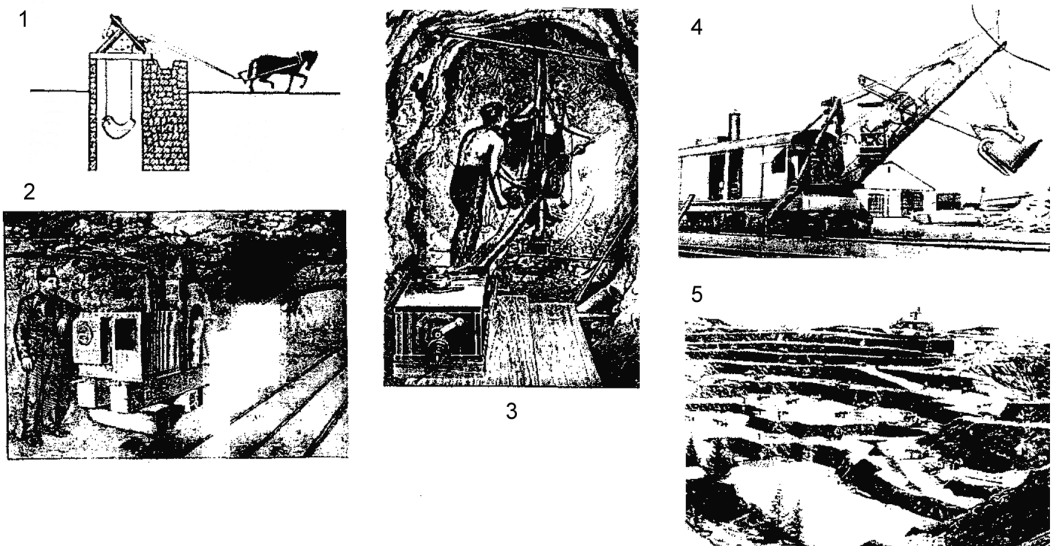


Рис. 1.9. Начальные этапы развития горного машиностроения:

1 — добыча нефти из колодцев (Апшеронский п-ов, 1683); 2 — шахтный электровентилятор (кон. XIX в.); 3 — подземный электрический буровой станок (Германия, 1884); 4 — первый паровой экскаватор (кон. XIX — нач. XX в.); 5 — горные работы в карьере с применением конного транспорта

1.4. СИСТЕМА ЗНАНИЙ ОБ ОСВОЕНИИ НЕДР (ГОРНЫЕ НАУКИ)

В основе развития всей нашей цивилизации лежит простая логическая триада: знание — умение — продукт. Применительно к развитию минерально-сырьевого комплекса трансформируется в триединую систему, состоящую из горных наук; горной технологии (геотехнологии); горного производства. Приблизительно в такой последовательности будут рассмотрены все основные разделы настоящего курса.

Зарождение и формирование системы знаний о земных недрах, способах получения из них полезных ископаемых и способах переработки этих ископаемых можно смело отнести к самому началу каменного века.

Создание горных наук одни авторы относят ко второй половине XVIII в., другие — к концу XIX — началу XX в. До этого времени в литературе употреблялся собирательный термин «горное искусство», под которым понималась система приемов и методов научной и практической деятельности, связанная с добычей и обогащением полезных ископаемых. Истоки горных наук восходят к первым научным обобщениям практики добычи полезных ископаемых. Ученик Аристотеля Теофраст написал книгу «О камнях» и ряд сочинений о рудном деле, не дошедших до наших дней; Стратон описал горные орудия; Страбон — технические приемы рудного дела; Плиний Старший в четырех книгах «Естественной истории» привел сведения по горному делу и минералогии. В Средние века ценные обобщения по горному делу и геологии дали в своих сочинениях Бируни и Ибн Сина. Наиболее полные работы относятся к XV — XVI вв., когда У. Рюлейн фон Кальве (ок. 1465 — 1523), врач и бургомистр г. Фрайберг, издал (ок. 1500) книгу «Полезная горная книжица», явившуюся наставлением для горняков и металлургов. В 1540 г. опубликовано сочинение В. Бирингуччо «Пиротехния», в котором трактуются вопросы минералогии, геологии, технологии горного дела и металлургии. Первое фундаментальное обобщение накопленного опыта в области добычи и переработки полезных ископаемых выполнено Г. Агриколой в сочинении «12 книг о металлах».

Первое определение горных наук дал в середине XVIII в. М.В. Ломоносов как науки, «...которая учит минералы знать». К началу XX в. в связи с бурным развитием горной промышленности происходит дифференциация научных направлений, в результате которой определилась группа специальных разделов, а именно: проектирование и строительство рудников, обогащение полезных ископаемых, борьба с подземными пожарами, горноспасательное дело и др. Становлению и выделению отдельных дисциплин горных наук в России способствовали капитальные работы: в области вскрытия систем и механизации разработки твердых полезных ископаемых — А.И. Узатиса (1843), А.М. Терпигорева (1906, 1915), Б.И. Бокия (1914), Л.Д. Шевякова (1950); бурения — Г.Д. Романовского (1866); горной механики — А.И. Тиме (1899); горного давления и сдвижения горных пород — М.М. Протодьяконова-старшего (1907, 1912); П.М. Леонтовского (1912); научных основ безопасности работ в шахтах — А.А. Скочинского (1901), Н.Н. Черницына (1917); обогащения полезных ископаемых — Г.Я. Дорошенко (1875); С.Г. Войслава (1876); Г.О. Чечотта (1914), И.Н. Плаксина (1951), Б.Н. Ласкорина (1956), В.И. Ревнивцева (1990); гидромеханизации — П.П. Мельникова (1836); подземной газификации углей — Д.И. Менделеева (1888); добычи нефти — В.Г. Абиха (1853), Н.И. Андроусова (1908), В.Н. Вебера (1911), И.М. Губкина (1916).

В 1920-х гг. были созданы научные и учебные центры, концентрировавшие исследования в области горных наук, — Московская горная академия (1918), горные институты в Харькове (1922), Кривом Роге (1922), Механобр (Петроград, 1920), а также горные факультеты в политехнических институтах в Тбилиси, Баку,

Новочеркасске, Ташкенте, Владивостоке. Большое значение для развития горных наук имела деятельность Общества горных инженеров, горных отделов Русского технического общества, а также съездов горнопромышленников. В 1999 г. состоялся возрожденный I съезд горнопромышленников России.

За рубежом крупные исследования в области горных наук выполнены во второй половине XX в.: в Германии установлены закономерности распределения напряжений в толще пород вокруг выработанных подземных пространств в различных горно-геологических условиях, взаимодействия горных пород и крепей; в Чили созданы основы математической теории горного давления; в Австралии, Бельгии, Великобритании, Канаде, США, Франции решен ряд конкретных задач в горной практике на основе изучения закономерностей горно-геологических процессов в скальных массивах и др.

С 1960-х гг. по тематическому плану бывшей СЭВ производились совместные работы по созданию исследовательских комплексов различной аппаратуры, совершенствованию методов определения напряжений в массиве горных пород, международные научные конгрессы (горные, нефтяные и др.) и конференции по обсуждению результатов исследований в области горного недроведения.

Более чем за 230 лет изменился предмет изучения горных работ от минералов (по М.В. Ломоносову, 1763), процессов разработки полезных ископаемых (по Н.В. Мельникову, 1952), технологии, техники, экономики и организации горного производства (по В.В. Ржевскому, 1981), технологии разработки и обогащения полезных ископаемых (по М.И. Агошкову, 1983) до техногенно изменяемых недр Земли (по К.Н. Трубецкому, Д.Р. Каплунову, Н.Н. Чаплыгину, 1994). Накопление и обобщение знаний в области горного дела (по сути, становление горных наук) в течение нескольких столетий было столь тесно связано с непосредственным повседневным развитием производственной деятельности общества, что создавало впечатление прикладного, а не фундаментального характера горных наук. Более того, исключительная трудоемкость и опасность горного производства, его особое социально-экономическое положение в отдельные периоды трансформировали горные науки, уводя их от наук о Земле, например к циклу экономических и машиностроительных наук прикладного характера. Насыщение горных наук смежными знаниями в области геологии, геофизики, геохимии, математики, механики, физики, химии, экономики, экологии и других наук, с одной стороны, и возрастание сложности экономических и социальных проблем, возникающих перед горной промышленностью с другой, привели в последней четверти XX в. к наиболее радикальному изменению концепции горных наук. Согласно ей горные науки представляют собой систему знаний о закономерностях и методах освоения и сохранения недр Земли как ресурса жизнеобеспечения для устойчивого развития общества. Горные науки изучают техногенно изменяемые недра Земли во взаимосвязи технологических процессов с горно-геологическими условиями. Целью горных наук является получение новых знаний, обеспечивающих возможность управления состоянием, а также изменением функционального назначения недр при их комплексном и экологически безопасном освоении и сохранении.

Для горных наук характерна специфика исследуемых ими явлений. Она состоит в необходимости учета следующих особенностей: крупного масштаба событий, обусловленных созданием и одновременным функционированием большого числа производственных объектов в условиях невозобновляемости запасов полезных ископаемых; значительной пространственной изменчивости свойств среды при освоении недр (твердой, жидкой и газообразной) в пределах влияния этих объектов на природу; вероятностного характера параметров, системной обусловленности и информационной емкости технологических процессов; сопряженно-

сти при освоении недр всех форм движения материи — от простой механической до высшей социальной, что выдвигает в число рассматриваемых объектов наиболее сложные природно-технические системы и систему «человек — машина».

Такое многообразие факторов обусловливает использование в горных науках большого числа методов исследований: натурных наблюдений, лабораторных и опытно-промышленных экспериментов, теоретических обобщений, графоаналитических, сейсмоакустических методов, статистических оценок, аналогий, физического, математического и экономико-математического моделирования и других. При этом широкое распространение получают теории принятия решений, системного анализа и автоматизированного проектирования, а также теории гео- и горно-информационных автоматизированных систем с картографическими интерфейсами, имитационных моделей производственных объектов, различных видов мониторинга.

Феноменологическая основа горных наук обусловливает их междисциплинарность. Поэтому для систематизации горных наук необходимо не только воспринимать их в ряду естественных наук, но и рассматривать в рамках глобальной системности и всеобщей взаимосвязи, что определяется новым для горняков понятием «геосистема», или природно-техническая си-стема», которая выражает всю совокупность природных и искусственно созданных объектов, несущих в себе свойства системы, создаваемой и используемой в целях освоения недр.

Таким образом, современное естественно-научное содержание и методология горных наук раскрываются как система знаний о закономерностях и методах комплексного и экологически безопасного освоения и сохранения недр на основе постоянного технологического воспроизведения их ресурсов и нового функционального назначения.

Изменение концепции горных наук — от обоснования технических решений при разработке месторождений полезных ископаемых к выявлению закономерностей развития геосистем, установлению их параметров и методов управления функционированием в связи с последствиями освоения недр для природы и общества — позволяет впервые представить классификацию горных наук применительно к освоению и сохранению недр при добыче твердых полезных ископаемых (табл. 1.7).

Горные науки, которые объединены в группу «Горное недроведение», включают исследования свойств пород, горных массивов, георесурсов и недр в целом как средоточия различных природных и искусственно создаваемых образований, находящихся во взаимосвязи друг с другом. Исследование осуществляется с учетом изменения свойств георесурсов (разнообразия аномалий, масштабов и интенсивности их проявлений, пространственной локализации, сочетания, агрегатного состояния, экономических параметров и др.) под действием техногенных преобразований.

Научные дисциплины этой группы объединены общей идеей — выявить закономерности техногенной эволюции недр. Тогда можно будет судить о базе георесурсов для промышленности, получить представление о состоянии недр и оценить степень комплексности их освоения, сохранения и динамики возможных целенаправленных воздействий.

«Горная системология» включает в себя науки, которые изучают закономерности развития геосистем и выявляют последствия освоения недр для общества и природы.

«Геотехнология» объединяет науки об извлечении полезных ископаемых из недр и водоемов, предметом исследований которых являются технологические процессы, технические средства, технологии, способы и горные объекты, позво-

ляющие извлечь георесурсы из недр. Они же создают научные предпосылки для использования георесурсов тех видов, утилизация которых не предполагает их извлечения (например, подземные полости).

Таблица 1.7

Классификация горных наук

Группа горных наук	Горная наука
Горное недроведение	Горнопромышленная геология
	Геометрия и квалиметрия недр
	Геомеханика
	Разрушение горных пород
	Рудничная аэрогазодинамика
	Горная теплофизика
Горная системология	Теория проектирования освоения недр
	Экономика освоения георесурсов
	Горная экология
	Горная информатика
Геотехнология	Физико-техническая геотехнология
	Физико-химическая геотехнология
	Строительная геотехнология
	Геотехника
Обогащение полезных ископаемых	Технологическая минералогия
	Дезинтеграция и подготовка минерального сырья к обогащению
	Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов
	Физические и химические процессы извлечения полезных компонентов из природных и техногенных вод

Объединяющая идея — выявить научные предпосылки для технических решений, расширяющих функциональные возможности горных предприятий в преобразовании недр в целом. Теоретической основой могут стать положения о ресурсовоспроизводящих технологиях горного производства.

Знания, полученные в этой области, должны содействовать комплексному использованию пород, горных массивов, георесурсов и недр и изменению их функционального назначения.

В группу «Обогащение полезных ископаемых» входят науки об извлечении ценных компонентов из минерального сырья. Предмет этих наук — изучение основных закономерностей физических, физико-химических и химических процессов разделения и концентрации минералов природного и техногенного происхождения, взаимосвязи структурного, вещественного и фазового состава минерального сырья с его технологическими свойствами. Установленные закономерности — основа технологий и технических средств для извлечения из земных недр ценных компонентов и превращения их в продукты, пригодные для последующего использования в различных хозяйственных отраслях.

Взаимосвязь горных наук со смежными научными дисциплинами многогранна. Как науки междисциплинарные горные науки связаны с обширным кругом различных отраслей знания (рис. 1.10, см. вкл.).

Наибольшее взаимодействие горные науки имеют с науками геологическими, геофизическими и геохимическими они черпают из них новые знания о строении и формировании земной коры, эволюции геодинамических процессов, физико-химических закономерностях образования минералов, горных пород и коры

Земли. В более широком смысле речь идет об исследовании географических и геохимических основ образования месторождений полезных ископаемых.

В горном недроведении знания многих разделов математики и механики применяются при решении задач по оконтуриванию горных объектов (месторождений, их участков, сооружений, различного рода аномалий в массивах пород), геомеханики, разрушения горных пород, рудничной аэрогазодинамики, горной теплофизики. Сложность решения этих задач, как и других, например задач горной экологии, состоит в их большой размерности и нелинейном характере изменения параметров. Она в значительной мере преодолевается при использовании современных методов как вычислительной математики (в сочетании с компьютерными технологиями), так и математической статистики.

В геотехнологии следует активно использовать научные достижения математики и физики для решения вопросов деформирования горных пород в различных физических полях — механических, тепловых, радиационных, комбинированных, взаимодействия разрушаемых и разрушенных горных пород с горными машинами и горными сооружениями. На развитой физико-химической основе построена геотехнология, предполагающая извлечение георесурсов из недр через скважины с предварительным выщелачиванием полезных компонентов, их расплавлением или изменением свойств горного массива путем его упрочнения цементацией, смолоинъекцией, замораживанием и другими способами.

Без использования различных разделов физики и химии невозможна разработка важнейших научных проблем обогащения полезных ископаемых. Разделение и концентрация минералов, направленное изменение их свойств и агрегатного состояния предполагает изучение физических, физико-химических и химиче-ских, гравитационных, магнитных, электрических, радиационных, ультразвуковых, электрохимических, механических, плазменных и других процессов, протекающих в минеральных средах.

Законы массопереноса, теория разделения, а также закономерности физико-химической механики являются общими для всех обогатительных процессов.

При переработке полезных ископаемых с субмикрозернистым срастанием минералов целесообразно комбинирование гидро- и пирометаллургических процессов. А это предполагает использование горняками-обогатителями научных достижений в области металлургии.

Горные науки в группах «Геотехнология» и «Обогащение полезных ископаемых» немыслимы без применения разнообразной новой горной, транспортной и обогатительной техники. Решение проблем машиностроения, автоматизации, энергетики, управления производственными процессами имеет большое значение для развития этих наук.

Не менее важны для горных наук учет экономиче-ских знаний, использование их при освоении недр. В горном недроведении это сопряжено с изучением георесурсов как фактора общественного развития (при оценке источников георесурсов, например, месторождений полезных ископаемых, их отдельных качественных характеристик и георесурсного потенциала в целом).

В горной системологии экономические знания необходимы ученым для подсчета георесурсов как системообразующего горного фактора в производстве, для оптимизации структуры, параметров функционирования, пространственного размещения и организации взаимодействия геосистем различного уровня.

Аналогичную по значимости роль в развитии горных наук играет горная экология. Техногенное разрушение недр в процессе извлечения полезных ископаемых сопровождается сильным и часто необратимым изменением состояния не только литосферы, но и гидросферы, атмосферы и биосферы Земли. При этом ко-

ренным образом изменяются условия развития антропосферы. Экологическая оценка различных аспектов этих изменений, учет многообразия георесурсов, масштабов и технологических особенностей освоения, а также возможностей сохранения недр составляют основное содержание взаимодействия горных наук и геоэкологии.

Геосистемы по всем признакам относятся к категории сложных. В этой связи в горных науках активно используются общенаучные подходы, базирующиеся на системном анализе и современных информационных технологиях. При этом наибольшее применение находит разработка банков данных и баз знаний в различных предметных областях, автоматизированного проектирования и гибридных, в том числе имитационных многоуровневых моделей.

В горном производстве особое место занимают социальные проблемы и факторы экологической без-опасности. Весьма трудоемкое освоение недр требует привлечения значительных трудовых ресурсов. При этом труд горняков тяжел физически, опасен и не относится пока к числу наукоемких. В то же время обеспечение нынешнего и будущего общества минеральными ресурсами требует рассмотрения всех вопросов в контексте фундаментальной социальной проблемы устойчивого общественного развития.

При пользовании недрами должны быть в полной мере учтены два императива: социальный и экологический. Это обстоятельство для горных наук уже сейчас — не формальный, не чисто технический момент. Оно требует кардинального повышения наукоемкости горного производства и создает предпосылки для гуманизации труда горняков и повышения общественного статуса и престижа деятельности по освоению недр.

Необходим поиск радикальных решений, которые выводят горное производство на высший уровень совершенства. Наибольший рост его эффективности (с точки зрения социально-экономических и техниче-ских характеристик) ведет к созданию новых функциональных структур и появлению новых сфер применения.

Новая целевая ориентация горных наук открывает перед специалистами широкие возможности преобразования горного производства. Главное — создание новых функциональных и экономических структур, которые обеспечивали бы наивысшую эффективность преобразования. Особое значение имеет создание таких технологий, которые предполагают активное воздейст-вие на горный массив с помощью физических, химических и других методов и направлены на изменение условий залегания, агрегатного состояния, качества природных и техногенных образований, на создание или воссоздание полезных аномалий в свойствах минеральных сред.

1.5. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ НЕДР

Комплексное освоение недр для горных наук представляет собой базовое понятие. Вместе с тем оно рассматривается как учение и важное направление практической деятельности. Здесь находят взаимосвязь все основные отрасли горных знаний и направления исследований.

Развитие комплексного освоения недр осуществ-ляется этапами, приуроченными к определенным периодам времени.

На первом этапе оно как научное направление и одновременно актуальная проблема было выдвинуто и описано впервые академиком А.Е. Ферсманом еще в 1932 г. Комплексное освоение с позиций государственной значимости раскрыто и

обосновано академиками А.В. Сидоренко и Н.В. Мельниковым в конце 60-х — начале 70-х гг. Цель такого освоения состояла в укреплении минерально-сырьевой базы страны, что предполагало производство максимально широкой номенклатуры товарной продукции на основе повышения полноты и экономической эффективности извлечения полезных ископаемых в процессах их добычи и переработки.

В 1982 г. академик М.И. Агошков положил начало второму этапу развития понятия комплексного освоения недр. Им предложена классификация ресурсов земных недр по шести группам. В ней были обобщены имевшиеся на то время знания о ресурсном потенциале недр и технологических способах их освоения. С учетом этого комплексное освоение раскрыто с двух позиций: полного использования осваиваемых георесурсов (не только полезных ископаемых) и сочетания применяемых в процессе освоения существенно различных способов. Имелось в виду, что на этой основе может быть достигнут оптимальный народно-хозяйственный и социальный эффект от промышленного освоения ресурсов недр.

Академик К.Н. Трубецкой в 1990 г. развил данное представление. Он ввел новые понятия: «реально выявленные ресурсы недр», «потенциальные георесурсы», «ресурсовоспроизводящие функции горного производства» и «ресурсовоспроизводящие геотехнологии». Это позволило на третьем этапе включить в представление о комплексном освоении еще и процессы создания новых ресурсов недр, в том числе путем перевода потенциальных ресурсов (т. е. не полностью выявленных и оцененных) в реальные. Для этого необходимо изменение условий залегания минеральных образований, их качества, а также параметров, сроков формирования и состояния выработанного пространства.

Есть основания предположить, что следующий, четвертый этап развития комплексного освоения недр будет отличаться от предыдущих включением в состав ресурсов недр нового по содержанию экологического ресурса. Его сохранение, предотвращение сверхнормативного расходования, восстановление в необходимых параметрах — все это как целенаправленная дея-тельность по формированию в массивах горных пород участков с заданными свойствами с целью сохранения экологической функции недр должно рассматриваться в качестве нового вида их освоения в дополнение к известному перечню видов.

Глава 2

ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

2.1. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Все доступные для современного уровня техниче-ского развития минеральные ресурсы и основное количество энергетических ресурсов сосредоточены в теле нашей планеты.

В целом Земля имеет центрально симметричное строе-ние и представляет собой геоид, радиус которого по экватору 6378 км, а по меридиану 6356 км ($R_{ср}$ = 6371,11 км). На современном уровне наших знаний принято считать, что Земля имеет внутреннее ядро, внешнее ядро, мантию и земную кору (литосферу) (рис. 2.1, см. вкл.).

Земля окаймлена двумя оболочками: атмосферой и гидросферой. Мировой океан занимает 361,1 млн км^2, или 70,8 % поверхности земли, суша — 149,1 млн км^2, или 29,2 %.

Объем земли без атмосферы составляет 1083,4 $\times\times 10^{18}$ м^3, а масса земли — 5976×10^{21} кг.

Объектом промышленного освоения сегодня являются приповерхностные слои литосферы. Все остальное пока технически недоступно, а потому представляет собой минерально-сырьевую базу будущих поколений.

Содержание основных химические элементов в земной коре приведено в табл. 2.1.

Кристаллические химические соединения элементов, слагающие земную кору, называются минералами. Ассоциации минералов образуют горные породы. Изучением минералов занимается минералогия, а горных пород — петрография, в задачу которой входит исследование породообразующих минералов.

Выделяют три основные группы пород: изверженные (магматические), осадочные и метаморфические.

Изверженные породы образуются при кристаллизации расплавов (магмы), поднимающихся с больших глубин. Магма изливается на поверхность при извержении вулканов. Значительная часть расплавов кристаллизуется внутри земной коры.

Осадочные горные породы образуются в морях как продукт разрушения и переотложения ранее существовавших горных пород.

Метаморфические горные породы формируются в результате преобразований изверженных и осадочных пород, когда на них оказывают воздействие высокие температура и давление.

Земная кора на 95 % состоит из изверженных пород, представленных преимущественно гранитами. На континентах на глубине 15 – 30 км граниты залегают

сплошным слоем. В 100 т гранитных пород содержится в среднем 8 т алюминия, 5 т железа, 540 кг титана, 80 кг марганца, 30 кг хрома, 18 кг никеля, 9 кг меди, 4,5 кг вольфрама, 1,8 кг свинца. Осадочные отложения залегают на поверхности нашей планеты. В них содержатся нефть, газ, уголь, соли.

Таблица. 2.1.

Удельное количество разных элементов в земной коре

Химический элемент	Осадочная оболочка континеттов	Гранитная оболочка	Базальтовая оболочка континентов	Земная кора (без осадочной оболочки)
Кислород	48,4	48,0	46,0	46,1
Кремний	23,0	30,8	26,1	26,7
Аллюминий	6,2	8,0	8,1	8,1
Железо	3,6	3,5	6,7	6,0
Магний	2,1	1,2	3,0	3,0
Кальций	9,4	2,5	5,1	5,0
натрий	1,3	2,2	2,4	2,3
Калий	1,7	2,7	1,4	1,6
Титан	0,4	0,33	0,7	0,06
Фосфор	0,07	0,08	0,1	0,09
Всего	96,47	99,31	99,6	99,49

До настоящего времени общество вовлекает в эксплуатацию те элементы земной коры, которые в природных условиях сконцентрированы в виде минеральных и других ресурсов. Все эти ресурсы можно систематизировать по классам, группам и видам.

Согласно представлениям академика М.И. Агошкова, ресурсы земных недр разделяются на шесть основных групп.

I группа. *Месторождения полезных ископаемых.* В эту группу входят два основных вида.

Вид I.1. *Месторождения твердых, жидких или газообразных полезных ископаемых однородного состава,* представленные одной залежью или группой близко расположенных залежей с одинаковым или аналогичным химико-минералогическим однокомпонентным (мономинеральным) или многокомпонентным составом полезных ископаемых, для первичной переработки которых возможно применение единой технологии.

По условиям залегания, предопределяющим существенное различие в способах разработки, можно выделить месторождения, которые залегают:

а) в недрах земной суши вблизи ее поверхности или на глубине;

б) в прибрежной части земной суши;

в) на дне и под дном водоемов, рек, морей.

К первому виду относится основная часть месторождений руд черных, цветных, благородных, редких, радиоактивных металлов, угля, горючих сланцев, горно-химического сырья, строительных и технических материалов, нефти, битумных сланцев, природного газа.

Вид I.2. *Комплексные месторождения твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых*, представленные группой близко расположенных залежей с существенно различным химико-минералогическим составом. Разработку таких месторождений возможно, а иногда и технически необходимо вести совместно, из

единой сети горных выработок, в одном шахтном или карьерном поле переработку же добытых полезных ископаемых различного состава целесообразно выполнять раздельно или по разным схемам.

Условия залегания, которые предопределяют способ разработки этого вида месторождений, аналогичны перечисленным выше в пунктах а), б), в) первого вида.

Число и роль комплексных месторождений в горной промышленности со временем все более возрастает; также увеличивается многообразие их по сочетанию различных видов полезных ископаемых.

Среди твердых полезных ископаемых известны комплексные месторождения, представленные близко расположенными залежами руд цветных металлов — свинцово-цинковых, бокситов и черных металлов — железа и марганца; месторождений рудных ископаемых с находящимися в непосредственной близости от них залежами нерудных ископаемых, в частности строительных материалов в виде пластов кварцитов, даек крепких изверженных пород, массивов пород гранитно-гнейсового типа, которые представляют собой во многих районах страны остродефицитный ценный материал для получения строительного щебня. Значительно число рудных месторождений, вмещающие породы которых содержат пласты мела, известняка, песка, глины. Классическим примером такого типа комплексных месторождений являются, например, Лебединское и Стойленское месторождения Курской магнитной аномалии.

К числу комплексных месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых относятся многие газоконденсатные и нефтегазоконденсатные месторождения.

II группа. *Горные породы вскрыши, размещаемые при открытой разработке месторождений в породных отвалах*, часть которых может быть использована для получения строительных материалов. К этой же группе можно отнести раздельно складируемые в отвалах *добытые забалансовые по качеству полезные ископаемые*. В отвалах вскрыши и забалансовых полезных ископаемых заключено огромное количество продуктов недр, использование которых представляет задачу самой близкой перспективы.

III группа. *Отходы горно-обогатительного и металлургического производства* в виде отвалов горных пород от проходки подземных выработок (подобные отвалам пород вскрыши), отвалы хвостов обогатительных фабрик и промывочных установок золотосодержащих, оловоносных и других песков, отвалы металлургических шлаков. В практике значительные массы таких отходов, отвалов, приобретающие со временем промышленную ценность и вовлекаемые в разработку, иногда именуют «техногенными месторождениями». Особое место в этой группе ресурсов занимают отработанные воды обогатительного и металлургического производств, содержащие полезные компоненты. Промышленное использование — переработка их в некоторых случаях может быть экономически целесообразной.

IV группа. *Глубинные источники пресных, минеральных и термальных вод.* В связи с усилением дефицита поверхностных источников пресных вод стали эффективно эксплуатироваться подземные источники воды, часто имеющие огромные статические запасы и притоки. Что касается выгодности и перспектив использования глубинных минеральных и термальных вод, то пояснений к этому не требуется.

V группа. *Внутреннее — глубинное тепло недр земли* представляет в перспективе один из неиссякаемых и, возможно, наиболее дешевых источников тепловой энергии; использование его находится пока в самой начальной стадии, требует развития многоплановых научных исследований и постановки производственных экспериментов.

VI группа. *Природные и созданные человеком (техногенные) полости в земных недрах*, пригодные для размещения промышленно-хозяйственных и лечебных объектов, захоронения отходов производства и других целей. Использование этой группы ресурсов недр также находится в начальной стадии, имеет большие перспективы и требует широкого развития научных исследований.

2.2. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Полезные ископаемые — это природные минеральные вещества, которые при данном уровне техники могут быть использованы в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки.

Полезные ископаемые могут находиться в недрах Земли в твердом, жидком или газообразном состояниях.

Скопление твердого полезного ископаемого, залегающее среди горных пород, называется рудным телом. Руды залегают в земной коре в виде геологических тел различной формы.

Рассмотрим основные виды полезных ископаемых.

1. *Топливно-энергетическое сырье*, к которому относят нефть, газ, уголь, сланец, урановую руду.

Еще в начале века основными видами топлива были каменный и бурый уголь. По состоянию на конец 2005 г. в мировом энергетическом балансе уголь занимал 33,8 %, нефть — 35,9, газ — 24,9, гидроэнергия — 2,9, атомная энергия — 2,2, геотермальная и другие возобновляемые источники энергии — 0,2 %.

2. *Руды черных и легирующих металлов* являются сырьевой базой черной и цветной металлургии. Черная металлургия является потребителем марганцевых, хромитовых, никелевых, кобальтовых, молибденванадиевых руд. Их добыча растет также высокими темпами.

3. *Цветные металлы* — это медь, свинец, цинк, олово и др. За 70 лет XX в. в мире было добыто 94,3 млн т цветных металлов. В 2000 г. их производство удвоилось. Самыми высокими темпами увеличивается производст-во алюминия, самыми низкими — добыча меди (из-за ограниченности разведанных запасов).

4. *Благородные металлы* включают в себя золото, серебро, платиноиды. Основным производителем золота является Южно-Африканская Республика.

5. *Неметаллическое сырье* — апатит, фосфориты, калийные соли, асбест, сера, графит, алмазы, слюда, плавиковый шпат, строительные материалы.

Естественное скопление полезного ископаемого (минерала или агрегата минералов) в земной коре, разработка которого экономична, называется месторождением полезного ископаемого. Месторождения могут быть коренными и россыпными.

Россыпные месторождения образовались в процессе физического выветривания коренных горных пород и химического воздействия на них различных факторов. Россыпные месторождения разделяются на элювиальные (залегают на месте разрушения коренных пород), делювиальные (перемещенные на некоторое расстояние от коренного месторождения и в большинстве случаев являющиеся продолжением элювиальных), аллювиальные (перемещенные на значительные расстояния водными потоками), береговые, ледниковые и эоловые (элювиальные россыпи, перенесенные силой ветра).

По добываемому полезному ископаемому различают рудные и нерудные месторождения. Рудой называется естественное минеральное вещество, из которого путем соответствующей переработки извлекаются содержащиеся в нем металлы и полезные минералы (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Состав и плотность наиболее распространенных полезных минералов

Минерал	Состав	Плотность, т/м^3
1	2	3
Авгит	CA $(Mg,Fe,Al)[Si,Al)_2O_6]$	3,2 – 3,6
Азурит	$CU_3[Co_3]_2 (OH)_2$	3,7 – 3,9
Алмаз искусств.	C	3,5
Алмаз природн.	C	3,5
Альбит	$Na[AlSi_3O_8]$	2,6
Анатаз	TiO_2	3,8 – 3,9
Ангидрит	$Ca[SO_4]$	3,0
Андалузит	$Al_2[SiO_4]O$	3,2
Андрадит	$3CaO{\cdot}Fe_2O_3{\cdot}3SiO_3$	3,8
Антимонит	Sb_2S_3	4,6
Апатит	$(F,Cl,OH)Ca_5[PO_4]_3$	3,2
Арсенопирит	FeAsS	5,9 – 6,0
Асбест	$Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$	2,4 – 2,5
Аурипигмент	As_2S_3	3,4 – 3,5
Бадделеит	ZrO_2	5,6
Барит	$Ba[SO_4]$	4,2 – 4,6
Бастнезит	$(Ce,La,F)CO_3$	4,9 – 5,2
Берилл	$Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	2,7 – 2,8
Биотит	$K (Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$	3,0 – 3,1
Борнит	Cu_5FeS_4	4,9 – 5,3
Браннерит	UTi_2O_6	4,0 – 5,9
Брукит	TiO_2	4,1
Брэггит	(Pt,Pd,Ni)S	10,0
Висмут сам.	Bi	9,8
Вольфрамит	$(Fe,Mn)[WO_4]$	6,7 – 7,6
Галенит	PbS	7,5
Галит	NaCl	2,2
Гематит	Fe_2O_3	5,2
Гетит	FeOOH	4,3
Гиббсит	$Al (OH)_3$	2,4
Гиперстен	$(Mg,Fe) [Si_2O_6]$	3,3 – 3,5
Гипс	$CaSO_4x2H_2O$	2,3
Гранаты	$(Mg,Ca,Mn,Fe)_3(Al,Fe)_2[SiO_4]_3$	3,4 – 4,3
Графит	C	2,1 – 2,2
Гюбнерит	$MnWO_4$	6,7 – 7,5
Диопсид	$CaMg[Si_2O_6]$	3,3 – 3,4
Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	2,8 – 2,9
Золото сам.	Au	15,6 – 19,2
Ильменит	$FeTiO_3$	4,7
Кальцит	$CaCO_3$	2,7
Каолинит	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	2,6
Карналлит	$KMgCl_3x6H_2O$	1,6
Касситерит	SnO_2	6,3 – 7,2
Кварц	SiO_2	2,6

Продолжение табл. 2.2

1	2	3
Кианит	$Al_2O[SiO_4]$	3,6 – 3,7
Кобальтин	(Co,Fe)AsS	6,1 – 6,4
Ковеллин	CuS	4,7
Колумбит	$(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$	5,2 – 8,2
Корунд	Al_2O_3	3,9 – 4,4
Криолит	Na_3AlF_6	3,0
Ксенотим	YPO_4	4,4 – 5,1
Куприт	Cu_2O	5,8 – 6,2
Лейкоксен	$FeTiO_3 \rightarrow TiO_2$	3,6 – 4,3
Лимонит	$FeOOHxnH_2O$	2,2 – 2,4
Магнезит	$MgCO_3$	3,0
Магнетит	Fe_3O_4	4,8 – 5,2
Малахит	$Cu_2CO_3(OH)_2$	4,0
Магнатит	MnO(OH)	4,3
Марказит	FeS_2	4,6 – 4,9
Медь сам.	Cu	8,9
Микролин	$KALSi_3O_8$	2,6
Миллерит	NiS	5,2 – 5,6
Молибденит	MoS_2	4,7 – 4,9
Монацит	$(Ce,La)PO_4$	4,9 – 5,5
Муллит	$Al_6Si_2O_{13}$	3,2
Мусковит	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	2,8 – 3,0
Никелин	NiAs	7,6 – 7,8
Оливин	$(Mg,Fe)_2[SiO_4]$	3,3 – 3,4
Ортоклаз	$AlSi_3O_{10}$	2,5 – 2,6
Пентландит	$(Fe,Ni)_9S_8$	5,0 – 5,2
Периклаз	MgO	3,6 – 3,8
Перовскит	$CaTiO_3$	4,0
Пирит	FeS_2	4,9 – 5,1
Пироксен	$(Ca,Mg,Fe,Al)_2Si_2O_6$	3,1 – 3,6
Пиролюзит	MnO_2	5,0 – 5,1
Пироп	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	3,5
Пирохлор	$(Na,Ca...)_2(Nb,Ta...)_2O_6F$	3,8 – 5,0
Пирротин	$Fe_{x-1}S_x$	4,6 – 4,7
Платина сам.	Pt	14,0 – 21,5
Реальгар	As_4S_4	3,6
Родонит	$CaMn_4[Si_5O_{15}]$	3,6 – 3,7
Родохрозит	$MnCO_3$	3,7
Рутил	TiO_2	4,2 – 4,4
Сера сам.	S	2,1
Серебро сам.	Ag	10,1 – 11,1
Серпентинит	$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	2,5 – 2,7
Сидерит	$FeCO_3$	3,9
Силлиманит	$Al_2O_3[SiO_4]$	3,2
Сильвин	KCl	2,0
Смитсонит	$Zn[CO_3]$	4,1 – 4,5
Сперрилит	$PtAsS_2$	10,6

Окончание табл. 2.2

1	2	3
Спессартин	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	4,2
Сподумен	$LiAl(SiO_3)_2$	3,1 – 3,2
Ставролит	$Fe^{2+}Al_4[Si_4O_{11}]_2O_2(OH)_2$	3,6 – 3,8
Станнин	Cu_2FeSnS_4	4,3 – 4,5
Сфалерит	ZnS	3,9 – 4,0
Сфен	$CaTi[SiO_4](F,OH)$	3,3 – 3,6
Тальк	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	2,7 – 2,8
Танталит	$(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$	5,2 – 8,2
Тапиолит	$Fe(Ta,Nb)_2O_6$	7,3 – 7,8
Топаз	$Al_2SiO_4(F,OH)_2$	3,5 – 3,6
Торианит	ThO_2	9,1 – 9,5
Торит	$ThSiO_4$	4,2 – 6,7
Ферберит	$FeWO_4$	7,5
Флюорит	CaF	3,2
Франклинит	$(Zn,Mn)Fe_2O_4$	5,1 – 5,2
Хлорит	$(Mg,Al,Fe)_{12}[(SiAl)_8O_{20}](OH)_{16}$	2,6 – 3,2
Хризоколла	$CuSiO_3xnH_2O$	2,0 – 2,3
Хромит	$(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4$	4,2 – 4,8
Целестин	$SrSO_4$	3,9 – 4,0
Церуссит	$PbCO_3$	6,6
Циркон	$ZrSiO_4$	4,7
Шеелит	$CaWO_4$	5,8 – 6,2
Шпинель	$MgAl_2O_4$	3,6 – 4,0
Эпидот	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	3,2 – 3,5

Каждое месторождение полезных ископаемых располагается в пределах литосферы нашей планеты и поэтому представляет собой литосферный объект с физически выраженными или условными границами, главным свойством и идентификационным признаком которого является хозяйственная ценность вещества литосферы внутри этих границ.

Для использования полезных свойств этого объекта необходимо отделить его от окружающих пород и вынуть на поверхность с помощью комплекса работ, которые принято называть добычными. Поэтому в таком качестве определяющее значение приобретают горно-геологические свойства этого участка литосферы, т. е. те характеристики, от которых будет зависеть выбор решений по извлечению полезного ископаемого из литосферы.

Но так как в современной экономике основным и обязательным условием проведения любых действий является их доходность, то каждое месторождение может быть рассмотрено как экономический объект, главным свойством которого является положительная разница между ценностью получаемого из литосферного вещества и затратами на его извлечение. И, наконец, любое месторождение, будучи частью литосферы, является частью абиоты (неживой составляющей) всей экосистемы планеты Земля и каждой из ее частей. Поэтому использование вещества месторождения в хозяйственных целях меняет условия существования экосистем всех иерархических уровней и может быть рассмотрено как экосистемный объект, главным требованием к которому является сохранение биоты (живой части) экосистем.

Сущность профессии горного инженера заключается в извлечении из земной коры необходимых минеральных ресурсов с обязательным обеспечением опти-

мального баланса между требованиями и ограничениями, вытекающими из многозначности понятий месторождение полезного ископаемого и разработка месторождений.

Вполне очевидно, что извлечение из земных недр части вещества приводит к нарушению установившегося равновесия и тем самым изменяет свойства и состояние определенных участков литосферы с образованием в ней нового объекта — техногенно измененных недр. Этот объект можно представить себе как некий объем, окруженный нетронутой литосферой, внутри которого находится зона техногенного разрушения литосферы и зона спровоцированного этим разрушением изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород.

Так как понятие «техногенно измененные недра» включает в себя также участки литосферы, затронутые сопутствующими изменениями при сохранении плотности горных массивов, то принципиальное значение приобретает вопрос о внешней границе этих сопутствующих изменений состояния, т. е. о границах нового техногенного литосферного объекта.

Задача о переходах между двумя системами с различными свойствами тоже рассматривается в теоретической экологии, где сформулировано понятие экотона — зоны перехода между различными биологическими сообществами, в которой проявляются их встречные влияния. Как видно из рисунка 2.2, экотон представляет собой полосу на поверхности, в пределах которой свойства контактирующих систем вырождаются до нуля. Закон вырождения свойств в каждом конкретном случае определяется свойствами систем и характером их взаимодействия. Такая модель достаточно адекватно описывает процессы взаимодействия техногенно измененных недр с невозмущенной литосферой. Она трехмерна: техногенно измененные недра предстают в виде замкнутого объемного литосферного объекта, ограниченного в пространстве двумя условными поверхностями «нулевого» влияния контактирующих систем; на внутренней поверхности не проявляется влияние невозмущенной литосферы, а на внешней — техногенно измененных недр (рис. 2.2).

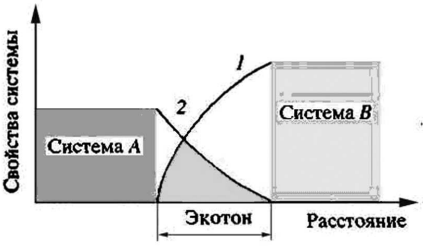


Рис. 2.2. Принципиальная схема формирования зоны перехода свойств (экотона) на контакте двух различных систем:

1 — закон вырождения свойств системы B; 2 — закон вырождения свойств системы A

Состояние породного массива в зоне прямого техногенного воздействия определяется особенностями процессов извлечения полезных ископаемых, т. е. набором необходимых для этого неизбежных действий. Если отвлечься от частностей, то для осуществления главной целевой функции добычи минерального сырья — включения части ресурсов литосферы в оборот вещества и энергии техносферы — необходимо обеспечить: доступ с земной поверхности к месту залегания полезного компонента, придать этому компоненту подвижность и выдать его на поверхность Земли. Это три обязательных этапа обобщенной функциональной модели техногенного изменения недр при добыче минерального сырья.

При строительстве подземных сооружений, когда полезным компонентом является пустота (создаваемые полости), схема остается в принципе такой же, но на втором этапе подвижность придается не полезному компоненту, а материалу литосферы, заполняющему будущую полезную полость. Тот же материал выдается на поверхность на третьем этапе.

В рамках функциональной модели добычи полезных ископаемых не существует качественных различий между открытым и подземным способом разработки месторождений. Разница между ними заключается только в величине соотношения размеров горизонтального сечения выработок доступа ($S_д$) и отрабатываемого участка литосферы ($S_{от}$): $S_д \geq S_{от}$ — открытая разработка; $S_д < S_{от}$ — подземная разработка (включая скважинную добычу флюидов).

Новое для вещества литосферы свойство — подвижность — может быть обеспечено в рамках применяемых геотехнологий либо дезинтеграцией этого вещества в заданном объеме (большая часть твердых полезных ископаемых), либо изменением его агрегатного состояния (например, выплавка серы), либо путем создания условий для миграции полезного компонента — физиче-ских (нефть, газ, вода, тепло) или химических (выщелачивание металлов на месте залегания).

Применительно к первому случаю все многообразие технических и технологических решений, используемых при освоении месторождений твердого минерального сырья, можно объединить в несколько групп, каждая из которых по-своему влияет на изменение свойств природных объектов литосферы, характеризуется определенными геомеханическими параметрами, динамикой и масштабами последствий техногенного вторжения в литосферу.

Для каждой из групп характерны свои, только ей присущие способы техногенного изменения свойств участков литосферы и специфические последствия, проявляющиеся при восстановлении равновесия в техногенно измененных участках недр после завершения процессов добычи полезных ископаемых. Характерные особенности каждой группы могут быть с успехом использованы для разработки обобщенных моделей техногенного вторжения в природные объекты литосферы, прогноза последствий такого вторжения и механизма воспроизводства устойчивых динамических структур окружающей среды после отработки месторождения.

К первой группе относятся технические и технологические решения, связанные с образованием полостей различной конфигурации в недрах литосферы, которые обладают природной способностью противостоять возмущению исходного поля напряжений, вызванному появлением полостей. Возникающие на контуре выработок напряжения и деформации со временем релаксируют без сколько-нибудь заметного влияния на окружающий массив. Время существования таких выработок может исчисляться столетиями, и они не вызывают существенных изменений в окружающих их природных объектах (образованиях) литосферы.

Сюда относятся выработки различного назначения при подземном строительстве, очистные выработки при добыче штучного камня, каменной соли, руд черных и цветных металлов, особенно при разработке месторождений под дном морей и водоемов, когда несущие целики рассчитываются на длительную прочность с большим запасом. Этот способ выемки характеризуется низким (около 30 — 40 %) извлечением полезного ископаемого; основная масса запасов месторождения при этом сосредоточена в целиках. Развитие возмущений в литосфере при таком способе техногенного воздействия ограничивается поверхностными изменениями на контуре выработок и оставленных несущих опор, а вся картина перераспределения напряжений исходного поля охватывает незначительную часть массива, непосредственно прилегающую к выработанному пространству. Поведение таких выработок хорошо описывается классическими задачами теории упругости.

Характерной особенностью открытого способа разработки является то, что в соответствии с принятым порядком работ полезное ископаемое изымается только после того, как вынуты налегающие породы, в которых могли бы произойти изменения геофизических свойств. Поэтому описанная выше общая модель тех-

ногенно измененных недр принимает вид, в котором зона полного разрушения и техногенного изъятия материала литосферы целиком поглощает зону изменения физических свойств, и в состав техногенно измененных недр входят только собственно объем карьера и прилегающая к его внешним контурам зона перехода геофизических свойств.

Ко второй группе относятся наиболее распространенные в угольной промышленности, черной и цветной металлургии, на предприятиях химической промышленности технологии добычи минерального сырья с обрушением налегающей толщи пород. Различные модификации данного способа разработки применяются при выемке пологих, наклонных и крутых залежей любой формы, начиная с поверхности и до глубин, исчисляемых тысячей и более метров. Основная отличительная черта этих технологий — обязательное обрушение налегающей толщи пород вслед за выемкой полезного ископаемого. Отработка месторождения осуществляется планомерно сверху вниз при выемке крутопадающих либо наклоннопадающих рудных тел (пластов) от центра к флангам или от одного фланга к другому при выемке пологих залежей (пластов).

В результате по мере отработки месторождения происходят заполнение выработанного пространства обрушенными вмещающими породами, развитие зон неупругих перемещений за зоной непосредственного разрыхления пород и образование мульды сдвижения пород на поверхности. Эти процессы развиваются параллельно с отработкой месторождения, после чего происходят постепенное затухание необратимых деформаций во вмещающих породах и уплотнение обрушенных пород внутри мульды сдвижения. В случае, когда осуществляется разработка месторождения в очень проч-ных, жестких породах, происходит запаздывание с обрушением основной массы налегающих пород, образуется зависающая консоль монолитных пород висячего бока, которая затем может мгновенно сдвинуться в сторону выработанного пространства, генерируя сейсмические колебания большой энергии, соизмеримые с природным землетрясением (Апатиты, Таштагол).

При выемке пластовых месторождений формирование мульды сдвижения и ее параметров происходит аналогичным образом; этот механизм хорошо изучен для отдельных горных регионов (Донбасс, Кузбасс, Печорский угольный бассейн).

В целом модель техногенного вторжения такого рода может рассматриваться как объем определенных размеров, изменение которого сопровождается необратимыми процессами в ближней зоне и последующим ее уплотнением за счет распространения неупругого расширения (разрушения) пород вглубь массива. Границы зоны техногенного изменения пород литосферы определяются условием достижения равновесия между величиной реакции бокового распора нетронутого массива и отпором, создаваемым обрушенными и уплотненными породами зоны обрушения.

Третья группа технологий разработки месторождений минерального сырья связана с заполнением выработанного пространства искусственно получаемым материалом с определенными прочностными и деформационными свойствами. Иногда для уменьшения величины деформаций налегающей толщи пород и сокращения затрат на создание искусственного материала в выработанном пространстве оставляют регулярные вертикальные целики, работающие за пределом прочности. Размещенные в массиве закладки, они выполняют роль арматуры, изменяя деформационные свойства материала, заполняющего выработанное пространство.

Аналогичным образом происходит деформирование вмещающих пород при разработке нефтяных и газовых месторождений, когда по мере выработки нефти и газа снижается противодействие давлению налегающих пород, и они плав-

но оседают над продуктивной толщей на величину, соизмеримую с изъятым объемом. Таким образом, третья модель техногенного вторжения в литосферу характеризуется тем, что материал литосферы замещается техногенным материалом с известными (заданными) прочностными и деформационными свойствами, которые определяют масштабы переходной зоны, формирующей техногенно измененные недра как новый литосферный объект. По характеру релаксационных процессов эта модель занимает промежуточное положение между двумя представленными выше.

Глава 3

ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

3.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Освоение запасов любого месторождения представляет собой создание и эксплуатацию технической системы по добыче и переработке вещества литосферы, которое всегда сопровождается разрушением как абиоты, так и биоты природных экосистем. В настоящее время в обиход вошло понятие природно-технической системы как единого объекта, состоящего из природной и технической частей, которые взаимосвязаны друг с другом и выполняют единую социально-экономическую функцию. В этой системе добычу полезного ископаемого осуществляет *горное предприя-тие* — самостоятельная производственная единица, осуществляющая эксплуатационную разведку, добычу и обогащение полезных ископаемых. Горное предприя-тие, осуществляющее добычу и первичное обогащение полезных ископаемых, называется горнодобывающим. Существуют следующие виды горнодобывающих предприятий: шахта, рудник, карьер, разрез, прииск, промысел.

Шахта — горное предприятие, предназначенное для добычи в основном угля подземным способом.

Рудник — горное предприятие, служащее в основном для подземной добычи руд, горно-химического сырья и строительных материалов. Этим понятием иногда пользуются для обозначения нескольких шахт (карьеров), объединенных в единую административно-хозяй-ственную единицу с централизованным хозяйством.

Карьер — горное предприятие, осуществляющее добычу полезных ископаемых открытым способом. Разрез — это карьер по добыче угля.

Прииск — горное предприятие по разработке россыпных месторождений (золота, алмазов, олова и др.).

Промысел — горное предприятие по разработке жидких и газообразных полезных ископаемых (нефтяной промысел).

Производительность горных предприятий, называемая также производственной мощностью, исчисляется в тоннах полезного ископаемого, добываемого в течение года. Производительность горных предприя-тий устанавливают в зависимости от величины балансовых запасов полезных ископаемых в шахтных (карьерных) полях и потребности в них. Для рудников и шахт она составляет от десятков тысяч до нескольких миллионов тонн; производственная мощность крупных карьеров нередко измеряется десятками миллионов тонн.

Производительность горного предприятия A, т/год, срок его существования T и запасы полезного ископаемого в шахтном (карьерном) поле K взаимосвязаны следующим выражением: $A = K/T$.

Сроки существования горных предприятий выбирают в пределах от 5 — 7 до 50 лет и более. На крупных шахтных (карьерных) полях сооружают горные предприятия большой производственной мощности с длительным сроком существования.

Все работы при функционировании любого горного предприятия ведутся только в пределах горного отвода.

Горный отвод — часть недр, предоставленная организации или предприятию для промышленной разработки содержащихся в ней залежей полезных ископаемых. Горный отвод не дает право на использование поверхности в его границах, т. е. площадь горного отвода не отождествляется с площадью земельного отвода, а определяется производственной мощностью и сроком службы горного предприятия. Предоставление и оформ-ление горного отвода осуществляют органы Госгортехнадзора.

Разработкой месторождения называют комплекс работ по вскрытию, подготовке и очистной выемке. Эти работы являются стадиями разработки месторождения. Вскрытие и подготовка осуществляются посредством проведения выработок. Забои проводимых выработок называют подготовительными. Выемку (добычу) полезного ископаемого ведут в очистных забоях, применяя при этом различные способы его разрушения. Это в общем справедливо для твердых полезных ископаемых как при подземных, так и открытых горных работах.

Для строительства наземной части горного предприятия выделяется *земельный отвод* — участок земельной площади, предоставленный в пользование предприятию или организации с определенным целевым назначением. Типовая структура земельного отвода горнодобывающего предприятия включает в себя:

- промплощадку рудника;
- отвалы пород и бедных руд;
- внутренние транспортные магистрали;
- промплощадку обогатительной фабрики;
- хвостохранилище;
- территорию под жилой фонд.

В состав природной составляющей при создании природно-технической системы входят участки:

- литосферы в пределах горного отвода;
- литосферы с измененными геофизическими свойствами;
- природных экосистем в пределах земельного отвода;
- природных экосистем вокруг земельного отвода, на которые распространяется воздействие техногенных факторов горного производства.

3.2. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУДНЫХ ТЕЛ

Как было показано ранее, объектами приложения усилий и экономического интереса человека в лито-сфере являются месторождения полезных ископаемых, т. е. скопления природных минеральных образований, которые могут быть использованы обществом с достаточным экономическим или другим эффектом.

Любое месторождение представляет собой систему залежей полезного ископаемого, количество которых может достигать десятков и сотен единиц.

Из признаков, характеризующих месторождение, наибольшее влияние на технологию их разработки оказывают морфология, форма, размеры и условия залегания.

По морфологии рудные месторождения принято разделять на пластовые, пластообразные, жильные, линзообразные, штокверковые, гнездообразные, штокообразные (рис. 3.1).

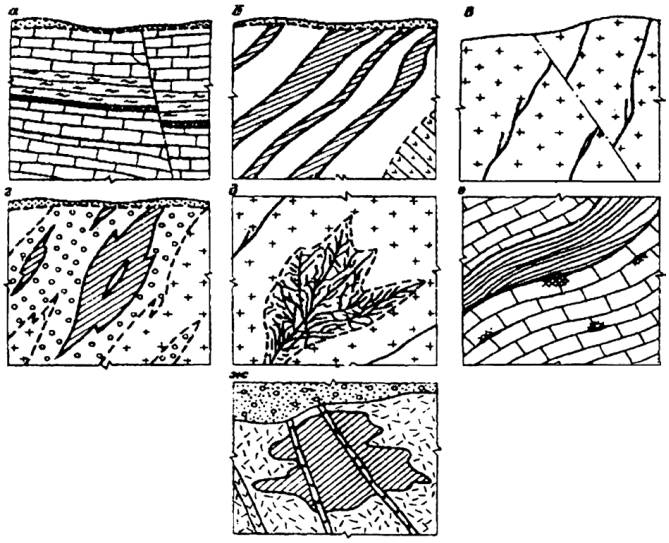


Рис. 3.1. Формы рудных тел (вертикальные, поперечные разрезы):
а — пластовые; б — пластообразные; в — жильные; г — линзообразные; д — штокверк; е — рудные гнезда; ж — штокообразные

Пластовые имеют выдержанную толщину пласта, постоянный угол падения, а также четкие и параллельные друг другу контакты с вмещающими породами.

Пластообразные характеризуются нестабильной формой и толщиной пласта, изменчивыми углами падения и не совсем параллельными контактами. Одной из разновидностей таких месторождений являются *жильные*, которые бывают простыми (с относительно выдержанными элементами залегания) и сложными, в том числе и с нечеткими контактами с вмещающими породами или состоящими из ряда тонких жил и множества прожилков различной ориентации.

Линзообразные имеют форму, напоминающую выпуклую линзу различных размеров и с различными углами падения.

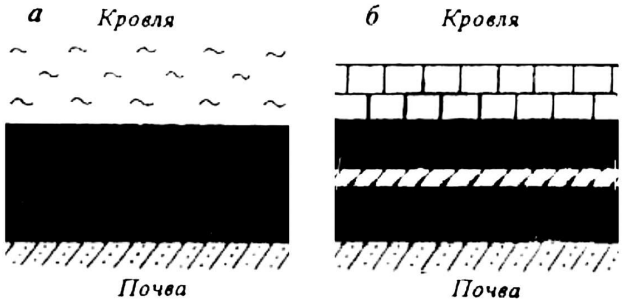


Рис. 3.2. Строение пластов:
а — простое; б — сложное

Штокверковые представляют собой рудный массив неправильной формы, образованный густой сетью различно ориентированных рудных прожилков, прорезывающих пустую породу.

Гнездообразные состоят из мелких по размеру рудных тел (гнезд) неправильной формы.

Штокообразные представляют собой рудное тело неправильной формы и очень больших размеров, примерно одинаковых по всем направлениям.

По форме залежи (рудного тела) месторождения твердых полезных ископаемых подразделяются на *правильные* и *неправильные*. К правильным относятся пласты (рис. 3.2) и пластообразные залежи.

Пластом называется плитообразная залежь, имеющая значительное распространение в земной коре и ограниченная двумя более или менее параллельными плоскостями. Весьма тонкие пласты, не разрабатываемые вследствие малой мощности (до 0,4 м), называются пропластками. Плоскости соприкосновения пластов отдель-ных пород называются плоскостями напластования.

Породы, залегающие над пластом полезного ископаемого, называются кровлей или висячим боком, залегающие ниже пласта — почвой или лежачим боком.

Пласты могут иметь однородное (простое) и сложное строение. Тонкие слои пустой породы, заключенные в пласте, называются *прослойками*.

Правильную форму залегания обычно имеют залежи полезных ископаемых осадочного происхождения (уголь, горючие сланцы, различные соли, гипс, марганцевые руды и т. п.).

Часть пласта, выходящая на земную поверхность или находящаяся неглубоко от нее под наносами, называется выходом пласта. Пласты залегают согласно, если они в земной коре расположены параллельно друг другу. Несколько согласно залегающих пластов составляют свиту.

К неправильным залежам относятся жилы, штоки, гнезда, линзы (рис. 3.3) Неправильную форму залегания имеют, как правило, рудные залежи.

Жилой называется заполненная минеральным веществом трещина в земной коре. Жилы бывают простые и сложные. Ответвления от жил называют апофизами.

Такие формы залегания, как штоки, линзы, гнезда, представляют собой полости в земной коре, заполненные минеральным веществом. Они отличаются друг от друга формой и размерами. Подобную форму залегания имеют залежи железных, медных, полиметаллических и других руд. В горнорудной подотрасли залежи полезного ископаемого обычно называют *рудными телами.*

Пласты горных пород в период образования залегали более или менее горизонтально, но под действием тектонических (горообразовательных) процессов, протекавших в земной коре, первоначальное залегание пород нарушалось в той или иной степени. В некоторых районах пласты оказались собранными в складки. Они могут занимать любое положение в земной коре.

Нарушения нормального залегания пластов называются дислокациями. Дислокации без разрыва сплошности называются пликативными, с разрывом сплошности — дизъюнктивными.

К пликативным нарушениям относятся утолщения и утончения пластов, а также складчатость (рис. 3.4).

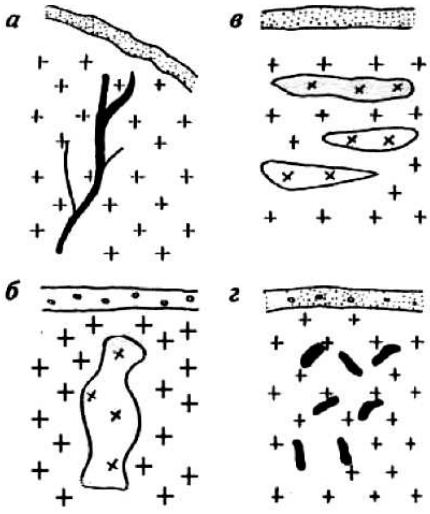


Рис. 3.3. Формы залегания рудных тел:
а — жила; б — шток; в — линзы; г — гнезда

Складка, обращенная выпуклостью вниз, называется синклиналью, а выпуклостью вверх — антиклиналью.

К дизъюнктивным нарушениям относятся сбросы, взбросы, надвиги и др. (рис. 3.5).

Положение пластов в земной коре определяется элементами их залегания. К ним относятся простирание и падение пластов (рудных тел).

Протяжение рудного тела в длину называется *простиранием*.

Линия пересечения рудного тела с горизонтальной плоскостью называется линией простирания (рис. 3.6).Направление простирания (азимут простирания) определяется углом, который составляет линия простирания с меридианом.

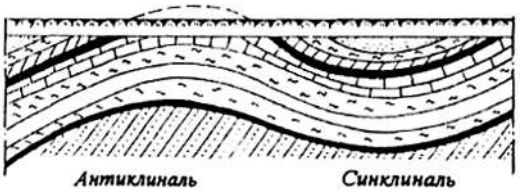


Рис. 3.4. Складчатость месторождения

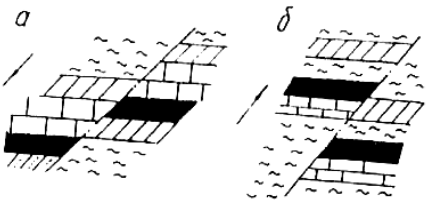


Рис. 3.5. Дизъюнктивные нарушения: а — сброс; б — взброс

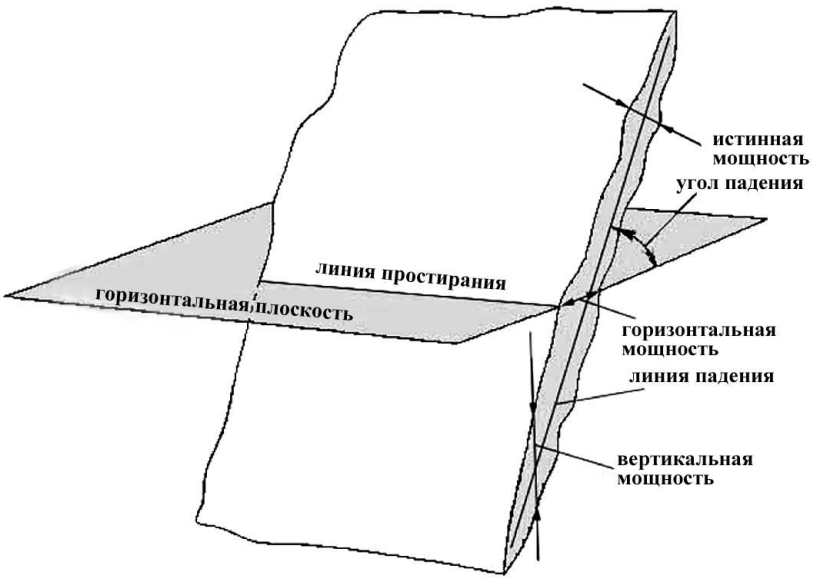


Рис. 3.6. Элементы залегания пласта

Линия, лежащая в плоскости рудного тела перпендикулярно линии простирания, называется линией падения, а само направление этой линии — *падением пласта*.

Угол, который составляет линия падения пласта с горизонтальной плоскостью, называется углом падения пласта. В зависимости от формы залегания, вида полезного ископаемого и способа разработки залежи полезных ископаемых делят на горизонтальные, пологие, крутонаклонные и крутые (табл. 3.1).

Мощность пласта или иной залежи как элемент залегания представляет собой расстояние по нормали между кровлей и почвой. Такую мощность т называют истинной, или нормальной. Расстояние между кровлей и почвой, измеряемое по горизонтали, называют горизонтальной мощностью $m_г$, а по вертикали — вертикальной мощностью $m_в$.

Таблица 3.1

Классификация залежей полезных ископаемых по углу падения

Тип пласта (залежи) по углу падения	Угол падения, градус		
	угольных пластов		рудных залежей
	при подземном способе разработки	при открытом способе разработки	
Горизонтальный	–	0	0
Пологий	0 – 18	до 10	до 25
Наклонный	19 – 35	10 – 30	25 – 45
Крутонаклонный	36 – 55	–	–
Крутой	> 56	> 30	> 45

Поскольку в пределах залежи полезного ископаемого мощность ее, как правило, изменяется, на практике употребляют термин *средняя мощность*. Так как пласты, например угля, нередко имеют сложное строение, то различают *полезную* (без прослойков) и *полную* (с прослойками) мощность. При разработке угольных месторождений иногда вынимают только часть мощности пласта, которую называют *вынимаемой* мощностью. Различают также *минимальную* мощность пласта. Минимальная мощность, при которой разработка пласта целесообразна, называется *рабочей мощностью*.

Классификация угольных пластов и рудных залежей по нормальной мощности представлена в табл. 3.2. Различие классификаций обусловлено также особенностями технологии и способа разработки. Элементы залегания пластовых месторождений являются более или менее выдержанными. Для рудных тел они изменяются, как правило, в широких пределах.

Это деление по углу падения и мощности связано с тем, что их величины соответствуют различным условиям разработки и применению различных способов выемки (непосредственной добычи) руды.

Таблица 3.2

Классификация залежей полезных ископаемых по мощности

Тип пласта (залежи) по мощности	Мощность, м			
	угольных пластов			рудных месторождений
	при подземной разработке	при открытой разработке		
		горизонтальные и пологие	наклонные и крутые	
Весьма тонкий	до 0,7	–	–	до 0,6
Весьма малой мощности	–	до 3 – 5	до 15 – 25	–
Тонкий	0,71 – 1,2	–	–	0,6 – 2
Малой мощности	–	6 – 20	25 – 75	–
Средней мощности	1,21 – 3,5	20 – 40	75 – 100	2 – 5
Мощный	>3,5	–	–	5 – 20
Весьма мощный	–	–	–	>20
Большой мощности	–	>40	>100	–

3.3. СПОСОБЫ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для осуществления главной целевой функции добычи минерального сырья — включения части ресурсов литосферы в оборот вещества и энергии техносферы — необходимо обеспечить *доступ* с земной поверхности к месту залегания полезного компонента, придать этому компоненту подвижность и выдать его в этом

состоянии на поверхность Земли. Таким образом, обобщенная функциональная модель добычи полезного ископаемого включает в себя три обязательных этапа:

— доступ с поверхности к месту дислокации в литосфере участка с полезными свойствами;

— придание подвижности полезному компоненту, залегающему в литосфере;

— выдача полезного компонента в подвижном состоянии на поверхность Земли.

При строительстве подземных сооружений, когда полезным компонентом является пустота (создаваемые полости), схема остается в принципе такой же, но на втором этапе подвижность придается не полезному компоненту, а материалу литосферы, заполняющему будущую полезную полость. Этот же материал выдается на поверхность на третьем этапе.

По тому, каким образом обеспечивается доступ с поверхности к потенциально полезному для экономики участку литосферы, существуют два способа разработки месторождений — подземный и открытый.

Прежде чем раскрыть содержание этих двух способов, необходимо ввести еще одно фундаментальное для горного дела понятие — *горной выработки*.

Под *горной выработкой* следует понимать любую искусственно созданную в литосфере выемку с полностью замкнутым или незамкнутым контуром. Каждая горная выработка характеризуется формой и величиной поперечного и продольного сечений, длиной, направлением и функциональным назначением.

При подземной разработке месторождений доступ к залежам полезного ископаемого осуществляется путем проведения с поверхности через толщу налегающих пород специальных (вскрывающих) выработок, поперечное сечение которых намного меньше площади залежи.

При открытой разработке вся толща налегающих пород над рудной залежью полностью удаляется.

Каждый из этих способов имеет свои сильные и слабые стороны, баланс которых в виде экономических и экологических показателей и определяет в каждом конкретном случае выбор между этими способами.

Сочетание этих способов обычно называют *комбинированным способом*.

Кроме того, используют физико-химические способы разработки месторождений, а также добывают полезные ископаемые со дна морей и океанов.

Подземную разработку месторождений осуществ-ляют исключительно посредством проведения подземных горных выработок, при этом извлечение полезных ископаемых производят под толщей перекрывающих пород. Подземный способ широко применяют при добыче углей, сланцев, рудных и нерудных полезных ископаемых, россыпей и ограниченно — при добыче минерального сырья для производства стройматериалов. Подземным способом разрабатывают тела полезных ископаемых различных форм, мощности, углов падения, залегающие на разных глубинах.

В настоящее время подземную добычу полезных ископаемых осуществляют как на глубине всего 20 — 30 м, так и на глубине, измеряемой многими сотнями метров и первыми километрами.

Открытую разработку месторождений осуществ-ляют с использованием в основном открытых горных выработок (подземные выработки в ряде случаев используют в качестве транспортных). При открытой разработке извлечение полезных ископаемых осуществляют непосредственно с земной поверхности после удаления покрывающих пород.

Открытый способ разработки применим к месторождениям различных полезных ископаемых, в том числе к месторождениям сырья для производства стройматериалов (песка, гравия, щебня, глины, известняков и др.). Этим способом осуществляют разработку тел полезных ископаемых, имеющих различные размеры,

достаточно большую мощность и залегающих преимущественно горизонтально или под небольшими углами наклона (впрочем, при очень большой мощности этот способ применяют и для крутопадающих тел полезных ископаемых). Открытая разработка месторождений производится до относительно небольших глубин — от нескольких метров (при добыче сырья для производства стройматериалов) до 700 м (при добыче угля, алмазов и руд).

В ряде случаев разработку верхней части месторождения полезных ископаемых осуществляют открытым способом, а нижнюю, глубокозалегающую — подземным; или наоборот, производят отработку подземным, а затем открытым способами. Открытые и подземные работы взаимоувязывают; способ разработки получил название *комбинированного* или, реже, совместного (при одновременном ведении открытых и подземных работ).

Физико-химическая разработка заключается в физическом, химическом или физико-химическом воздействии на полезное ископаемое или его ценные компоненты (растворение, разжижение, расплавление, перевод в жидкое или газообразное состояние) с целью извлечения их из породной массы (недр или отвалов) и выдачи по скважинам или другим каналам на поверхность. Такую разработку относят к специальной и называют иногда скважинной, или безлюдной (последнее название основывается на том, что в процессе добычи люди не находятся в горных выработках).

Физико-химическое извлечение осуществляют при всех способах разработки. В настоящее время ее применяют для добычи некоторых рудных и россыпных месторождений, серы и угля, для разработки забалансовых запасов полезных ископаемых, добыча которых обычными способами нерентабельна. В последнее время добыча полезных ископаемых физико-химическим методом производится из отвалов некондиционных руд и пустых пород. В будущем можно ожидать расширения области применения этой технологии освоения месторождений.

Морская добыча полезных ископаемых включает в себя разработку россыпных месторождений на шельфах, разработку месторождений, располагающихся на морском дне и под ним. Во всех случаях (за исключением прибрежных месторождений, расположенных под морским дном) осуществляют подводную добычу полезных ископаемых с различных плавающих специализированных судов. Практика морских разработок месторождений твердых полезных ископаемых в настоящее время еще не нашла широкого распространения; из морских месторождений, в основном на шельфе, осуществляют добычу магнетитовых и титаномагнетитовых песков, россыпного золота и платины, редкоземельных элементов, меди, серы, марганца, олова, никеля, кобальта и других полезных ископаемых.

3.4. ПОНЯТИЕ О ЗАПАСАХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ПОЛНОТЕ И КАЧЕСТВЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Каждое горнодобывающее предприятие создается для извлечения какого-то количества полезного ископаемого, обнаруженного в недрах при проведении геолого-разведочных работ. Это количество и называется *запасами* для данного предприятия. Разведка месторождений сопровождается подсчетом запасов полезных ископаемых в недрах.

В зависимости от степени разведанности месторождения или его части, изученности качества минерального сырья и горнотехнических условий разработки месторождений запасы разделяют на четыре категории (A, B, C_1 и C_2).

К категории A относят часть запасов, изученных с детальностью, которая обеспечивает: полное выявление условий залегания, форм и строения тел полезных

ископаемых, природных типов и промышленных сортов минерального сырья, их соотношения и пространственного положения; выделение и оконтуривание безрудных и некондиционных участков внутри тел полезных ископаемых; полное выяснение качества, технологических свойств полезного ископаемого и природных факторов, определяющих условия проведения горно-эксплуатационных работ.

К категории *B* относят часть запасов, характеризующихся изученностью, которая обеспечивает: выяснение основных особенностей условий залегания, формы и характера строения тел полезных ископаемых, природных типов и промышленных сортов минерального сырья и закономерностей их распределения без точного установления пространственного положения каждого типа; соотношений и характера безрудных и некондиционных участков внутри тел полезных ископаемых без точного их оконтуривания; качества, основных технологических свойств полезных ископаемых и главных природных факторов, определяющих условия проведения горно-эксплуатационных работ.

К категории C_1 относят часть запасов, изученных с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий залегания, формы и строения тел полезных ископаемых, их природных типов, промышленных сортов, качества, технологических свойств, а также природных факторов, определяющих условия проведения горно-эксплуатационных работ.

И наконец, к категории C_2 относят часть запасов, условия залегания, форма и распространение тел полезных ископаемых которых определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытием полезных ископаемых в отдельных точках, или по аналогии с изученными участками месторождения.

Контуры запасов категории *A* определяются разведочными скважинами и горными выработками; контуры запасов категории *B* — по данным разведочных выработок с включением (при устойчивой мощности и выдержанном качестве полезных ископаемых) ограниченной зоны экстраполяции; контуры запасов категории C_1 — на основании данных разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным; контуры запасов категории C_2 — на основании определения качества полезных ископаемых по единичным пробам и образцам или по данным примыкающих разведочных участков в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Помимо запасов перечисленных категорий для оценки потенциальных возможностей рудных зон, полей, бассейнов и районов при необходимости на основе общих геологических представлений определяются так называемые прогнозные запасы.

При наличии комплексных полезных ископаемых запасы содержащихся в них основных ценных компонентов учитывают по одним и тем же категориям, в то время как запасы сопутствующих ценных компонентов могут (в зависимости от степени их изученности) подсчитываться и по другим категориям.

Запасы, включающие в себя общее количество полезных ископаемых, выявленных при разведке месторождения, называют *геологическими*. Далеко не все геологические запасы подлежат в настоящее время извлечению из земных недр, только часть из них содержит полезные ископаемые, которые по своим качественным характеристикам удовлетворяют требованиям промышленности и могут быть рентабельно использованы в народном хозяйстве.

Проектирование горных предприятий производят при наличии на месторождении или его участке утвержденных ГКЗ (Государственной комиссией по запасам) балансовых запасов полезных ископаемых категорий *A*, *B*, C_1. Соотношение этих категорий запасов устанавливают в зависимости от сложности разведуемых месторождений или их участков. При этом выделяют три группы месторождений.

К первой группе относят месторождения простого строения с выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным распределением полезных компонентов. По категории *А* для этих месторождений должно быть разведано не менее 10 % балансовых запасов, а по категориям $A + B$ — не менее 30 % (для месторождений коксующихся углей эти величины соответст-венно должны составлять 30 и 60 %).

Ко второй группе относят месторождения сложного строения с невыдержанной мощностью тел полезных ископаемых или неравномерным распределением полезных компонентов. Для этих месторождений не менее 20 % запасов должно быть разведано по категории *В*.

К третьей группе относят месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью тел полезных ископаемых или с исключительно невыдержанным содержанием полезных компонентов. Для этих месторождений допускают разведку запасов по категории C_1.

При проектировании горных предприятий для определения перспектив их развития, а также для более полного использования минеральных ресурсов необходимо учитывать запасы категории C_2 и забалансовые запасы.

В процессе проектирования горных предприятий определяют так называемые промышленные запасы, представляющие собой количество полезных ископаемых, которое может быть добыто из разведанного месторождения при его разработке.

При разработке разведанного месторождения некоторое количество полезных ископаемых оставляют в недрах — «теряют»; потери полезных ископаемых, учитываемые при проектировании горных предприятий, и представляют собой разницу между балансовыми и промышленными запасами.

Разработка месторождения обычно сопровождается проведением эксплуатационной разведки, в результате которой категории разведанности запасов той или иной части месторождения повышаются, а также меняется соотношение балансовых и забалансовых запасов. Выемка полезных ископаемых, естественно, приводит к уменьшению балансовых запасов. С учетом изложенного происходит изменение состояния запасов, называемое *движением* запасов. На горных предприятиях геолого-маркшейдерская служба ведет строгий учет состояния и движения запасов, осуществляет оперативный пересчет запасов.

По относительной ценности запасы Z_i подразделяются на балансовые и забалансовые. Следовательно,

$$Z_{\text{геол}} = Z_{\text{бал}} + Z_{\text{заб}}.$$

Балансовые запасы — разведанные и изученные запасы, использование которых экономически целесообразно и которые должны удовлетворять требованиям, устанавливаемым для подсчета запасов в недрах данного месторождения.

Забалансовые запасы — разведанные и изученные запасы, использование которых экономически нецелесообразно при современном уровне техники и технологии добычи (малое количество, малая мощность, высокая зольность, сложность залегания и пр.).

Балансовые запасы подразделяются на *промышленные* и *потери*, т. е.

$$Z_{\text{бал}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{п}}.$$

Промышленные запасы — часть балансовых запасов, подлежащая извлечению и выдаче на поверхность. Отношение промышленных запасов к балансовым называют коэффициентом извлечения (С). Следовательно,

$$C = Z_{\text{пр}} / Z_{\text{бал}}.$$

Потери — часть балансовых запасов, остающаяся в недрах при их разработке. Отношение потерь к балансовым запасам называют коэффициентом потерь $K_п$, т. е.

$$K_п = Z_п / Z_{бал}.$$

Вполне очевидно, что $C + K_п = 1$.

Избежать потерь полезного ископаемого при разработке практически невозможно. Их величина зависит от экономических, геологических и технических факторов. Основными из них являются: мощность и угол падения, наличие охраняемых объектов на поверх-ности месторождения, сложность залегания, способ разработки, применяемая техника и технология добычи и др. Осуществление мероприятий по снижению потерь нередко связано с дополнительными затратами, что влечет за собой удорожание добычи.

Фактический уровень потерь для различных месторождений колеблется в широких пределах. Например, на угольных месторождениях с пологими и наклонными пластами средней мощности потери достигают 10 — 15 %, с мощными крутонаклонными и крутыми — 25 — 30 % и более.

На рудных месторождениях в зависимости от применяемых способов разработки геотехнологии потери колеблются в пределах 4 — 6 % до 40 — 50 %.

В предложенной акад. М.И. Агошковым классификации потерь твердых полезных ископаемых при разработке месторождений, принятой в «Типовых методических указаниях по определению и учету потерь при добыче», в основу положены два признака: состояние потерянного полезного ископаемого и его местонахождение.

По этой классификации все виды потерь делят на два класса, которые раздельно и по-разному учитываются.

I класс — *общерудничные потери*.

К ним относят: оставление руды в неизвлекаемых охранных целиках по границам горного отвода, около капитальных горных выработок, под зданиями и сооружениями, под коммуникациями, водоемами, водоносными горизонтами, заповедными зонами и т. п.

II класс — *эксплуатационные потери*, т. е. потери, происходящие в процессе разработки.

В свою очередь, эксплуатационные потери по состоянию потерянного полезного ископаемого делят на две группы.

1. Потери руды в массиве — в целиках, в которых проведены горноподготовительные выработки, в опорных (поддерживающих) целиках внутри выемочного участка, в ограждающих целиках около мест завалов, затоплений, пожаров, а также в местах выклинивания залежи, в подработанных частях рудного тела, в очистном пространстве в результате неполной отбойки у контакта залежи и т. п.

2. Потери отделенной от массива (отбитой) руды — оставленной в выработанном пространстве слишком сильно разубоженной руды или застрявшей на неровностях лежачего бока, просыпанной рудной мелочи в закладку, а также в местах обрушений, завалов, затоплений, с очагами возгорания, погрузки, разгрузки, складирования, сортировки руды и на транспортных путях горного производства.

Кроме количественных потерь при добыче часто происходят *качественные потери* — снижение качества добытого полезного ископаемого как следствие примешивания к нему вмещающих пород (пустых или с непромышленным содержанием полезного компонента). Примешивание породы к полезному ископаемому и происходящее в результате этого снижение качества добытого полезного ископаемого (по сравнению с природным) принято называть разубоживанием.

Разубоживание полезного ископаемого бывает *эксплуатационным,* и его делят на три группы.

1. *Разубоживание от засорения* вмещающими породами или закладочным материалом — из-за неточной отбойки руды у контакта залежи (из-за «прихвата» пустых пород), отслоений пустых пород с боков очистного пространства, при выпуске руды под обрушенными породами, когда часть пород смешивается с рудой и выдается как рудная масса, при валовой отбойке очень тонких рудных тел и т. п.

2. *Разубоживание от потери полезного ископаемого* с повышенным содержанием полезного компонента — при просыпании в закладку, через щели настилов обогащенной рудной мелочи, при доставке и транспортировке, а также при оставлении в очистном пространстве целиков из сравнительно богатой залежи (крайне редко).

3. *Разубоживание от выщелачивания* шахтной водой полезных компонентов, содержащихся в полезном ископаемом в виде растворимых соединений.

Как количественные, так и качественные потери (разубоживание) отрицательно влияют на экономиче-ские показатели разработки месторождений.

Количественные потери вызывают рост затрат на разведку, увеличение амортизации капитальных затрат и расходов по подготовке к очистной выемке на добытое полезное ископаемое, а также приводят к недополучению прибыли от потерянной части полезного ископаемого. Кроме непосредственного экономического ущерба потери ведут к сокращению срока существования рудника (шахты, этажа) и необходимости досрочного вложения затрат в строительство нового рудника (шахты) или вскрытие и подготовку н ового этажа. При разработке полезных ископаемых, склонных к возгоранию или самовозгоранию, потери могут являться причиной возникновения рудничных пожаров, приносящих огромный ущерб.

Применение способов и систем разработки с повышенными количественными потерями обычно бывает оправдано снижением себестоимости добычи или качественных потерь.

Необходимо иметь в виду, что качественные потери (разубоживание) при добыче приводят к экономическому ущербу для предприятия не менее значительному, чем количественные потери. Этот ущерб выражается: в непроизводительных затратах на транспортирование примешанной породы и переработку ее на обогатительной фабрике или металлургическом заводе; в увеличении потерь полезного компонента при переработке разубоженной руды; в снижении производственной мощности перерабатывающих руду предприятий по конечной продукции (концентрату, металлу) и нередко — в ухудшении качества этой продукции.

В итоге качественные потери при добыче приводят к недополучению предприятием прибыли, часто в очень больших размерах.

Разубоживание принято выражать как отношение количества примешанной породы ($В$) к общему количеству добытой рудной массы ($Д$).

Коэффициент разубоживания:

$$P = \frac{B}{Д}.$$

Разубоживание в процентах:

$$P = \frac{B}{Д} \cdot 100.$$

Но определить количество примешанной породы в добытой руде не всегда возможно. Поэтому величину разубоживания выражают также через снижение содержания полезного компонента в добытой руде (рудной массе) по сравнению с содержанием в руде в месторождении.

Коэффициент разубоживания по содержанию:

$$P_c = \frac{c - a}{c},$$

где c и a — содержания полезного компонента соответственно в руде месторождения и в добытой руде (рудной массе).

Разубоживание по содержанию в процентах:

$$P_C = \frac{c - a}{c} \cdot 100.$$

Поскольку количественные и качественные потери в процессе разработки между собой взаимосвязаны (обычно с увеличением количественных потерь снижаются качественные потери), то допускаемую величину тех и других нужно определять совместным технико-экономическим расчетом.

3.5. ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Полезное ископаемое может быть использовано лишь тогда, когда оно отделено от массива и доставлено на поверхность. Работы, которые производят при выемке полезного ископаемого или при подготовке к его выемке, называются *горными работами*.

В результате горных работ в толще полезного ископаемого или пустых пород образуются полости, называемые *горными выработками*.

Горные выработки по назначению подразделяются на разведочные и эксплуатационные. Первые служат для целей разведки залежи полезного ископаемого, вторые — для его разработки.

Разработка месторождений полезного ископаемого складывается из трех этапов: вскрытие, подготовка и очистная выемка. В связи с этим эксплуатационные горные выработки подразделяются на *капитальные, подготовительные* и *очистные*.

К капитальным относятся выработки, по которым осуществляется доступ к месторождению или его части. Это *вскрывающие выработки*.

Подготовительные выработки проводят от капитальных. Они служат для подготовки части залежи полезного ископаемого к очистной выемке. После проведения подготовительных выработок приступают к очистным работам, в результате которых образуются очистные выработки. По месту проведения горные выработки подразделяются на открытые и подземные. Открытые выработки проводят на поверхности земли, подземные — внутри массива пород.

Комплекс образующихся в земной коре в результате проведения открытых горных работ больших выемок (траншей, котлованов и др.) называют *карьером* (на россыпных месторождениях и в угольной промышленности — *разрезом*). В каждый данный момент карьер ограничен верхним контуром — линией, ограничивающей карьер на уровне земной поверхности по его бортам, и нижним контуром — линией, ограничивающей подошву карьера. Верхний и нижний контуры карьера в процессе разработки изменяются. Контуры, достигнутые при погашении открытых горных работ, т. е. при конечной глубине и конечных размерах карьера в плане, называют конечными контурами.

В административно-хозяйственном значении карьером называют предприятие, ведущее разработку полезного ископаемого открытым способом.

Месторождение или его часть, разрабатываемые открытым способом, называют карьерным полем.

Выемка полезного ископаемого, а также покрывающих и вмещающих пород в пределах контуров карьеров производится отдельными горизонтальными слоями.

Верхнюю и нижнюю площадки, на которых размещают добычные транспортные и прочие механизмы при выемке слоя, называют горизонтом. Обозначают их абсолютными или относительными топографическими отметками.

По мере развития выемки на одном горизонте работы начинают на следующем, нижележащем. Как правило, выемочные работы производятся одновременно на нескольких горизонтах карьера.

Перед началом разработки рудную залежь вскрывают, т. е. проходят специальные горные выработки, по которым пустые породы доставляют на поверхность. Впоследствии по этим же выработкам обычно доставляют на поверхность и руду.

Основные открытые горные выработки для вскрытия и подготовки месторождений — траншеи — по своему назначению подразделяются на капитальные или въездные — для вскрытия всего месторождения или его части; их проходят за пределами контура карьера (внешние) или внутри карьера (внутренние), обычно с уклоном; ширина въездной траншеи (понизу) зависит от размеров проходческого оборудования и транспортных средств; в среднем эта ширина составляет 10 — 20 м, разрезные — для подготовки вскрытого горизонта к эксплуатации; их, как правило, проходят без уклона; специальные — для водоотлива, дренажа или дополнительного соединения с поверхностью.

Гораздо более сложная система выработок различного назначения необходима для подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

По положению в земной коре подземные выработки могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными. Они могут иметь непосредственный выход на земную поверхность или не иметь его (рис. 3.7.).

Начало выработки, выходящей на земную поверхность или в другую выработку, называют устьем.

Поверхность, ограничивающая горную выработку и перемещающаяся в результате ведения горных работ, называется забоем. Забой, в котором систематически производят горные работы, называется действующим.

Поверхности, ограничивающие выработки с боков, называют бортами выработки. Поверхность, ограничивающая выработку сверху, называется кровлей, снизу — почвой (рис. 3.8).

Вертикальные горные выработки могут иметь непосредственный выход на земную поверхность или не иметь его. К вертикальным выработкам относятся стволы, гезенки, шурфы.

Вертикальный ствол — вертикальная горная выработка, имеющая непосредственный выход на земную поверхность и проводимая с целью вскрытия месторождения полезного ископаемого.

Стволы делятся на главные и вспомогательные.

Главный ствол предназначен для выдачи полезного ископаемого, вспомогательный — для спуска-подъема людей, материалов, оборудования, проветривания и других вспомогательных целей.



Рис. 3.7. Забой и устье выработки

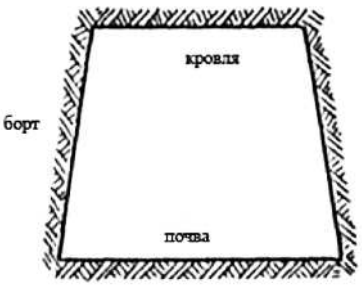


Рис. 3.8. Поперечное сечение горной выработки

Нижняя часть ствола ниже уровня околоствольного двора называется зумпфом. Он предназначен для размещения подъемного сосуда (скипа или многоэтажной клети) в момент загрузки. Вертикальные стволы имеют круглую, прямоугольную или эллиптическую форму поперечного сечения.

Слепой ствол — вертикальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность и служащая для подъема груза с нижележащего горизонта на вышележащий с помощью подъемных установок. Слепые стволы служат для вскрытия отдельных частей месторождений из подземных выработок.

Гезенк — вертикальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность и служащая для спуска грузов с вышележащего горизонта на нижележащий под действием собственного веса.

Шурф — вертикальная горная выработка, обычно малого сечения и небольшой глубины, имеющая непо-средственный выход на земную поверхность и служащая для различных целей: разведки, размещения взрывчатых веществ при массовых взрывах, а при эксплуатации — для проветривания, спуска материалов и т. п.

Тоннель — выработка, имеющая выход на поверхность с двух концов. Это сквозная выработка, служащая для транспортных целей.

Штольня — горизонтальная выработка, имеющая выход на поверхность с одной стороны (рис. 3.9).

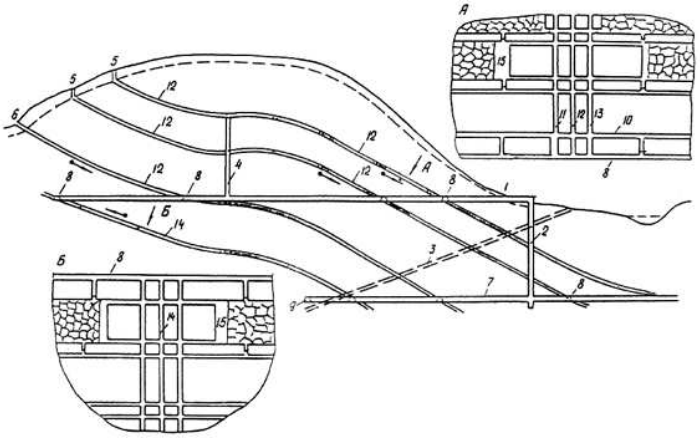


Рис. 3.9. Горные выработки:

1 — штольня; 2 — вертикальный ствол; 3 — наклонный ствол; 4 — гезенк; 5 — шурф; 6 — наклонный шурф; 7 — квершлаг; 8 — штрек; 9 — полевой штрек; 10 — просек; 11 — путевой ходок; 12 — бремсберг; 13 — людской ходок; 14 — уклон; 15 — очистной забой

Квершлаг — горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проводимая вкрест простирания горных пород.

Штрек — горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверх-ность, проводимая по простиранию горных пород при наклонном залегании, а при горизонтальном — в любом направлении. Штреки бывают главные, откаточные, вентиляционные, промежуточные, конвейерные и пр. Штреки, проведенные по пустым породам, называются полевыми (рис. 3.10).

Просек — горизонтальная горная выработка, проводимая параллельно штреку обычно без подрывки боковых пород, предназначенная для осуществления нарезных работ или проветривания штреков в период их проходки. На тонких пластах осуществляют присечку боковых пород.

Орт — горизонтальная горная выработка, проводимая в мощных пластах или рудных залежах в пределах их горизонтальной мощности.

Сбойка — горизонтальная выработка, проводимая между расположенными рядом наклонными выработками.

Форма поперечного сечения горизонтальных выработок может быть различной — прямоугольной, трапециевидной, косоугольной, сводчатой, круглой и пр.

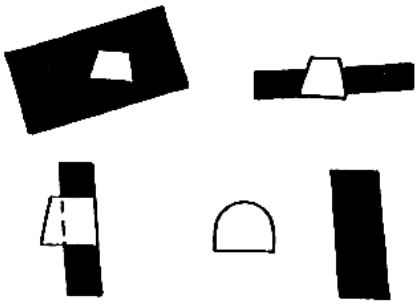


Рис. 3.10. Расположение штреков относительно залежи полезного ископаемого

Наклонные горные выработки могут иметь выход на земную поверхность и могут быть без него. К наклонным горным выработкам, имеющим непосредст-венный выход на земную поверхность, относятся наклонные шурфы, стволы, штольни. Они имеют то же назначение и те же основные признаки, что и одноименные вертикальные или горизонтальные выработки, отличаясь от них лишь положением в земной коре.

К наклонным выработкам, не имеющим непосред-ственного выхода на земную поверхность, относятся бремсберги, уклоны, скаты, ходки, печи.

Бремсберг — наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность и служащая для спуска полезного ископаемого с вышележащего горизонта на нижележащий при помощи механических устройств.

Уклон — наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, служащая для подъема полезного ископаемого с нижних горизонтов на верхний с помощью механических устройств.

Скат — наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, служащая для спуска полезного ископаемого под действием собственного веса.

Ходок — наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, предназначенная для различных целей (передвижения людей, доставки материалов и оборудования, вентиляции и пр.). Ходки проводят параллельно названным выше наклонным выработкам. Они оборудуются соответствующими транспортными средствами.

Печь — наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проводимая по пласту полезного ископаемого в пределах его мощности. По печам осуществляется передвижение людей, транспортирование угля, материалов и т. д. Печь, в которой начинается развитие работ по выемке угля, называется разрезной.

На рудниках наклонные выработки (иногда вертикальные), не имеющие непосредственного выхода на земную поверхность, проводимые по полезному ископаемому или пустым породам, служащие для спуска полезного ископаемого под действием силы тяжести и других целей, называются *восстающими*.

Камерами называются горные выработки, имеющие небольшую длину по сравнению с размерами поперечного сечения. Они предназначаются для размещения в них различных машин, оборудования, хранения материалов и других целей. Камеры в основном расположены около шахтных стволов.

Совокупность камер и выработок, примыкающих к шахтному стволу и предназначенных для обслуживания подземного хозяйства, называется *околоствольным двором*. В околоствольном дворе располагаются следующие камеры: электро-

подстанция, насосная, электровозное депо, камера ожидания, диспетчерская, водосборник, медпункт и др.

Выработки, образующиеся в результате выемки пласта или залежи, где осуществляется основная добыча полезного ископаемого, называются *очистными выработками*.

Поверхность очистной выработки, с которой непосредственно осуществляется выемка полезного ископаемого, называется очистным забоем. Очистной забой значительной длины называется лавой.

Глава 4

ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Ранее мы уже говорили о трех обязательных этапах освоения минеральных ресурсов недр:

— обеспечение доступа с земной поверхности к месторождению;

— придание горным породам подвижности;

— выдача полезных ископаемых и «пустых» пород в подвижном состоянии к пунктам их переработки и отвалообразования (складирования).

Новое для вещества литосферы свойство — подвижность — может быть обеспечено в рамках применяемых горных технологий либо дезинтеграцией (разрушением) этого вещества в заданном объеме, либо изменением его агрегатного состояния (например, выплавкой серы), либо путем создания условий для миграции с места залегания только полезного компонента — физических (нефть, газ, вода) или химических (выщелачивание).

Для твердых полезных ископаемых доминирующее положение занимает первый вариант и ограниченное — второй и третий. Третий же вариант является основным для жидких и газообразных полезных ископаемых.

Для дезинтеграции твердых литосферных образований применяются различные способы разрушения, различающиеся по виду используемой энергии:

— механическое разрушение;

— взрывное разрушение;

— термическое разрушение;

— электрофизическое разрушение.

На современном уровне наших знаний и возможностей в горнодобывающей промышленности в основном применяют взрывной и механический способы. Причем последний применяется в нескольких модификациях, зависящих от механизма разрушения горных пород:

— резание;

— удар;

— раздавливание;

— гидравлическое воздействие.

В горном деле в качестве объекта техногенного воздействия рассматриваются массивы горных пород и собственно горные породы.

По аналогии с геологическими терминами под массивом горных пород понимается вся их совокупность в границах месторождения или его части. В такой постановке любой массив состоит из участков, сложенных конкретными горными породами. О типах горных пород по их генезису мы уже говорили ранее.

Теперь рассмотрим свойства горных пород в связи с требованиями горных технологий, практически все показатели которых в той или иной степени определяются этими свойствами.

Поэтому среди огромного разнообразия физико-механических свойств горных пород выделяют группу «свойств геотехнологических».

Так как понятие «разработка полезного ископаемого» включает в себя широкий комплекс различных по содержанию работ, то и перечень геотехнологических свойств пород достаточно велик.

Наиболее существенными из этих свойств, оказывающих влияние на эффективность разрушения горных пород и ведения горных работ, являются *строение и сложение пород, слоистость, прочность, крепость, пористость, вязкость, упругость, твердость, пластичность, разрыхляемость* и др.

Горные породы состоят из минеральных частиц, связанных между собой силами молекулярного сцепления и трения. Механическая характеристика горных пород выражается формулой

$$\tau = C + k_T N,$$

где τ — касательные напряжения на площадке сдвига; C — сила сцепления между отдельными частицами; k_T — коэффициент трения (k_T = tgφ); φ — угол внутреннего трения; N — нормальная сила.

4.2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

По строению горные породы подразделяют на связные, сыпучие и плывучие.

В связных породах минеральные частицы соединены между собой силами внутреннего сцепления. Сыпучие породы состоят из отдельных зерен, не имеющих между собой связи. Некоторые сыпучие породы при насыщении их водой приобретают свойства текучести, образуя плывуны.

Сила сцепления между частицами породы определяет устойчивость горных пород, имеющую большое значение при ведении горных работ, особенно подземным способом. Под устойчивостью понимают способность горных пород не обрушаться после обнажения их на той или иной площади. Устойчивость пород снижается при образовании в них трещин в результате высокого давления горных пород или при взрывных работах.

По степени устойчивости руды и вмещающие породы можно подразделить на следующие группы.

1. Очень устойчивые — допускают обнажения снизу на площади десятков и сотен квадратных метров и не обрушаются в течение десятков лет.

2. Устойчивые — допускают значительные обнажения без обрушения в течение нескольких месяцев. Выработки небольших размеров могут стоять без крепления в течение ряда лет.

3. Средней устойчивости — допускают значительные обнажения на относительно короткий срок.

4. Неустойчивые — требуют крепления вслед за обнажением.

5. Весьма неустойчивые — совсем не допускают обнажений и, как правило, требуют применения опережающей крепи.

К наиболее устойчивым относятся вязкие породы, имеющие большую силу сцепления между частицами (кварциты, мелкозернистые граниты, окремненные известняки и пр.); к неустойчивым — мягкие и рыхлые (глины, суглинки); к очень неустойчивым — сыпучие породы (песок, осыпи) и плывуны.

Строение и физические свойства горных пород обусловливают безопасное и эффективное ведение горнопроходческих и очистных работ. Состояние и свойства пород определяют способ проведения выработок, тип и плотность крепи подготовительных выработок.

Проявление горного давления и устойчивость выработок в значительной степени зависят от плотностных, водно-физических, прочностных и деформационных свойств пород. Существенное влияние эти свойства оказывают и на технологию проведения выработок.

Основными плотностными свойствами горных пород являются плотность, объемная масса, удельный вес, объемный вес, насыпная объемная масса и пористость.

Под *плотностью породы* ρ понимают ее массу в единице объема за вычетом объема пор, пустот и трещин. Плотность породы измеряют в кг/м^3 (иногда т/м^3). Плотность каменных углей 1300 – 1500; песчаников, алевролитов, известняков — 2580 – 2800; магматиче-ских и метаморфических пород, в зависимости от содержания в них металла — от 2700 до 5000 кг/м^3.

Объемная масса горной породы ρ_0 — это масса в ее естественном состоянии без нарушения ее пор, пустот и трещиноватости в единице объема. Объемная масса большинства пород находится в пределах от 1300 до 4500 кг/м^3, т. е. от 1,3 до 4,5 т/м^3. Объемная масса каменных углей — 1300 – 1400; песчаников, алевролитов и аргиллитов — основных пород кровли и почвы пластов угля — 2400 – 2650 кг/м^3. Объемная масса глин, суглинков и других пород вблизи земной поверхности равна в основном 1700 – 2300 кг/м^3.

Понятиями плотности и объемной массы породы пользуются при оценке количества породы или добытого полезного ископаемого.

Удельный вес горной породы γ — вес единицы объема твердых частиц (минерального скелета) породы (Н/м^3):

$$\gamma = g\rho,$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2.

Объемный вес породы ρ_0 — вес единицы объема породы в естественном состоянии (Н/м^3).

Понятиями удельного и объемного веса породы пользуются при оценке горного давления или нагрузки на крепь.

Насыпная объемная масса породы — масса разрыхленной породы в единице объема. Ее измеряют, как и объемную массу ρ, в кг/м^3. Насыпная объемная масса $\rho_н$:

$$\rho_н = \rho / K_р,$$

где $K_р$ — коэффициент разрыхления породы.

Насыпная объемная масса каменных углей 900 – 1000, песчаников и алевролитов 1200 – 1400 кг/м^3.

Пористость горной породы характеризует объем пустот, имеющихся в ней. Пористость определяется делением объема пустот в породе на полный ее объем и выражается в процентах. Средняя пористость магматических и метаморфических пород составляет 0,2 – 3 %; известняков, песчаников, алевролитов, аргиллитов, каменных углей — 5 – 15 %.

Пористость породы определяет ее *водопоглощение, водопроницаемость, газопроницаемость, прочность* и другие свойства.

Водно-физические свойства горных пород характеризуются естественной влажностью, водопоглощением, размокаемостью, размягчаемостью и набуханием.

Под влажностью горной породы понимают массу воды, которая содержится в ней. Ее определяют по разности массы образца в естественном состоянии и массы этого же образца, высушенного при температуре 100 – 110 °С. Она выражается в процентах. В природных условиях залегания влажность магматических пород не превышает 2 %, каменных углей и осадочных пород — 6 %.

Водопоглощение — способность пород поглощать воду. Ее оценивают количеством воды, поглощенной породой при полном ее погружении в воду в условиях атмосферного давления. Водопоглощение прочных пород составляет от 0,3 до 6 %, мягких слабосцементированных осадочных пород — от 10 до 25 % и более.

Под размокаемостью понимают способность породы при поглощении (впитывании) воды терять связность и превращаться в рыхлую массу. Магматические, метаморфические и прочные углевмещающие породы не размокают. При взаимодействии с водой лишь снижается их прочность и другие механические свойства.

Быстро размокает большинство грунтов вблизи земной поверхности. Размокает также значительная часть углевмещающих аргиллитов на глинистом цементе.

Размягчаемость характеризует снижение проч-ности породы под влиянием воды. Ее оценивают коэффициентом размягчаемости, представляющим собой отношение предела прочности породы при сжатии после и до насыщения ее водой.

Набухание — способность породы к увеличению своего объема при поглощении воды. Оно проявляется у глинистых слабосвязанных пород. Набухаемость породы характеризуется величиной набухания, которая выражается относительным изменением объема или высоты образца в процентах.

Песчаники, алевролиты, аргиллиты и переслаивания этих пород набухают очень мало. Величина относительного набухания их, как правило, не превышает 0,8 – 1,0 %. Глинистые и другие слабосвязанные породы (грунты), залегающие главным образом вблизи земной поверхности, подразделяют по величине свободного (без нагрузки) набухания на следующие классы: ненабухающие — менее 4, слабонабухающие — 4 – 10, средне-набухающие — 10 – 15, сильнонабухающие — более 15.

Набухание глинистых пород оказывает большое влияние на *их пучение и устойчивость выработок*.

Прочность — свойство горной породы воспринимать внешние силовые воздействия не разрушаясь. Критерием прочности являются временные сопротивления одноосному сжатию, сдвигу и растяжению ($\sigma_{сж}$, $\sigma_{сд}$ и $\sigma_р$).

Горные породы характеризуются различной величиной прочности на сжатие, растяжение и сдвиг. Наи-большей прочностью обладают породы на сжатие, наименьшей — на растяжение. Прочность на сдвиг (срез) занимает промежуточное положение между прочностью пород на сжатие и растяжение. Предел прочности горных пород при сжатии в 5 – 35 раз больше, чем при растяжении.

Показатели прочности пород на сжатие и растяжение имеют первостепенное значение для решения вопросов разрушения и отбойки их от массива в забое выработки, погрузки, транспортирования горной массы и нормирования горнопроходческих работ.

В среднем для горных пород указанные критерии прочности находятся примерно в соотношении $\sigma_{сж} : \sigma_{сд} : \sigma_р = = 1{,}0 : 0{,}3 : 0{,}1$. Прочность горных пород при объемном сжатии в несколько раз выше, чем при одноосном.

Крепость — свойство пород сопротивляться воздействию внешних усилий в процессе разрушения (при бурении, отбойке, взрывании и пр.). Количественно это свойство оценивается коэффициентом крепости f, предложенным проф. М.М. Протодьяконовым.

Коэффициент крепости f равен отношению временного сопротивления одноосному сжатию к единице крепости. За единицу крепости принято временное сопротивление сжатию образцов кубической формы, равное 10 МПа. Следовательно, $f = \sigma_{сж}/10$.

По этому критерию М.М. Протодьяконов предложил классификацию, в которой горные породы разделены на 10 категорий. Пределы изменения коэффициента крепости от 0,3 до 20.

Существуют и другие классификации горных пород, учитывающие особенности ведения горных работ.

Абразивность — способность горных пород изнашивать контактирующие с ней поверхности режущего инструмента и деталей горных машин при работе. Абразивность пород оценивается средней потерей в массе (в миллиграммах) мерного цилиндрического стержня при истирании его в определенных условиях. По абразивности горные породы разделены на 8 классов.

Твердость — свойство горной породы сопротивляться проникновению в нее горного инструмента.

Упругость — свойство горной породы возвращаться к первоначальной форме и размерам после устранения воздействия на нее внешних сил.

Пластичность — свойство пород изменять свою форму при сохранении объема.

Хрупкость — способность горной породы разрушаться при незначительной пластической деформации.

Разрыхляемость — увеличение объема породы при выемке ее из массива. Оценивается коэффициентом разрыхления:

$$K_р = V_в/V_м;$$

где $V_в$ — объем вынутой породы; $V_м$ — объем породы в массиве (в целике).

Коэффициент разрыхления характеризует увеличение объема породы при разрушении. Коэффициент разрыхления угля составляет 1,2 – 1,4; осадочных пород (песчаника, алевролита, аргиллита) — 1,4 – 2,2; магматических и метаморфических пород — 1,7 – 2,3.

Буримость горной породы — способность горной породы сопротивляться проникновению в нее бурового инструмента или интенсивность образования в породе шпура или скважины под действием усилий, возникающих при бурении. Показателем служит скорость бурения (мм/мин), иногда — продолжительность бурения 1 м шпура (мин/м). Существует классификация горных пород по буримости.

4.3. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ

Взрывной способ разрушения горных пород универсален и является наиболее распространенным. В общей массе около 90 % минерального сырья добывается с помощью взрывных работ. Взрывная отбойка части горной массы от целого массива может применяться при любой крепости полезного ископаемого и вмещающих пород.

Взрывные работы применяются в тех случаях, когда механическое разрушение неэффективно. При добыче рудных полезных ископаемых и проведении горных выработок по крепким породам взрывное разрушение является единственным способом, имеющим промышленное применение.

Взрывной способ разрушения основан на применении взрывчатых веществ, при быстротечном разложении которых освобождающаяся энергия взрыва отде-

ляет от массива и осуществляет дробление породы. Чтобы осуществить взрывное разрушение горных пород, необходимо иметь три компоненты:

— зарядную камеру (полость в породе, в которой располагается заряд);

— взрывчатое вещество (заряд);

— средства взрывания (устройства или приспособления для возбуждения химической реакции во взрывчатом веществе).

Рассмотрим каждый из этих компонентов немного подробнее.

Разрушение массивов горных пород взрывом как технологический процесс всегда начинается с подготовки зарядной камеры, т. е. полости в разрушаемом объеме горных пород, предназначенной для размещения необходимого количества взрывчатого вещества (заряд ВВ), за счет энергии которого и происходит разрушение этих пород.

По особенностям зарядной камеры в зависимости от ее формы, размеров и расположения различают следующие способы ведения взрывных работ: шпуровыми, скважинными, камерными и накладными зарядами.

Шпуровой способ взрывных работ применяют при проведении горных выработок, в отдельных случаях для отбойки угля в очистных забоях и руд в блоках при небольшой мощности рудных залежей. *Шпур* — продольное цилиндрическое углубление в горной породе диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м, предназначенное для размещения заряда взрывчатого вещества. Шпуры могут быть горизонтальные, наклонные, вертикальные (нисходящие и восходящие).

Скважинный способ взрывных работ применяют при массовой отбойке руды в блоках мощных тел, а также на отрытых горных работах для разрушения пород в уступах. Взрывная скважина — горная выработка цилиндрической формы глубиной более 5 м и диаметром 75 мм, пройденная в породе способом бурения. Скважины, как и шпуры, могут быть горизонтальные, наклонные, вертикальные (обычно нисходящие).

Метод камерных зарядов применяют в отдельных случаях для отбойки руды в блоках, а также для осуществ-ления массовых взрывов на поверхности. С этой целью проводят специальные горные выработки (например, шурф), нередко с нишами, в которых размещают сосредоточенные заряды взрывчатого вещества. Их масса может достигать нескольких тонн и даже десятков тонн.

Накладные заряды, как следует из названия, устанавливаются на наружной поверхности разрушаемого массива. Этот вид зарядов применяется очень широко, но только для вспомогательных целей (разрушение крупных кусков породы, ликвидация зависаний породы в выработках, разрушение конструкций и т. п.). Для технологического дробления горных пород этот метод не применяется. Процесс проведения шпуров и скважин называют бурением; весь комплекс этих работ, включая все вспомогательные, — буровыми работами, а машины, применяемые при бурении, — буровыми машинами.

На современном этапе развития буровых работ применяют несколько основных способов бурения: ударный, вращательный, ударно-вращательный, шарошечный, а также — в очень небольших объемах — огневой.

При *ударном бурении* буровой инструмент наносит удар по забою шпура или скважины и образует в нем соответствующей формы углубление — вруб. При последующих ударах буровой инструмент, будучи повернут после каждого удара на некоторый угол, постепенно разрабатывает все сечение шпура или скважины.

При *вращательном бурении* буровой инструмент непрерывно вращается вокруг своей оси, совпадающей с осью шпура или скважины, и одновременно подается на ее забой. При этом лезвие бура скалывает или срезает с поверхности забоя тонкий слой породы.

Кроме ударного и вращательного различают еще *ударно-вращательный* и *вращательно-ударный* способы бурения, характеризуемые одновременным вращением и ударным действием бурового инструмента. Однако при первом из них осевое усилие и крутящий момент на лезвии инструмента настолько малы, что не имеют существенного значения, и разрушение породы осуществляется, как и при ударном бурении, только за счет ударного действия инструмента. При втором же способе разрушение породы производится главным образом также за счет ударов, но сообщаемых породе, когда она находится под значительным напряжением от больших окружных и осевых усилий на лезвии инст-румента. Поэтому эффективность вращательно-ударного бурения увеличивается.

При *шарошечном бурении* скважин инструментом является долото, имеющее несколько лап, чаще всего три лапы с пальцами-осями, на которых насажены и вращаются на шариковых опорах конические стальные шарошки с наваренными на них зубьями. Для наи-более крепких и абразивных пород конуса шарошек имеют вместо наваренных зубьев цилиндрические вставки — штыри из металлокерамических твердых сплавов типа ВК, запрессованные в тело шарошек.

При вращении долота шарошки обкатываются по забою скважины и при этом наносят удары своими зубьями или головками штырей (рис. 4.1, см. вкл.).

По характеру разрушения породы на забое скважины шарошечное бурение должно быть отнесено к ударному бурению. Разница между ударным и шарошечным бурением заключается только в том, что в первом случае последовательные удары по забою наносятся одним и тем же лезвием, во втором случае лезвия все время меняются. Поэтому стойкость шарошечных долот значительно выше стойкости долот обычного ударного бурения.

По характеру движения инструмента шарошечное бурение аналогично вращательному. Станки шарошечного бурения могут быть использованы для вращательного без каких-либо изменений и переделок. Поэтому в практике бурения скважин при геологической разведке, а также на нефть или на воду шарошечное бурение обычно относят к вращательному бурению, что не совсем правильно.

Очистка скважин от буровой мелочи при шарошечном бурении осуществляется водой или сжатым воздухом, подаваемыми к забою по буровым штангам через специальные отверстия в теле шарошечного долота.

Сущность огневого бурения состоит в разрушении горной породы высокотемпературной (2200 °С) газовой струей, истекающей на забой скважины из реактивной горелки, в которой сгорают керосин и окислитель (обычно кислород). Продукты сгорания имеют скорость до 1800 м/сек. Они нагревают породу; горелка вращается, и по ее периферии на забой попадается вода, которая резко охлаждает породу, от чего она трескается, и кусочки выносятся струей газа и пара.

Пока опыт такого бурения есть только на открытых работах, для которых выпускаются станки типа СБО — 160/20. Но массового применения этот способ бурения пока не находит, хотя имеет вполне очевидную перспективу.

Взрывчатыми называют вещества, способные под влиянием внешнего воздействия быстро разлагаться с образованием большого количества сильно нагретых газов. Эти газы, имеющие в момент взрыва высокое давление (десятки тысяч атмосфер), разрушают породу. Таким образом, взрыв характеризуется высокой скоростью протекания реакции, образованием газообразных продуктов и выделением тепла.

Взрывчатые вещества (ВВ), применяемые в горной промышленности, представляют собой однородные химические соединения (аммиачная селитра NH_4NO_3, тротил $C_6H_2(KO_2)_3CH_3$ и др.) или механические смеси (аммонит, динамит и др.).

Скорость взрывчатого разложения измеряется сот-нями и тысячами метров в секунду. Так, аммониты разлагаются со скоростью 2000 – 3000 м/сек, нитроглицерин — 8400 м/сек, а дымный порох — 400 – 800 м/сек. Частным случаем взрыва является *детонация* — разложение с постоянной и максимальной для данных условий скоростью, измеряемой тысячами метров в секунду. При определенных условиях (низкая плотность, повышенная влажность) некоторые ВВ разлагаются с небольшой скоростью (несколько метров в секунду). Такое разложение называют *выгоранием ВВ*. При выгорании ВВ образование газов происходит медленно и разрушения породы не наблюдается.

Чем выше скорость взрывчатого разложения, тем лучше дробление породы. В горном деле применяют ВВ с ярко выраженными дробящими свойствами — *бризантные*. В отличие от бризантных, ВВ с относительно низкой скоростью разложения (например, порох) называют *метательными*.

Бризантность ВВ измеряется в миллиметрах и определяет величину сжатия свинцового цилиндра определенных размеров при взрывании на нем 50 г ВВ.

Работоспособность ВВ устанавливают взрыванием 10 г испытываемого ВВ в канале свинцового цилиндра. Величина приращения объема цилиндра (выраженная в $см^3$) и будет характеризовать работоспособность ВВ.

Бризантность и работоспособность — основные показатели, характеризующие *мощность* ВВ.

Кроме этих показателей в характеристику ВВ входят: 1) плотность ($г/см^3$); чем больше плотность ВВ, тем выше его эффективность, т. к. шпур будет вмещать больше ВВ; 2) влагостойкость — способность не терять взрывчатых свойств в сырых условиях или в воде; 3) физическая и химическая стойкость, характеризующая способность ВВ сохранять неизменными свои свойства; 4) чувствительность, которая определяется величиной энергии, необходимой для взрыва ВВ.

Эта внешняя энергия называется *начальным импульсом*. Начальный импульс может быть тепловым (пламя, накал проводника электричеством), механическим (удар, трение) и взрывным (энергия взрыва другого ВВ). ВВ по-разному относятся к различным видам импульсов. Так, зажженный тротил в небольших количествах спокойно сгорает, а гремучая ртуть от искры детонирует. Чем выше чувствительность ВВ, тем легче вызвать взрыв, но тем опаснее данное ВВ в обращении.

Взрыв является реакцией окисления, и кислород, необходимый для этой реакции, входит в состав самого ВВ. В горнорудной промышленности обычно применяют ВВ с нулевым *кислородным балансом*, т. е. ВВ, содержащие столько кислорода, сколько его необходимо для полного окисления всех горючих элементов ВВ. При избытке кислорода (положительный кислородный баланс) или его недостатке (отрицательный кислородный баланс) образуется повышенное количество вредных газов (окиси углерода или окислов азота).

ВВ, используемые на взрывных работах в качестве основного заряда, называют *промышленными*. По физическому состоянию они бывают твердыми (сыпучими или монолитными) и пластичными; разновидностью пластичных являются водонаполненные (льющиеся) ВВ.

Промышленные ВВ по составу делят на: нитроглицериновые, нитроароматические и аммиачно-селитренные ВВ.

Нитроглицериновыми называют ВВ, содержащие в качестве основной составной части нитроглицерин или нитрогликоль. При обычных условиях нитроглицерин и нитрогликоль представляют собой бесцветные, маслянистые жидкости, чувствительные к удару, мощные по взрывчатым свойствам. Из нитроглицериновых ВВ допущен к применению 62 %-ный труднозамерзающий динамит, состоящий из 62 % нитроглицерина и нитрогликоля. В состав динамита, кроме того, входят: кол-

лодионный хлопок (который, растворяясь в нитро-глицерине, образует студнеобразную массу), калиевая или натриевая селитра, древесная мука, сода и мел.

Динамит негигроскопичен, обладает большой мощностью на единицу веса и особенно на единицу объема, т. к. имеет высокую плотность.

Наряду с этим динамиты имеют ряд отрицательных свойств, из числа которых следует отметить: высокую чувствительность к механическим воздействиям, что вызывает опасность в обращении; низкую химическую стойкость, характеризующуюся снижением чувствительности к передаче детонации с течением времени; эксудацию, выражающуюся в выделении при длительном хранении на оболочке патронов жидкого нитро-глицерина и нитрогликоля, что повышает опасность в обращении.

Нитроароматические ВВ. Тротил (тол или тринитротолуол) — кристаллический порошок желтого цвета. Тротил малочувствителен к внешним воздействиям, влагоустойчив, обладает хорошей химической стойкостью. Он относится к сильным бризантным ВВ. В чистом виде тротил применяют на открытых работах для заряжания обводненных скважин, его используют в качестве добавок в аммиачно-селитренных ВВ. При сплаве тротила с порошком алюминия получают мощное, водоустойчивое, сыпучее ВВ — алюмотол. Крупногранулированный, хорошо тонущий в воде тротил называют гранулотолом.

Гексоген — белый кристаллический порошок, используется в последнее время в качестве компонента мощных промышленных ВВ и в средствах взрывания. К этой же группе относится динитро-нафталин, сходный по своим свойствам с тротилом.

Аммиачно-селитренные ВВ. Основной составной их частью является аммиачная селитра, представляющая собой белый или желтоватый кристаллический порошок с положительным кислородным балансом, обладающий относительно слабыми взрывчатыми свой-ствами и низкой чувствительностью.

Аммиачная селитра гигроскопична, при хранении слеживается (уплотняется); выпускается в виде порошка, гранул или чешуек. При определенных способах приготовления (введение раствора сернокислого железа с последующей обработкой гранул смесью жирных кислот и парафина) получают водоустойчивую аммиачную селитру марки ЖВ.

Аммиачно-селитренные ВВ подразделяют на следующие группы.

1. Аммониты — механические смеси аммиачной селитры с тротилом (5—21 %). Кроме тротила иногда добавляют другие ВВ или горючие добавки (древесную муку, алюминиевую пудру и др.). В зависимости от количества и типа добавок аммониты имеют различную мощность и разные свойства. Скальные аммониты отличаются от обычных тем, что кроме тротила в их состав входят гексоген и алюминиевая пудра. Разновидностью аммонита является аммонал — водоустойчивый аммонит, содержащий алюминиевую пудру. Сходный по свойствам с аммонитами динафталит представляет смесь аммиачной селитры и динитронафталина.

2. Зерногранулиты — крупнодисперсные смеси аммиачной селитры с тротилом (до 30 %).

3. Детониты — порошкообразные ВВ, сходные по составу с аммоналами, но с добавками (6—15 %) нитроглицерина (нитрогликоля).

4. Динамоны — смеси аммиачной селитры с горючими невзрывчатыми материалами. Гранулиты — смеси гранулированной аммиачной селитры с жидким горючим (3—5 %), обсыпанные древесной мукой или алюминиевой пудрой для предотвращения потерь жидкого горючего при хранении ВВ и транспортировании. В отличие от гранулита заводского изготовления игданит готовят на месте его применения пропитыванием селитры соляровым маслом.

5. Акватолы (водонаполненные, льющиеся ВВ) представляют смесь гранулированной аммиачной селитры, тротила (до 35 %) и загустителя. При добавлении к сухим акватолам 15 — 20 % воды непосредственно на местах применения получают вязкую массу с конси-стенцией густого теста, способную заполнять взрывные камеры и вытеснять из них воду.

6. Акваниты не имеют явно выраженной текуче-сти (содержат воды 4 — 10 %); их консистенция зависит от температуры; по мере охлаждения акваниты густеют.

7. Оксиликвиты (горючие вещества, пропитанные жидким кислородом), пороха и другие ШЗ, не получившие широкого распространения в горной промышленности, в данном курсе не рассматриваются.

Для возбуждения детонации многие малочувствительные ВВ (алюмотол, гранулотол, гранулит, зерногранулит, акватол) требуют применения промежуточных детонаторов из порошкообразного или прессованного аммонита, детонита, тротиловых или тротило-тетриловых шашек-детонаторов.

Промышленные ВВ делятся на следующие классы.

I класс — непредохранительные ВВ для взрывания только на земной поверхности (цвет упаковки или оболочки патронов белый): гранулотол, алюмотол, гранитол марок 1 и 7А, гранулит С-6М;

II класс — непредохранительные ВВ для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, не опасных по скоплениям горючих газов или пыли (отличительный цвет красный): гранулит марок 79/21, АС-4, АС-4В, игданит, аммонит скальный № 3, аммонит 6ЖВ, детонит М;

III класс — предохранительные ВВ только для взрывания пород в забоях выработок, в которых выделяется метан, но отсутствует взрывчатая пыль (отличительный цвет синий): аммонит АП-5ЖВ;

IV класс — предохранительные ВВ для взрывания по углю и по породе в забое выработок, опасных по взрыву пыли или сотрясательного взрывания (отличительный цвет желтый): аммонит марок Т-19, ПЖВ-20;

V класс — предохранительные ВВ повышенной пред-охранительности для взрывания по углю и породе в особо опасных по метану забоях подземных выработок, но в отсутствие контакта заряда с метановоздушной смесью (отличительный цвет желтый): угленит Э-6;

VI класс — высокопредохранительные ВВ для взрывания по углю или породе в особо опасных по метану забоях подземных выработок, когда возможен контакт заряда с метановоздушной смесью (отличительный цвет желтый): угленит марок 12ЦБ, П-12ЦБ-2, патроны СП-1;

VII класс — предохранительные ВВ для ведения специальных взрывных работ в забоях выработок, опасных по метану и угольной пыли (отличительный цвет желтый): ионит, ЗПН-1.

В угольных шахтах, опасных по взрыву газа и пыли, применяют предохранительные ВВ III — VII классов в виде патронов диаметром 36 — 38 мм.

Для инициирования взрыва заряда ВВ применяют взрыв небольшого по величине заряда, инициирующего ВВ, получающего внешний тепловой импульс. Инициирующие ВВ обладают большой мощностью, высокочувст-вительны к нагреву и механическим воздействиям. Совокупность принадлежностей, предназначенных для инициирования зарядов ВВ, называется средствами инициирования (взрывания).

Взрывчатые вещества, используемые для снаряжения средств инициирования, подразделяются на первичные (гремучая ртуть, азид свинца и тринитрорезорцинат свинца — тенерес) и вторичные (тетрил, тэн и гексоген). Взрыв первичного ВВ происходит при тепловом воздействии на него.

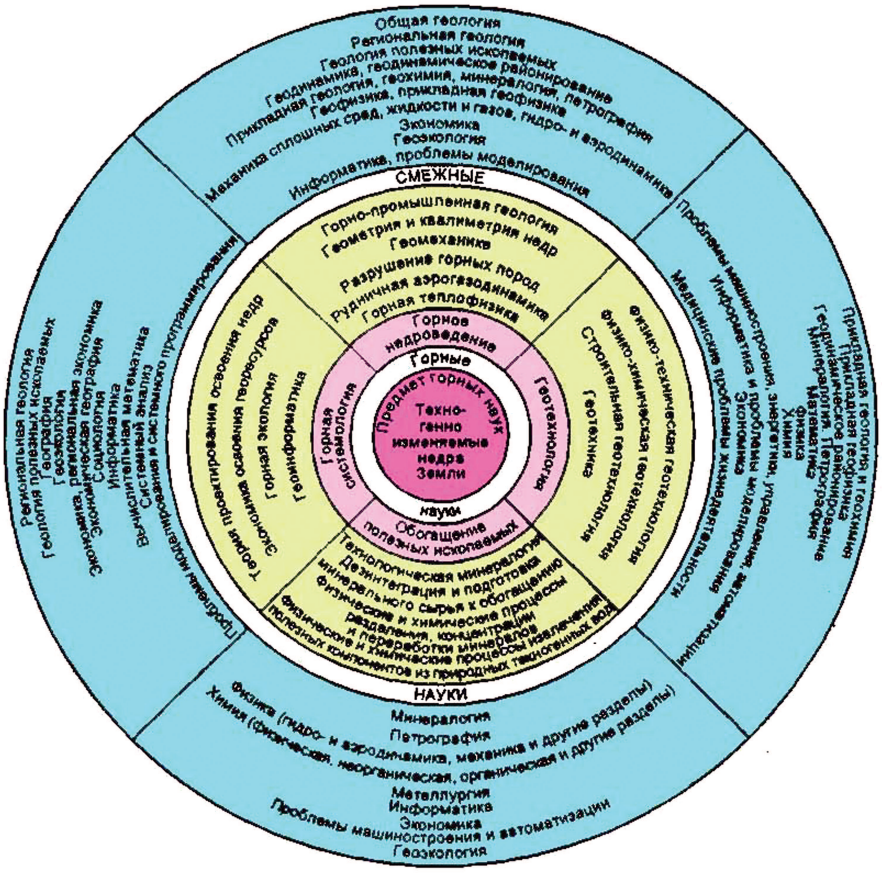


Рис. 1.10. Связь горных наук с другими отраслями знаний

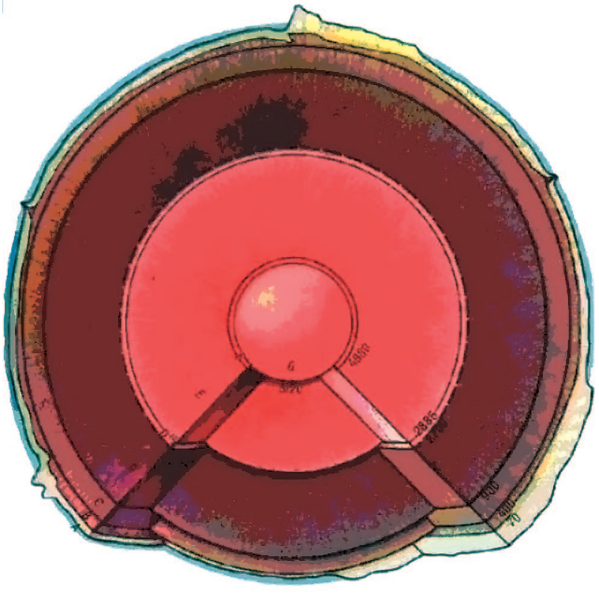


Рис. 2.1. Строение Земли:
A — земная кора;
B, C, D — мантия;
E, F — внешнее ядро;
G — внутреннее ядро



Рис. 4.1. Шарошечные долота

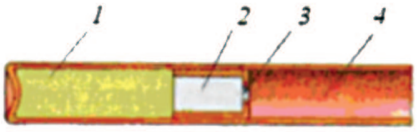


Рис. 4.2. Капсюль-детонатор:

1 — вторичное инициирующее ВВ (тетрил);
2 — первичное инициирующее ВВ (гремучая ртуть, азид свинца, тенерес);
3 — металлическая чашечка; 4 — гильза

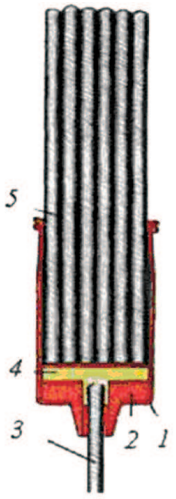


Рис. 4.4. Зажигательный патрон:

1 — бумажный стакан;
2 — втулка; 3 — воспламеняющий шнур; 4 — зажигательный состав;
5 — пучок ОШ

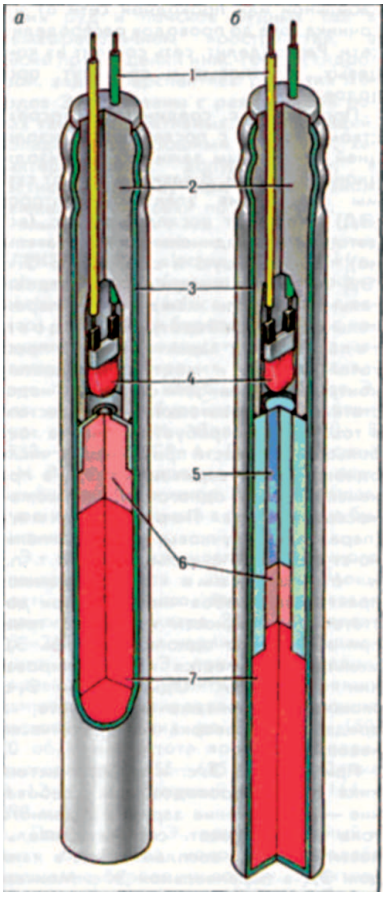


Рис. 4.5. Электродетонаторы мгновенного (а) и замедленного (б) действия:

1 — провода; 2 — пластмассовая пробка;
3 —металлическая гильза; 4 — электровоспламенитель; 5 — замедляющий состав;
6 — инициирующие ВВ; 7 — бризантное ВВ



Рис. 5.1. Общий вид карьера

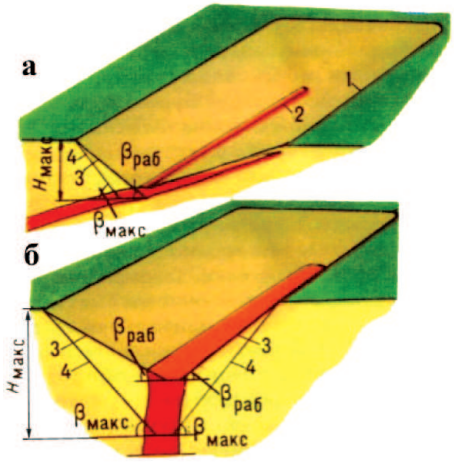


Рис. 5.4. Этапы развития открытых горных работ при разработке пологих (а) и крутопадающих (б) залежей:

1 — верхний контур карьерного поля; 2 — нижний контур карьерного поля; 3 — рабочий борт карьера; 4 — борт карьера при погашении, $\beta_{раб.}$ и $\beta_{макс.}$ — соответственно углы рабочего борта и борта карьера при погашении



Рис. 5.13. Станок вращательного бурения типа СБШ

а



б



Рис. 5.14. Одноковшовые экскаваторы: а — прямая лопата; б — драглайн



Рис. 5.15. Цепной экскаватор на рельсовом ходу

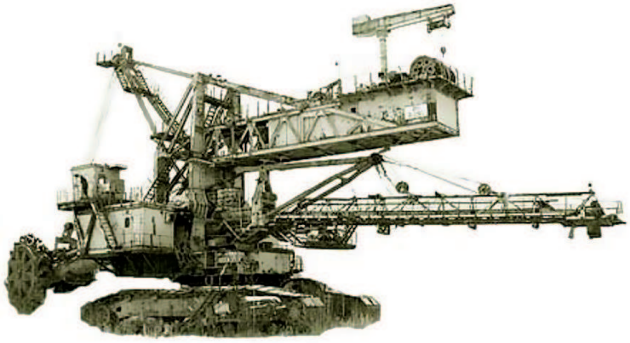


Рис. 5.16. Роторный экскаватор ЭР-1250



Рис. 5.17. Самоходный скрепер МоАЗ-60071



Рис. 5.18. Карьерный погрузчик



Рис. 5.19. Промышленный электровоз



Рис. 5.20. Думпкар



Рис. 5.21. Автосамосвал БелАЗ-75131



Рис. 5.28. Конвейерный отвалообразователь

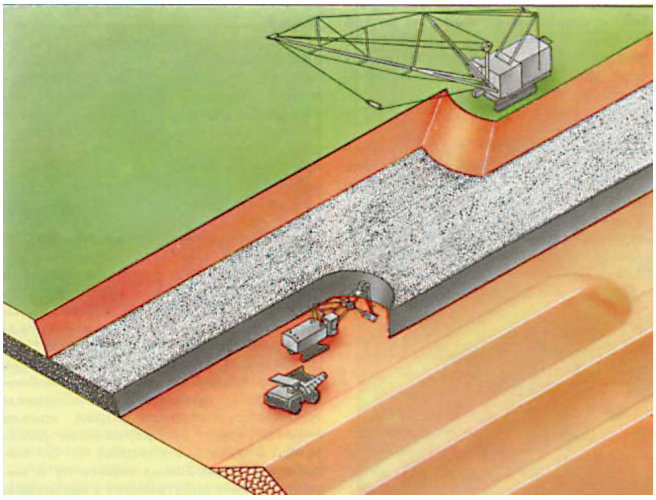


Рис. 5.29. Бестранспортная система разработки с простой схемой вскрышных работ

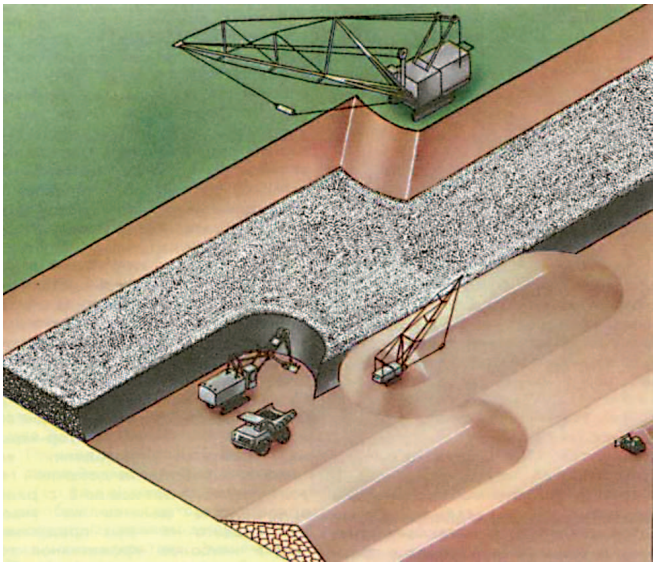


Рис. 5.30. Бестранспортная система разработки с обычным вторичным отвалом и усложненной схемой вскрышных работ, выполняемых шагающими драглайнами

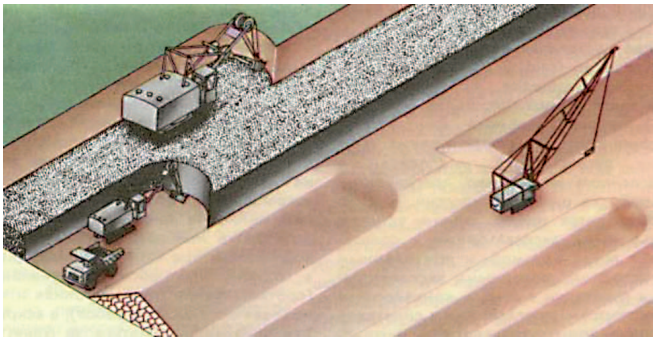


Рис. 5.31. Бестранспортная система разработки с обычным вторичным отвалом и усложненной схемой вскрышных работ, выполняемых мехлопатой и драглайном

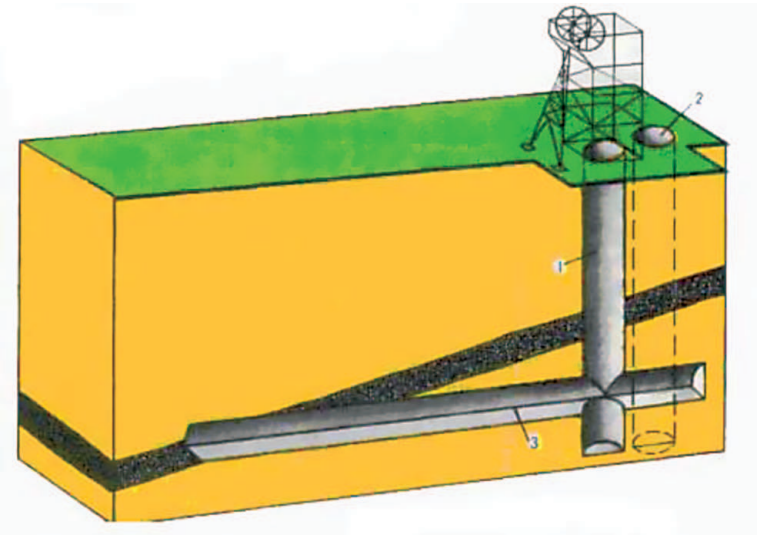


Рис. 6.6. Схемы вскрытия шахтного поля одного пласта вертикальными стволами с постоянным транспортным горизонтом:

1,2 — главный и вспомогательный стволы соответственно;
3 — квершлаг

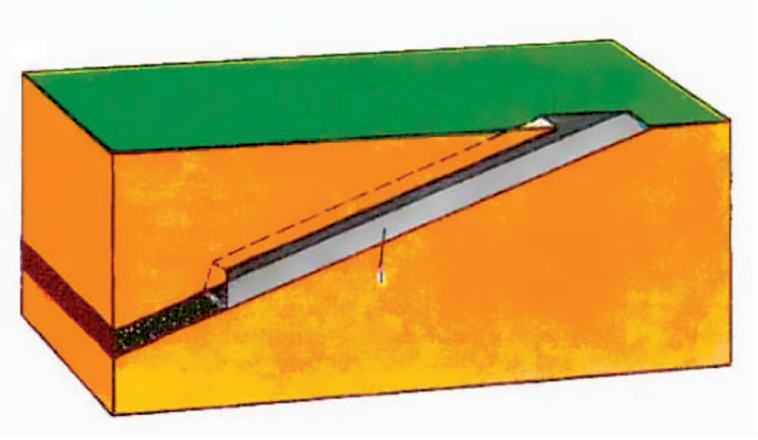


Рис. 6.7. Схемы вскрытия шахтного поля наклонным стволом, пройденным по залежи полезного ископаемого:

1 — ствол

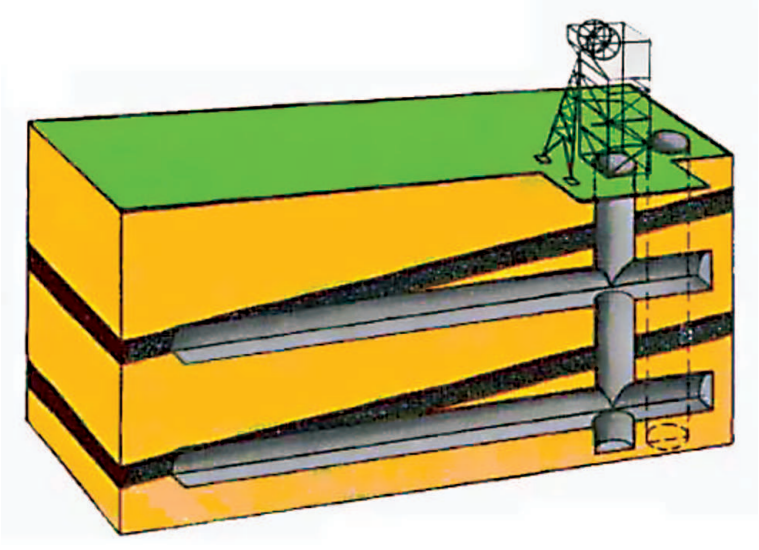


Рис. 6.8. Схемы вскрытия шахтных полей свиты пластов вертикальными стволами с двумя транспортными горизонтами

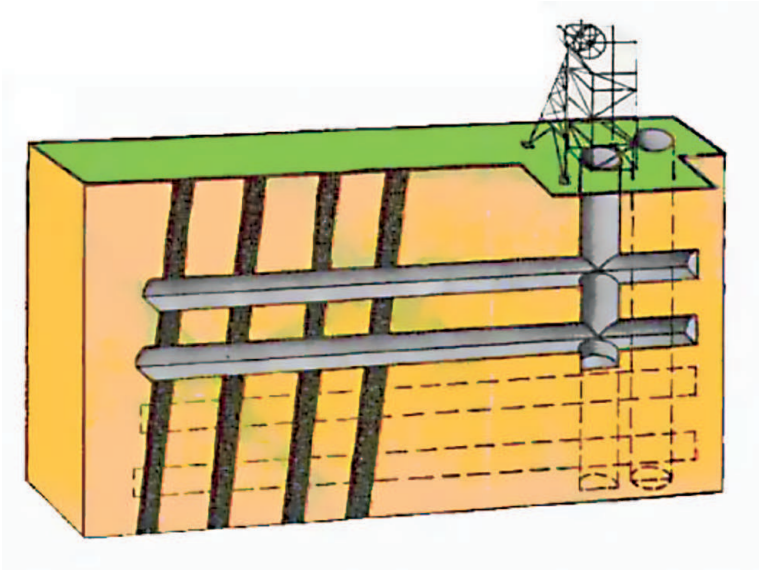


Рис. 6.9. Схемы вскрытия шахтного поля свиты крутых пластов вертикальными стволами с этажными квершлагами и углубкой стволов

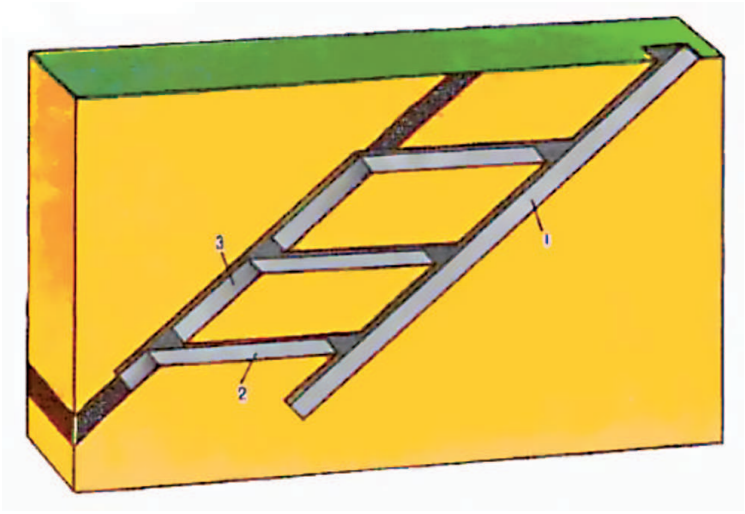


Рис. 6.10. Схемы вскрытия шахтного поля наклонным стволом в сочетании с погоризонтными квершлагами и капитальным бремсбергом:

1 — ствол;
2 — квершлаг;
3 — капитальный бремсберг

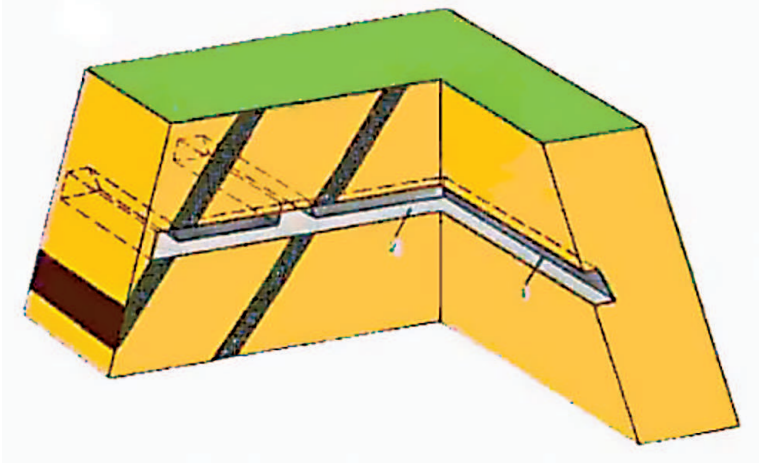


Рис. 6.11. Вскрытие штольней, ориентированной по простиранию:

1 — штольня;
2 — квершлаг

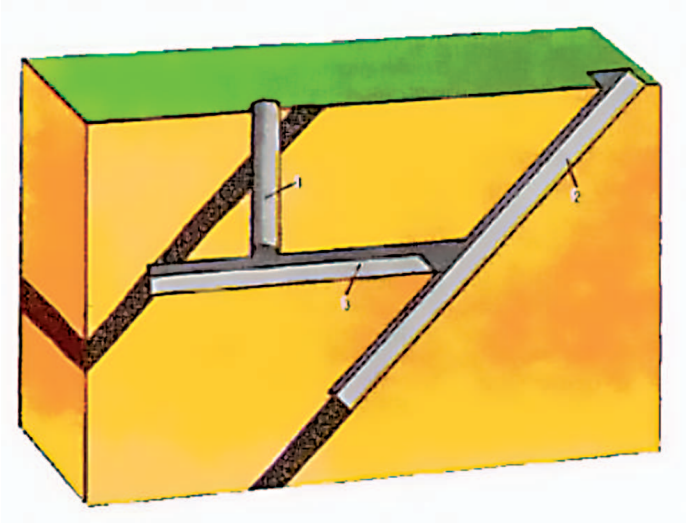


Рис. 6.12. Схемы комбинированного вскрытия вертикальным и наклонным стволами с капитальным квершлагом:

1 — вертикальный ствол;
2 — наклонный ствол;
3 — капитальный квершлаг

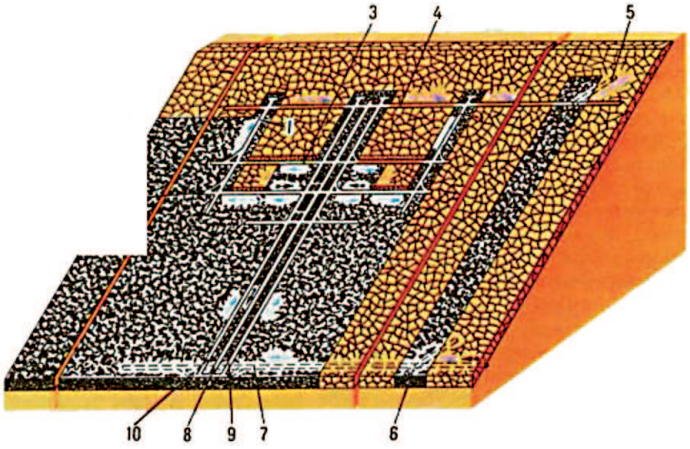


Рис. 6.16. Панельный способ подготовки бремсберговой части шахтного поля:

1 — фланговый ходок;
2 — ярусный транспортный штрек; 3 — ярусный вентиляционный штрек;
4 — главный вентиляционный штрек; 5 — главный вентиляционный квершлаг;
6 — главный транспортный квершлаг; 7 — главный транспортный штрек;
8 — конвейерный бремсберг;
9 — людской ходок;
10 — вспомогательный ходок

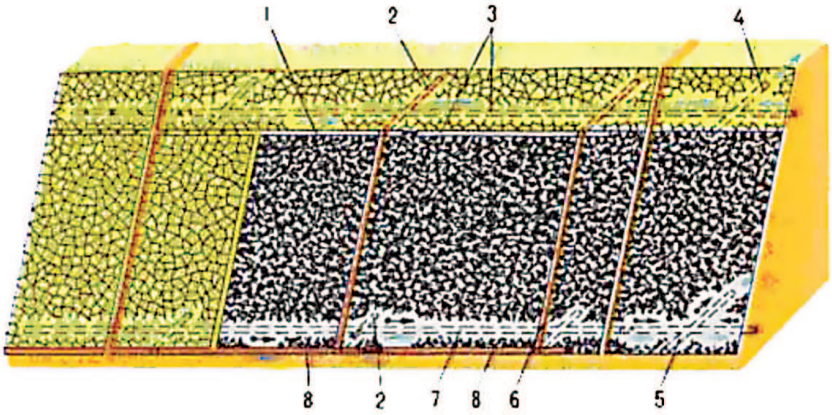


Рис. 6.17. Этажный способ подготовки шахтного поля при разработке крутых пластов:

1 — вентиляционный пластовый штрек; 2 — промежуточный квершлаг; 3 — групповой этажный вентиляционный штрек; 4 — этажный вентиляционный квершлаг;
5 — этажный транспортный квершлаг; 6 — ходовая (вентиляционная) печь;
7 — групповой этажный транспортный штрек; 8 — транспортный пластовый штрек

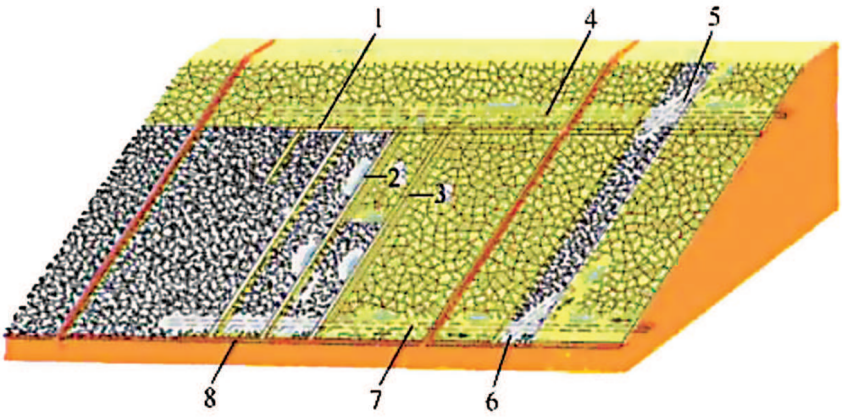


Рис. 6.18. Погоризонтный способ подготовки бремсберговой части шахтного поля при отработке пласта лавами по падению:

1 — монтажный штрек; 2 — конвейерный бремсберг; 3 — вентиляционный бремсберг; 4 — главный вентиляционный штрек; 5 — главный вентиляционный квершлаг; 6 — главный транспортный квершлаг; 7 — главный транспортный штрек; 8 — демонтажная камера



Рис. 6.22. Установка струговая С700

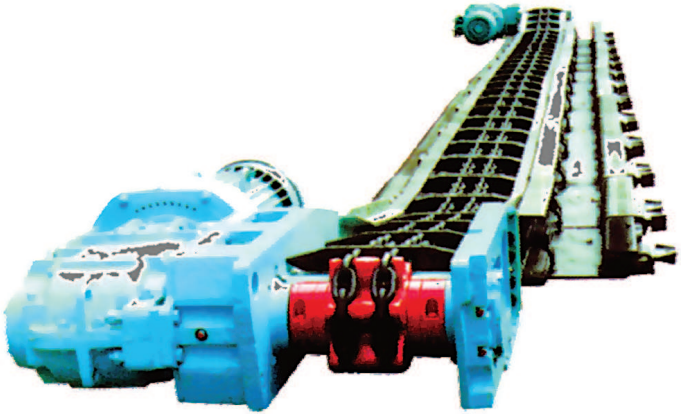


Рис. 6.23. Конвейер шахтный скребковый СПЦ163

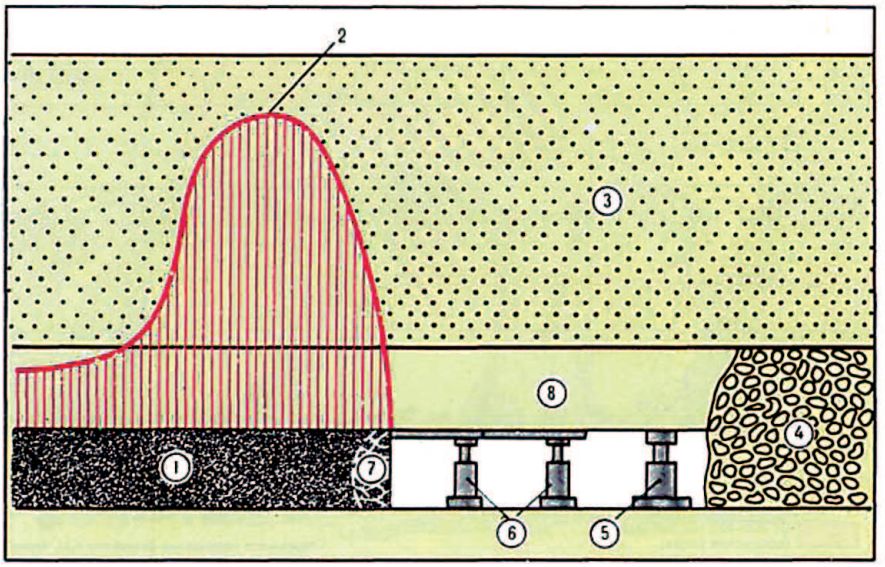


Рис. 6.24. Схема проявлений горного давления в лаве:

1 — угольный пласт; 2 — опорное давление; 3 — основная кровля; 4 — обрушение породы; 5 — посадочная крепь; 6 — призабойная крепь; 7 — зона отжима; 8 — непосредственная кровля

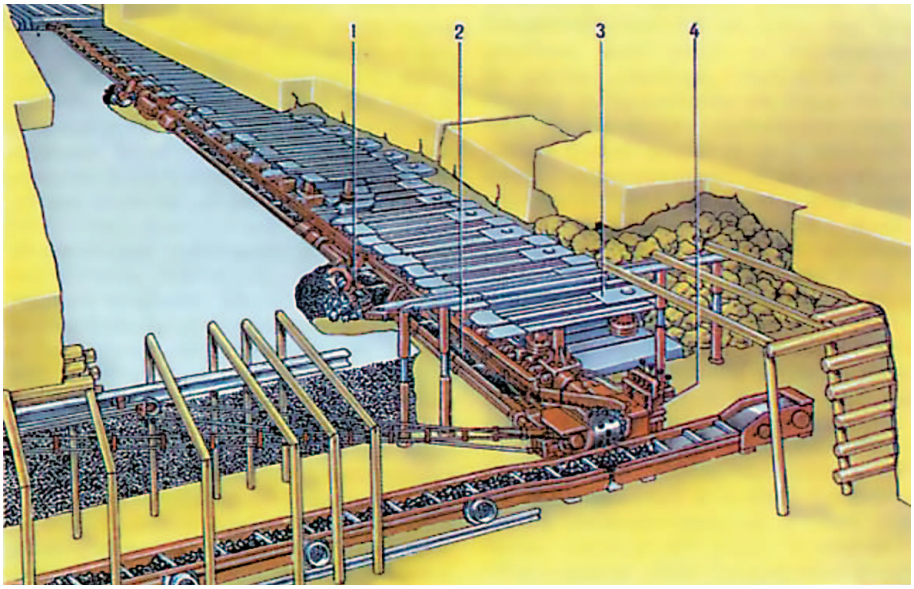


Рис. 6.26. Лава, оборудованная угледобывающим агрегатом А-2К с узкозахватным комбайном:

1 — узкозахватный очистной комбайн; 2 — забойный конвейер; 3 — секция механизированной крепи; 4 — пульт управления

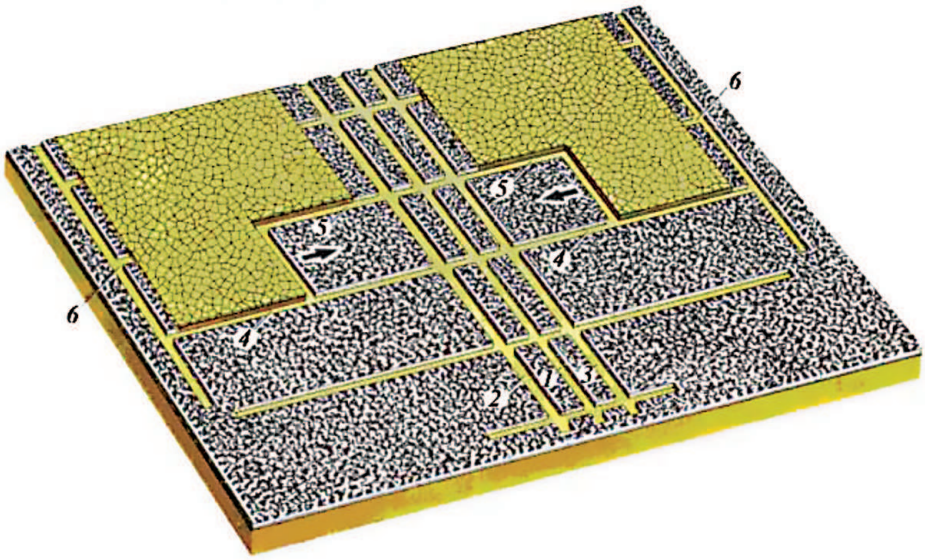


Рис. 6.27. Система разработки длинными столбами по простиранию:
1 — конвейерный уклон; 2 — вспомогательный уклон; 3 — людской уклон; 4 — ярусный конвейерный штрек; 5 — ярусный вентиляционный штрек; 6 — фланговый уклон

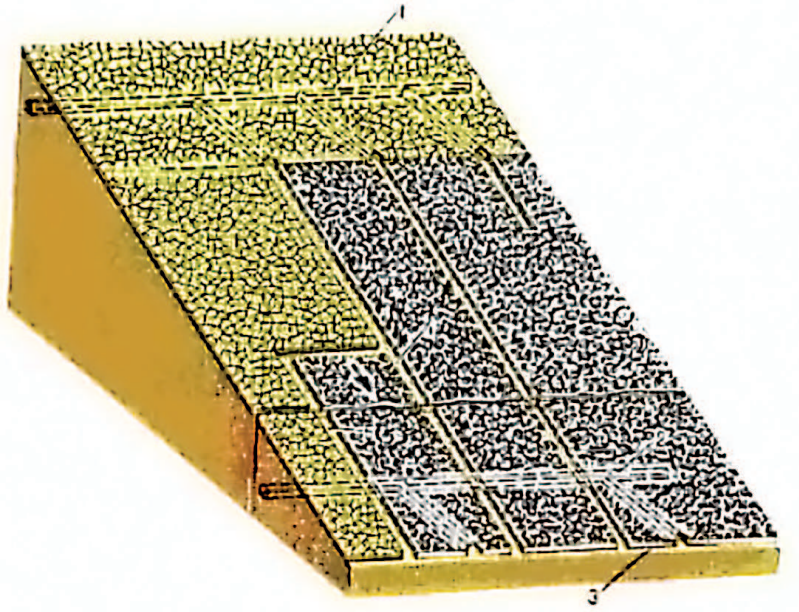


Рис. 6.28. Система разработки длинными столбами по падению.
1 — главный полевой вентиляционный штрек; 2 — главный полевой транспортный штрек; 3 — воздухоподающий штрек; 4 — конвейерный бремсберг; 5 — вентиляционный бремсберг

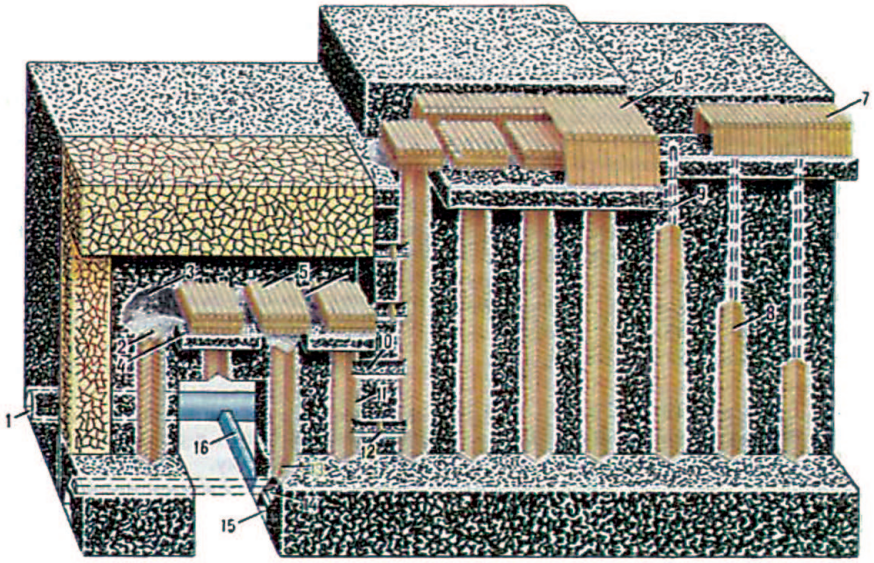


Рис. 6.29. Схема щитовой выемки мощного крутого угольного пласта:
1 — групповой полевой откаточный штрек; 2 — предохранительный полок; 3 — подщитовой забой; 4 — канава; 5 — щит; 6 — монтажная камера; 7 — вентиляционный штрек; 8 — углеспускная печь в подготавливаемом столбе; 9 — вентиляционная скважина; 10 — сбойка; 11 — ходовая печь; 12 — перемычка; 13 — бункер; 14 — параллельный штрек; 15 — откаточный штрек; 16 — участковый квершлаг

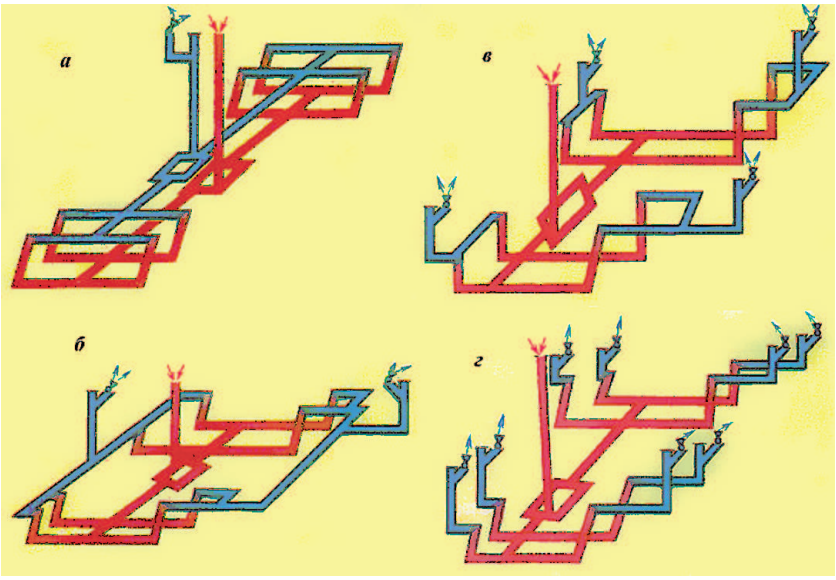


Рис. 6.31. Схемы вентиляции шахт:
а — центральная; б крыльевая; в — групповая; г — участковая

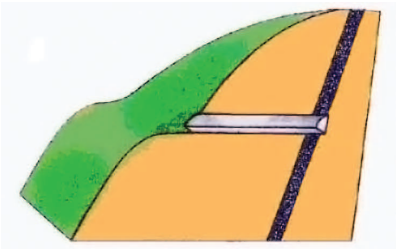


Рис. 6.32. Схемы вскрытия шахтного поля штольней, расположенной в висячем боку

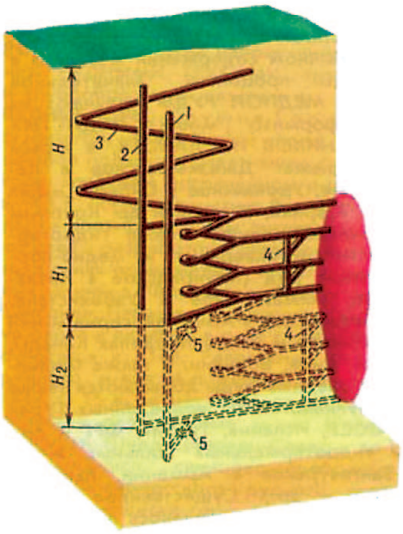


Рис. 6.33. Схема вскрытия и подготовки запасов крутопадающего рудного тела, залегающего на глубине до 600 м, концентрационным горизонтом при поэтапной разработке:

1 — скиповой рудоподъемный ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — наклонный съезд; 4 — капитальный рудоспуск; 5 — дробильно-перегрузочный комплекс

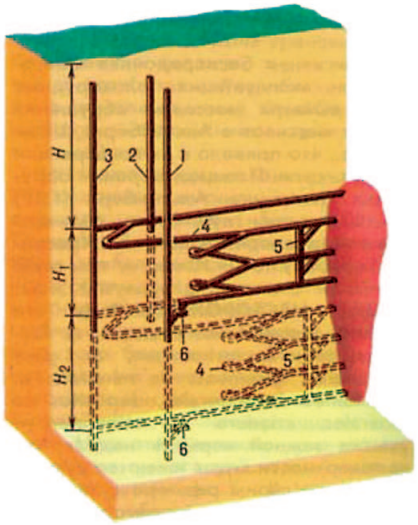


Рис. 6.34. Схема вскрытия и подготовки запасов крутопадающего рудного тела, залегающего на глубине более 600 м, концентрационными горизонтами при поэтапной разработке:

1 — скиповой рудоподъемный ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — грузовой ствол, оборудованный кабель-краном; 4 — слепой наклонный съезд; 5 — капитальный рудоспуск; 6 — дробильно-перегрузочный комплекс

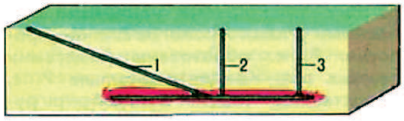


Рис. 6.35. Схема вскрытия пологих и горизонтальных пластовых рудных тел и пластов, залегающих на глубине до 300 м:

1 — наклонный конвейерный рудовыдачной ствол; 2 — вспомогательно-вентиляционный ствол; 3 — вентиляционный ствол или вентиляционная скважина

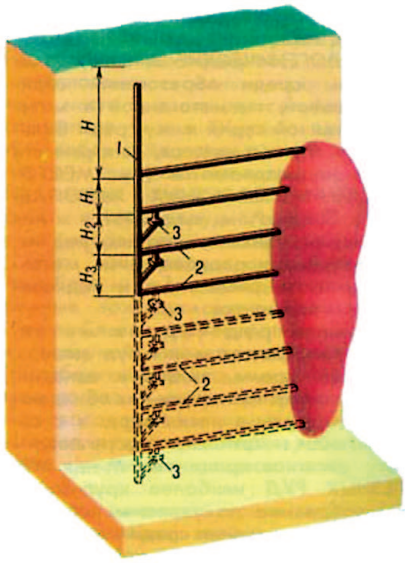


Рис. 6.36. Схема поэтажного вскрытия и подготовки запасов крутопадающего рудного тела:

1 — скиповой рудоподъемный ствол; 2 — этажные квершлаги; 3 — дробильно-перегрузочный комплекс

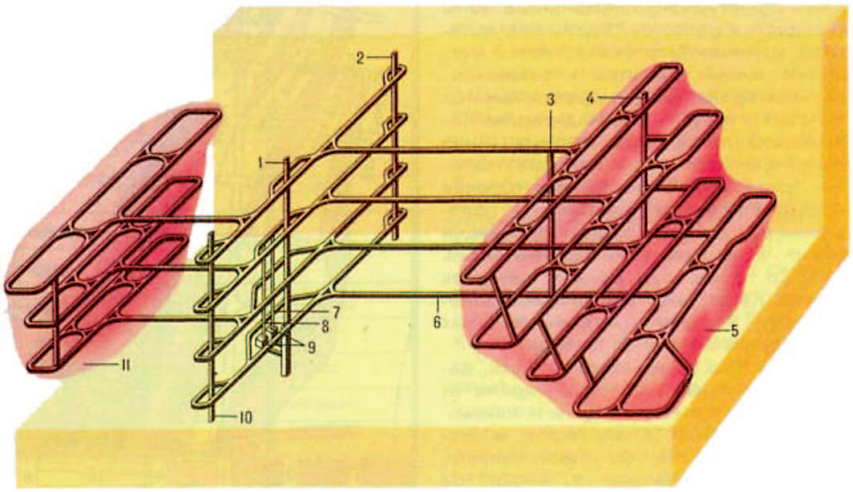


Рис. 6.37. Схема комплексного вскрытия рудного месторождения:

1 — скиповой рудовыдачной ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — капитальный рудоспуск; 4 — лифтовый подъемник; 5 — руды черных металлов; 6 — концентрационный горизонт; 7, 8 — рудоспуски соответственно для руд черных и цветных металлов; 9 — дробильно-перегрузочные комплексы; 10 — вентиляционно-вспомогательный ствол; 11 — руды цветных металлов

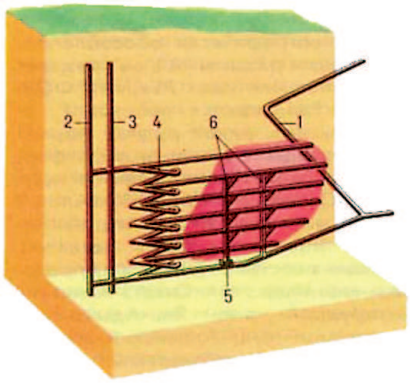


Рис. 6.39. Схема вскрытия и подготовки запасов наклонного рудного тела, залегающего на глубине более 600 м, концентрационным горизонтом:

1 — наклонный конвейерный рудовыдачной ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — грузовой ствол; 4 — наклонный съезд; 5 — дробильно-перегрузочный комплекс; 6 — капитальный рудоспуск

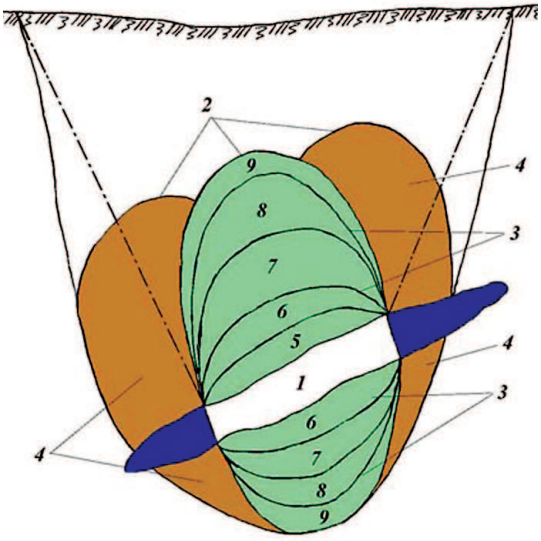


Рис. 6.40. Сдвижение горных пород при разработке:

1 — зона техногенного разрушения; 2 — геофизический экотон; 3 — область разгрузки; 4 — область повышенного горного давления; 5 — зона предельного равновесия; зоны: 6 — разломов; 7 — активных трещин; 8 — локальных трещин; 9 — плавной деформации

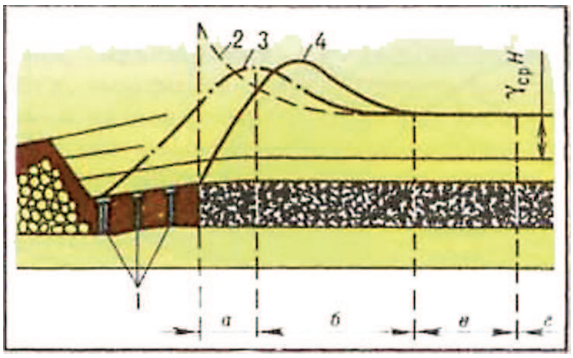


Рис. 6.53. Общий характер распределения опорного горного давления в вертикальной плоскости при выемке пологого пласта:

а — подзона пониженных напряжений, сравнимых с $\gamma_{ср}H$; б — повышенных напряжений; в — вторая подзона пониженных напряжений; г — напряжений, близких к $\gamma_{ср}H$; 1 — крепь очистного забоя; 2, 3, 4 — кривые распределения опорного давления соответственно по теории концентрации напряжений

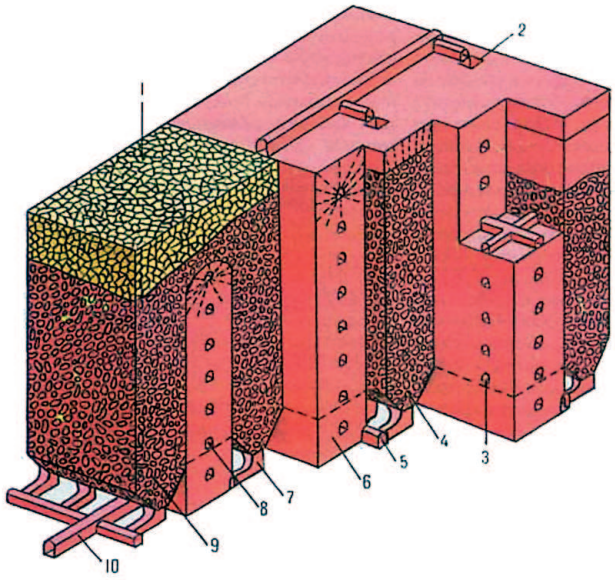


Рис. 6.64. Комбинированная система разработки с магазинированием руды в камерах и выемкой целиков подэтажным обрушением:

1 — обрушенная порода; 2 — вентиляционный восстающий; 3 — подэтажный штрек; 4 — камера; 5 — доставочный орт; 6 — междукамерный целик; 7 — выпускная выработка; 8 — буровой орт; 9 — замагазинированная руда; 10 — откаточный штрек

В зависимости от способа возбуждения взрыва средств инициирования различают следующие способы взрывания зарядов:

— огневой, при котором возбуждение взрыва капсюля-детонатора (КД) вызывается от пучка искр огнепроводного шнура (ОШ);

— электрический, при котором тепловой импульс в электродетонатор (ЭД) передается от электровоспламенителя;

— электроогневой, при котором капсюль-детонатор взрывается от пучка искр огнепроводного шнура, поджигаемого электровоспламенителем;

— бескапсюльный, при котором инициирующий импульс зарядам ВВ передается детонирующим шнуром (ДШ), взрыв которого инициируется капсюлем-детонатором или электродетонатором.

К средствам огневого взрывания относятся капсюль-детонатор (КД-85, КД-8С, КД-8А), огнепроводный шнур, зажигательные патроны, зажигательный тлеющий фитиль.

Капсюль-детонатор (рис. 4.2, смю вкл.) представляет собой небольшой заряд первичного и вторичного инициирующих ВВ, размещенный в металлической или картонной гильзе. Диаметр гильзы 6 — 7 мм, длина 47 — 51 мм. С одного конца гильза имеет открытое дульце, куда вводят огнепроводный шнур, с другого выемку, формирующую кумулятивную струю, которая усиливает кумулятивное действие. Металлическая чашечка, куда впрессовано первичное инициирующее вещество, имеет центральное отверстие для поджигания ВВ. Промышленностью выпускаются капсюли-детонаторы гремучертутнотетриловые и азидотетриловые.

Огнепроводный шнур (рис. 4.3) представляет собой шнур с сердцевиной из прессованного дымного пороха, окруженной наружной и внутренней оплетками, покрытыми влагоизолирующим составом. Диаметр пороховой сердцевины около 2 мм, наружный диаметр 5 — 6 мм. В зависимости от материала внешней оболочки выпускаются шнуры марок ОША, ОШП и ОШЭ. Шнуры ОШП и ОШЭ предназначены для обводненных забоев. Скорость горения шнура 1 м/с. Шнуры выпускаются отрезками 10 м. Средства зажигания огнепроводного шнура представляют собой как специальные электрические или термические устройства, так и отрезки самого шнура. При зажигании одиночного шнура разрешается использовать спички.



Рис. 4.3. Огнепроводный шнур

Зажигательный патрон (рис. 4.4, см. вкл.) представляет собой картонную гильзу с лепестками, на дно которой помещают зажигательный состав.

Зажигательные патроны применяются для одновременного группового зажигания 10 — 13 отрезков шнура. Зажигательную смесь патрона поджигают с помощью воспламеняющего шнура.

Для электрического зажигания отдельных отрезков ОШ применяют зажигательные трубки, электрозажигатели. Для зажигания ОШ также применяют тлеющие фитили и зажигательные свечи.

При электрическом способе взрывания для инициирования взрыва ВВ применяют электродетонаторы (рис. 4.5, см. вкл.).

Электродетонатор представляет собой капсюль-детонатор с введенным в него электровоспламенителем. Электровоспламенитель состоит из проводников, нитей накаливания и головки воспламенительного состава.

По времени срабатывания различают электродетонаторы мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия. Замедление достигается размещением между капсюлем-детонатором и электровоспламенителем медленно горящего состава.

Капсюли-детонаторы, непосредственно соединенные с электровоспламенителем, называются элект-родетонаторами мгновенного действия (ЭД-8Ж, ЭД-1-8Т).

Взрывание зарядов при помощи таких ЭД, если они включены в общую сеть, происходит одновременно и мгновенно.

Для повышения эффекта взрывных работ при проведении горных выработок взрывание зарядов в шпурах производят группами в определенной последовательности. При огневом взрывании это достигается применением огнепроводного шнура различной длины. При электрическом взрывании разновременность взрывания зарядов достигается применением электродетонаторов замедленного (ЭДЗД) или короткозамедленного (ЭДКЗ) действия. Интервалы замедления ЭДЗД: 0,5; 0,75; 1,0;,1,5; 2,0; 4,0; 8,0 и 10,0 с. Интервалы замедления ЭДКЗ: 15, 30, 45, 75, 90, 105 и 120 мс или 25, 50, 75, 100 и 125 мс.

В шахтах, опасных по газу и пыли, допускается только электрическое взрывание зарядов с предохранительными электродетонаторами мгновенного и короткозамедленного действия ЭД-КЗ-ОП, ЭД-КЗ-П, ЭД-КЗ-ПМ. Предохранительные свойства электродетонаторов достигаются нанесением на гильзу ЭД слоя пламегасителя.

При электрическом взрывании в качестве источников тока применяют конденсаторные взрывные машинки КПВ-1/100М, ПИВ-100М или электрический ток напряжением 380 В. При электрическом и электроогневом способах взрывания зарядов монтируют взрывные сети. По способу соединения электродетонаторов взрывные сети подразделяются на последовательные, параллельные и смешанные. В забоях подготовительных и очистных выработок применяют последовательное соединение. Более предпочтительным с точки зрения предотвращения отказов является переход на параллельно-последовательное соединение ЭД. До присоединения к взрывной сети провода электродетонаторов замкнуты накоротко.

Безопасное взрывание зарядов осуществляется *детонирующим шнуром (ДШ).* Детонирующий шнур (рис. 4.6) — шнур с сердцевиной из высокобризантного ВВ. Взрывается ДШ от капсюля-детонатора или элект-родетонатора. ДШ предназначен для передачи детонации от КД к заряду ВВ или от заряда к заряду. Скорость детонации ДШ 7,0 км/с. Вследствие этого взрывание зарядов происходит одновременно.



Рис. 4.6. Детонирующий шнур

В последнее время появились принципиально новые, более эффективные системы инициирования зарядов — абсолютно безопасные (нанэль). Эти системы основаны на замене ДШ с сердцевиной из ВВ на ДШ в виде трубки с напыленным на внутреннюю поверхность слоем взрывного вещества. При возбуждении детонации в этом слое максимум давления, температуры и энергии, достаточный для инициирования заряда, создается вдоль осевой линии трубки. На стенке же трубки температура и давление почти не возрастают, что обеспечивает высокую безопасность.

4.4. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Под механическим разрушением горных пород принято понимать технологическое отделение от массива и дробление твердого вещества литосферы за счет использования механической энергии.

В современной горнодобывающей индустрии механическое разрушение горных пород производится за счет ударных нагрузок или усилий резания.

На разрушении массива за счет энергии удара основываются основные способы бурения прочных горных пород — ударно-вращательное, ударно-поворотное и шарошечное.

В результате удара инструмента по забою шпура (скважины) кинетическая энергия инструмента (энергия ударного импульса) затрачивается на дробление породы и вытеснение отделившихся частиц из образующейся лунки. Очевидно, чем большая доля энергии затрачивается на поступательное движение инструмента, тем большее значение приобретают удары для разрушения. При ударных способах бурения вслед-ствие принудительного вращения инструмента при последующих ударах разрушаются новые участки забоя скважины.

При ударном и ударно-вращательном способах бурения разрушение породы происходит в основном в результате последовательных ударов инструмента по забою. Инструмент движется возвратно-поступательно и вращается, при этом обеспечивается разрушение породы по всей площади забоя. В машинах ударного бурения, как правило, принудительный поворот инст-румента осуществляется только при его возвратном движении, поэтому такие машины иногда называют ударно-повортными.

При вращательно-ударном бурении инструмент вдавливается в породу под действием динамических нагрузок, как при вращательном способе.

Бурение шарошечными долотами может быть отнесено к ударному, если разрушение происходит только в результате перекатывания шарошки по забою, и к вращательно-ударному, если, кроме того, наблюдается скольжение зуба шарошки по забою.

Разрушение горных пород за счет усилий резания составляет основу вращательного способа бурения малопрочных горных пород, разработки этих пород экскаваторами непрерывного действия (роторными или многоковшовыми), а также комбайновой и струговой добычи горючих полезных ископаемых — углей и горючих сланцев.

В мировой практике открытых горных работ наи-большее распространение получили роторные экскаваторы, позволяющие обеспечивать большие усилия копания и высоту уступов. Эти экскаваторы отличаются высоким КПД, относительно небольшим износом элементов рабочего оборудования, универсальностью. Производительность этих экскаваторов колеблется от 200 до 19000 $м^3$/ч при высоте уступов от 6 до 50 м.

Многоковшовые цепные экскаваторы применяются при разработке относительно мягких горных пород с удельным сопротивлением копанию до 0,6 — 0,7 МПа. Цепные экскаваторы, применяемые на горнодобывающих предприятиях, имеют производительность от 300 — 400 до 6000 $м^3$/ч.

На открытых горных работах широко используются специализированные машины для механического рыхления горных пород. Бульдозеры используются для послойной разработки горных пород с пределами проч-ности на сжатие до 40 МПа.

Рыхлители на базе мощных промышленных тракторов применяются для безвзрывной подготовки к выемке и погрузке разрабатываемых горных пород с пределом прочности на сжатие до 90 МПа, а также мерзлых и трещиноватых скальных пород.

Колесные скреперы применяются для послойной разработки горных пород с пределами прочности на сжатие до 40 МПа с последующим транспортированием и укладкой этих пород.

Достаточно широко применяется механическое разрушение горных пород в процессе вторичного дробления крупногабаритных кусков, образующихся при взрывном дроблении горного массива.

Для этих целей в крановых бутобоях используют энергию удара падающего груза массой до 3 — 5 т.

Для дробления негабарита созданы также различные типы пневматических и гидропневматических бутобоев, выполняемых либо как стационарные установки на перегрузочных пунктах, либо как навесное оборудование к экскаваторам.

Наиболее широкое применение механического разрушения пород непосредственно на добыче полезных ископаемых имеет место в угледобывающей промышленности.

Эффективность механического разрушения угля зависит прежде всего от его прочности и крепости. Интегральным показателем усилия резания является сопротивляемость угля резанию.

Сопротивляемость угля резанию — характеристика сопротивления, оказываемая углем разрушению режущим инструментом. Показателем сопротивляемости резанию A (кН/см) является приращение силы резания на один сантиметр толщины стружки.

Между сопротивляемостью угля резанию A и коэффициентом крепости f существует корреляционная зависимость вида $A = 1{,}5f$.

Угольные пласты с сопротивляемостью резанию до 1,8 кН/см благоприятны для применения стругов; 1,8 — 2,4 кН/см — для обычных комбайнов и стругов отрывного действия с высокой энерговооруженностью; 2,4 — 3,6 — для очистных комбайнов высокой энерговооруженности.

Механическое разрушение при добыче угля осуществляется исполнительным органом очистного комбайна. Очистной угольный комбайн — машина, одновременно выполняющая в забое операции по отделению угля от массива, дроблению его до кусков транспортабельного размера и навалке на забойный конвейер. Угольный комбайн как выемочная машина состоит из электродвигателя, подающей части, исполнительного органа, погрузочного устройства и других узлов.

Действие исполнительных органов большинства комбайнов основано на принципе механического разрушения угля. Наиболее эффективными являются такие исполнительные органы, при работе которых в угле возникают растягивающие напряжения без образования объемного напряженного состояния.

Струговая установка — выемочная машина, предназначенная для механической отбойки, погрузки и доставки угля в очистных забоях. Исполнительным органом установки является струг. При движении вдоль забоя прижимаемого к нему струга снимается стружка угля толщиной 100 — 150 мм. Отбитый таким образом уголь корпусом струга грузится на конвейер. В отече-ственной практике струговые установки распространения не получили.

Механическое разрушение углей и пород при проходке выработок осуществляется исполнительным органом проходческого комбайна. Распространены исполнительные органы с коническими резцовыми коронками или шаровыми фрезами, установленными на стреле.

К механическому способу разрушения по сути своей относится и гидравлическое разрушение.

Гидравлическое разрушение горных пород основано на использовании кинетической энергии струи воды, выбрасываемой из гидромонитора. Считается, что эффективная отбойка происходит при напоре, развиваемом гидромонитором:

$$H > 5f,$$

где H — напор, развиваемый гидромонитором, МПа; f — коэффициент крепости угля по шкале М.М. Протодьяконова.

Гидравлическое разрушение применяют на открытых работах при разработке наносных отложений (вскрышные работы) и в отдельных случаях при подземной добыче угля. В зависимости от крепости угля применяют гидравлическое, взрывогидравлическое и гидромеханическое разрушение.

Гидромонитор — устройство, служащее для создания (формирования) плотной летящей с большой скоростью водяной струи и управления ею при размыве и отбойке полезного ископаемого или породы.

На шахтах, где осуществляется гидродобыча, для выемки угля и проведения горных выработок применяются гидромониторы, развивающие давление воды 12 – 16 МПа.

Наиболее широкое распространение гидравлический способ разрушения массивов приобрел при разработке рассыпных месторождений полезных ископаемых.

Кроме этих основных способов разрушения горных пород в той или иной степени готовности к массовому применению находятся разработки по использованию тепловой энергии сред разрушения горных пород за счет эффекта теплового расширения твердых тел. Здесь можно выделить также принципиальные направления:

– нагревание породы внешним источником тепла;

– нагревание породы за счет электрофизических излучений.

Эти направления представлены единичными экспериментальными работами по созданию специализированного горного оборудования с инфракрасными или высокочастотными излучателями. Полученные результаты, пока только обнадеживают технологов своими дальними перспективами, но не дают оснований для разработки полупромышленных и тем более промышленных установок.

Глава 5

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ НЕДР

Открытая разработка ведется непосредственно с земной поверхности. Поэтому применялась она еще в древнейшее время, когда извлекались только те полезные ископаемые, которые залегали наиболее близко к земной поверхности. По мере увеличения глубины работ открытый способ становился невыгодным, т. к. удаление увеличивающегося объема пустых пород по-средством мускульного труда было слишком трудоемким и дорогим. Поэтому открытый способ разработки на длительное время был в основном вытеснен подземным, при котором не требовалась выемка пустых пород. Лишь с конца XIX в. в связи с внедрением горных машин открытые работы начали получать широкое распространение. С этого времени, а особенно в 30 — 50 г. XX в. применение открытого способа разработки непрерывно расширялось во всем мире.

В России наиболее старыми являются Уральские железорудные карьеры. Горные работы в них ведутся с XVIII в. — на Гороблагодатском карьере с 1735 г., на Высокогорном — с 1781 г. Однако техническая оснащенность карьеров была низкой — преобладали ручная погрузка и конная откатка грузов. Горное машиностроение было развито слабо. Путиловский завод, единственный в России изготовлявший экскаваторы, выпустил их всего 25 штук. Они были громоздкие, малопроизводительные, с паровым приводом и на железнодорожном ходу.

Значительное развитие открытых горных работ началось в период первых советских пятилеток. Были введены в действие такие крупные карьеры, как Магнитогорский железорудный (1930), Коунрадский меднорудный (1936), Краснобродский и Бачатский угольные разрезы (1948 — 1950) и др.

Наиболее быстрое развитие открытых горных работ началось в послевоенный период, чему способствовал выпуск современного карьерного горнотранспортного оборудования. В период 1947 — 1950 гг. на карьеры стали поступать экскаваторы СЭ-3, драглайны ЭШ-4/40, ЭШ-6/60, ЭШ-14/65, большегрузные автосамосвалы и думпкары и другая техника, что способствовало значительному улучшению технико-экономических показателей открытого способа добычи. Для разработки скальных пород в дальнейшем были созданы новые буровые станки шарошечного и огневого бурения, карьерные экскаваторы (мехлопаты) с ковшом вместимостью до 20 м^3, думпкары грузоподъемностью 180 т, автосамосвалы грузоподъемностью 110 — 180 т, а также целая серия вспомогательного оборудования.

С внедрением новой техники совершенствовались технология ведения горных работ и параметры карьеров. Сейчас проектируются карьеры глубиной до 700 м. Высота уступа увеличилась с 7 до 40 м. Широкое применение получили бестранспортные и транспортно-отвальные технологические схемы, повысилась ин-

тенсивность отработки (углубка карьеров достигает 15 — 20 м/год), возросла производственная мощность карьеров.

В настоящее время открытыми работами в России добывают более $^2/_3$ всех руд. Исследования показали, что на месторождениях, пригодных для экономичной открытой разработки, можно добывать около 55 % всего угля, 75 % руд цветных металлов и 82 % железной руды. Широкое распространение открытых работ и непрерывное расширение области их применения объясняются целым рядом достоинств, присущих открытому способу разработки по сравнению с подземным.

Преимущества открытых работ: большая безопасность и лучшие санитарно-гигиенические условия труда рабочих; широкое применение высокопроизводительных машин и механизмов и вследствие этого более высокая производительность труда рабочих, обеспечивающая низкую себестоимость вскрышных и добычных работ; меньшие потери руды и большие возможности селективной выемки; более простая организация работ.

Недостатки открытых работ: некоторая зависимость от климатических условий; значительные капитальные затраты в случае необходимости предварительного удаления большого объема покрывающих пород; большие затраты на восстановление (рекультивацию) поверхности после окончания разработки.

С точки зрения законов формирования техногенно измененных недр характерной особенностью открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых является то, что полезное ископаемое может быть извлечено из недр только после того, как удалена, полностью или частично, налегающая толща горных пород. То есть зона техногенного разрушения литосферы формируется после удаления того объема пород, в котором должна была бы сформироваться зона геофизических изменений. Так как удаление налегающей толщи по своей физической сущности также требует разрушения составляющих ее пород, то общая модель техногенно измененных недр принимает вид, в котором зона полного техногенного разрушения и изъятия материала литосферы целиком поглощает зону изменения физических свойств.

5.2. ОСНОВНЫЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Открытым способом разрабатываются месторождения полезных ископаемых любой формы, залегающих в разнообразных природных условиях.

По положению залежи относительно земной поверхности различают месторождения: поверхностного типа, расположенные на поверхности или покрытые наносами небольшой мощности; глубинного типа, расположенные значительно ниже господствующего уровня поверхности; нагорного типа, расположенные на возвышенности или склоне горы; высотно-глубинного типа, частично расположенные на горе или на горном склоне.

По углу наклона к горизонту различают следующие залежи: горизонтальные или слабонаклонные — до 10 — 15°; наклонные — от 10 до 30°; крутые — более 30°.

По структурному строению и распределению качества: залежи простые однокомпонентные с однородным строением и равномерным распределением качественных признаков; сложноструктурные многосортные и многокомпонентные.

По преобладающим типам пород: скальные вскрышные породы и крепкие руды; мягкие и плотные покрывающие породы; полускальные вскрышные породы и полезные ископаемые; мягкие вскрышные породы и мягкие или плотные полезные ископаемые.

Тип пород определяет в основном выбор способов их подготовки к выемке, технологической схемы и видов основного выемочного и транспортного оборудования.

Карьер в хозяйственном значении — это горное предприятие, осуществляющее открытую разработку месторождения, а в техническом значении — это совокупность открытых горных выработок, служащих для разработки месторождения. Угольные карьеры обычно называют разрезами.

Часть месторождения, отводимая для разработки карьером, называется карьерным полем. Площадь карьерного поля обычно составляет от 0,5 до 4 тыс. га. Участок, занимаемый основными объектами карьера, называется земельным отводом. Площадь земельного отвода во много раз превышает площадь карьерного поля. На рис. 5.1 (см. вкл.) представлен общий вид карьера.

Месторождение при открытой разработке делят на горизонтальные или наклонные слои, которые отрабатывают с опережением верхними слоями нижних. Поэтому борта карьера, т. е. его боковые поверхности, имеют ступенчатую, или уступную, форму.

Уступом называется часть толщи пород, имеющая рабочую поверхность в форме ступени и разрабатываемая самостоятельными средствами выемки, погрузки и транспорта. Обычно высота уступа принимается не менее высоты черпания экскаватора и на большинстве карьеров составляет 10 — 15 м, а иногда достигает 20 — 40 м (рис. 5.2).

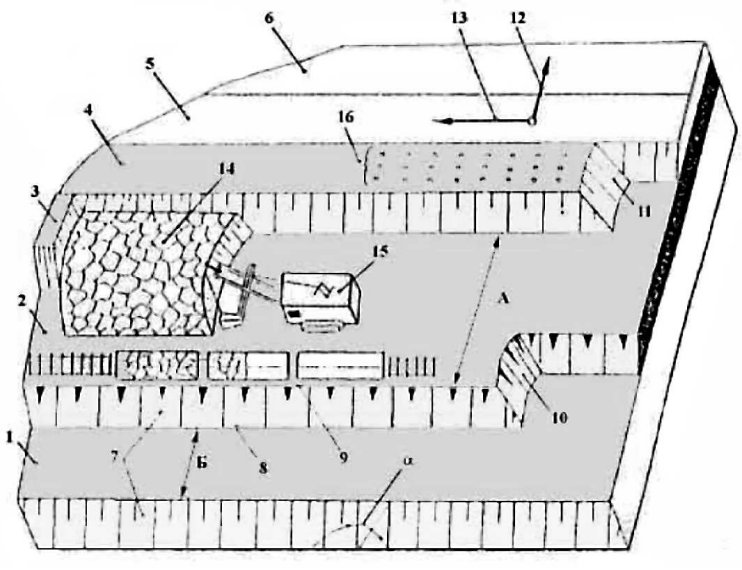


Рис. 5.2. Основные элементы уступа:

1, 2 — соответственно нижняя и верхняя площадки уступа; 3, 4, 5, 6 — заходки; 7 — откос уступа; 8 — нижняя бровка уступа; 9 — верхняя бровка уступа; 10, 11 — соответственно забои угольного и породного уступов; 12 — направление перемещения фронта работ; 13 — направление перемещения забоя заходки; 14 — развал породы после взрыва; α — угол откоса уступа; 15 — погрузка породы экскаватором в железнодорожный состав; 16 — подготовка заходки к взрыву, бурение и заряжание скважины; А — рабочая площадка; Б — нерабочая площадка

Различают рабочие и нерабочие уступы. На рабочих уступах производится выемка пород или добыча полезного ископаемого. Уступ имеет нижнюю и верхнюю площадки, откос и бровки.

Откосом уступа называется наклонная поверхность, ограничивающая уступ со стороны выработанного пространства. Линии пересечения откоса уступа с его верхней и нижней площадками называются соответственно верхней и нижней бровками.

Горизонтальные поверхности рабочего уступа, ограничивающие его по высоте, называют нижней и верх-ней площадками. Площадка, на которой расположено оборудование для разработки, называется рабочей площадкой. Ширина рабочих площадок составляет 40 — 70 м и более. Если площадка свободна, ее называют нерабочей.

Угол наклона уступа а к горизонтальной плоскости называется углом откоса уступа. Угол откоса рабочих уступов обычно равен 65 — 80°, а нерабочих — 45 — 60°.

Основные элементы уступа и технологии ведения вскрышных и добычных работ показаны на рис. 5.2.

Уступ разрабатывают последовательными параллельными полосами — заходками шириной 10 — 20 м с применением или без применения буровзрывных работ. Торец заходки называется забоем. Часть заходки по ее длине, подготовленная для разработки, называется фронтом работ уступа.

Подготовка фронта работ заключается в подводке транспортных путей (железных дорог или автодорог) и линии электропередачи. Обычно в работе находятся несколько уступов. Боковые поверхности, ограничивающие карьер и его выработанное пространство, называют бортами карьера.

Вскрышные работы — это работы по удалению пустых пород, покрывающих и вмещающих полезное ископаемое. В этой связи количественная оценка перемещаемых вскрышных пород производится с помощью специального показателя — коэффициента вскрыши.

В общем виде коэффициент вскрыши показывает отношение объема пустых пород к объему или весу добываемого полезного ископаемого ($м^3/м^3$ или $м^3/т$).

Различают следующие коэффициенты вскрыши (рис. 5.3):

средний — отношение общего объема пустых породы в конечных контурах карьера или его части к запасам полезного ископаемого в тех же границах:

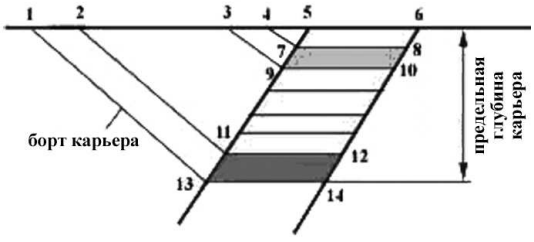


Рис. 5.3. К понятию о коэффициенте вскрыши

$$K_{ср} = \frac{Объем\ 1-5-13}{Объем\ 5-6-13-14};$$

частные значения среднего коэффициента вскрыши:

$$K'_{ср} = \frac{Объем\ 3-5-9}{Объем\ 5-6-9-10}$$

или

$$K''_{ср} = \frac{Объем\ 2-5-11}{Объем\ 5-6-11-12};$$

контурный (граничный) — отношение объема пустых пород, которые необходимо удалить для добычи руды на том или ином горизонте, к запасам руды на этом горизонте:

$$K_{к} = \frac{Объем\ 3-4-7-9}{Объем\ 7-8-9-10}.$$

С увеличением глубины разработки величина контурного коэффициента вскрыши возрастает.

Контурный коэффициент вскрыши для расчетного предельного горизонта карьера называется граничным (предельным). Практически он составляет:

$$K_{пр} = \frac{Объем\ 1-2-11-13}{Объем\ 11-12-13-14}.$$

Текущий ($K_{т}$) — отношение объема вскрышных пород, фактически перемещаемых в течение месяца, квартала, полугодия, года, к фактически добываемому за этот период объему полезного ископаемого.

Эксплуатационный ($K_{э}$) — расчетное отношение объема вскрышных пород к объему полезного ископае-мого за период эксплуатационных работ в карьере. Иногда его называют средним эксплуатационным. Он служит критерием для горных работ и расчетов по-требного количества горного и транспортного оборудования за период эксплуатации.

Коэффициент вскрыши изменяется в широких пределах — от 0,9 до 15 м^3/т и более.

Открытыми работами месторождение разрабатывают до такой глубины, на которой полная себестоимость 1 т полезного ископаемого (с учетом вскрышных работ) будет равна расчетной себестоимости руды при подземной добыче. Исходя из этого условия, предельный коэффициент вскрыши определяют по формуле

$$K_{пр} = \frac{C_{п} - C_{о}}{C_{в}},$$

где $C_{п}$ — себестоимость 1 м^3 руды из подземных работ; $C_{о}$ — себестоимость добычи 1 м^3 руды из открытых работ (без учета вскрышных работ); $C_{в}$ — стоимость удаления 1 м^3 пустых пород (вскрыши).

Различные методы определения предельной глубины карьера (графический, аналитический и графоаналитический) состоят в отыскании горизонта, для которого коэффициент вскрыши равен предельному. Иногда, учитывая достоинства и недостатки открытых работ, глубину карьера принимают больше или меньше расчетной. Так, при подземной разработке серноколчеданных месторождений нередко возникают подземные пожары, осложняющие разработку. В этом случае целесообразно увеличение глубины карьера по сравнению с расчетной. В условиях селективной выемки или при добыче ценных руд открытые работы также предпочтительнее и могут вестись ниже границы, определенной расчетом. В районах с суровым климатом и значительным выпадением снега, напротив, уменьшение глубины карьера может быть целесообразно.

Глубина современных карьеров уже превышает 500 м с перспективой увеличения до 700 и более метров.

Степень экономической эффективности открытых горных работ характеризуется величиной технико-экономических показателей, к основным из которых относятся прибыль, рентабельность, себестоимость.

Под прибылью понимается разница между ценно-стью реализуемой товарной продукции и затратами на ее производство.

Рентабельность — это отношение прибыли, полученной в течение года, к общей величине средств (основных и оборотных фондов), находящихся на карьере.

Себестоимость — затраты, приходящиеся на 1т добычи полезного ископаемого, складываются из затрат на собственно добычу и вскрышу:

$$C=C_o+K_э C_в;$$

где $C_о$ и $C_в$ — соответственно затраты на 1 т добычи и вскрыши, руб.; $K_э$ — коэффициент вскрыши, т/т.

5.3. ПЕРИОДЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

При разработке месторождений открытым способом можно выделить четыре периода: подготовительный, строительный, эксплуатационный, заключительный.

Подготовительный период включает работы по подготовке месторождения, осушению и ограждению от вод и подземного поверхностного стоков.

В строительный период входят работы по вскрытию месторождения, созданию начального фронта вскрышных и добычных работ, строительству транспортных коммуникаций.

Эксплуатационный период охватывает горные работы по вскрыше и добыче в пределах плана.

Заключительный период — это работы по рекультивации нарушенных горными работами земель.

Открытая разработка включает два основных вида работ — вскрышные и добычные. Вскрышные работы заключаются в удалении пустых пород, обеспечивающем доступ к полезному ископаемому и его добыче, а добычные — в выемке, погрузке и перемещению полезного ископаемого к месту доставки. В результате вскрышных и добычных работ образуется карьер.

Карьером называют горное предприятие, осуществляющее открытую разработку месторождения и имеющее совокупность открытых горных выработок, служащих для вскрытия, подготовки и добычи полезного ископаемого. Открытые горные работы примыкают непосредственно к земной поверхности.

Вскрышные и добычные работы ведутся совместно, причем вскрышные несколько опережают добычные работы во времени и пространстве. На рис. 5.4 (см. вкл.) показаны последовательные этапы развития открытых горных работ при разработке пологих и крутых залежей. Контур открытых выработок непрерывно перемещается, занимая новое положение.

Отличительные признаки открытых горных работ: размеры открытых горных выработок по всем направлениям значительны, что позволяет применять мощное горное оборудование больших размеров; удаление пустых пород и добыча полезного ископаемого производятся чаще экскаваторным способом; горнотранспортное оборудование характеризуется высокой производительностью.

В процессе извлечения полезных ископаемых из недр возникают бесплодные территории, разрушительное воздействие которых распространяется на окружающие сельскохозяйственные и лесные угодья. Это приводит к нарушению тысячелетиями складывающегося природного комплекса. Общая площадь земель, нарушенных открытыми работами, оценивается около 1,5 — 2,0 млн га.

Под рекультивацией понимается восстановление нарушенных земель с целью их использования в других отраслях народного хозяйства. В результате рекультивации могут создаться земли, пригодные для сельского и лесного хозяйства, организации отдыха, устройства водоемов, жилищного и промышленного строительства. При этом необходимо ориентироваться на создание наиболее ценных и продуктивных угодий.

5.4. СПОСОБЫ ВСКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ИХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ

Вскрытием карьерного поля называются горные работы по созданию комплекса капитальных и временных траншей и съездов, обеспечивающих грузотранспортную связь между рабочими горизонтами в карьере и приемными пунктами на поверхности.

Рабочими горизонтами в карьере являются рабочие площадки уступов. Приемные устройства на поверхно-сти — обогатительные фабрики, перегрузочные бункеры, склады, отвалы или электростанции. Траншеи и съезды оборудуются транспортными путями и средствами транспорта.

Совокупность всех вскрывающих выработок называется схемой вскрытия. Вскрытие рабочих горизонтов карьеров осуществляется при помощи горных выработок — капитальных наклонных или крутых траншей и горизонтальных — разрезных, которые являются продолжением капитальных траншей и служат для подготовки месторождения к выемке, создавая начальный фронт работ на вскрытом уступе.

Капитальные траншеи могут быть внешними и внутренними. Внутренние траншеи располагают внутри контура карьера, внешние — за пределами его контура. Вскрывающие траншеи имеют, как правило, трапециевидное поперечное сечение. При разработке неглубоких горизонтальных или пологих месторождений при числе уступов не более трех применяют внешние траншеи.

Этапы вскрытия при разработке горизонтальных и пологих месторождений включают обычно проведение одной или двух внешних капитальных траншей, разрезных траншей по вскрышным породам и по полезному ископаемому. После проходки разрезной траншеи по вскрышным породам отрабатывают 2 — 3 заходки и создают тем самым необходимое опережение вскрышных работ для проходки разрезной траншеи по полезному ископаемому.

Вскрытие наклонных и крутых залежей обычно осуществляется внутренними траншеями со сложной формой трассы, расположенной на нерабочих бортах траншеи.

Работы по вскрытию ведутся в течение всего времени разработки: на каждом горизонте проводят подготовительные выработки (разрезные траншеи), удлиняют и совершенствуют систему капитальных и временных съездов.

Если при разработке горизонтальных месторождений вскрывают сразу все горизонты и работы по вскрытию заканчиваются в период строительства карьера, то при разработке наклонных и крутопадающих месторожденияй они продолжаются до конца его разработки. При крутом залегании пласта необходим разнос не одного, а обоих бортов разрезной траншеи.

Способы проходки траншей. Вскрытие месторождений производится въездными траншеями, а подготовка — разрезными. Основные параметры траншеи (длина, ширина по низу, уклон, угол откоса бортов) зависят от назначения траншеи, проходческого оборудования, глубины вскрываемого горизонта и физико-механических свойств пород.

Длина траншеи L, максимальная глубина H и уклон $i = \mathrm{tg}\alpha$ связаны отношением

$$L = \frac{H}{i}.$$

Угол α показывает наклон дна траншеи к горизонтальной плоскости. Уклон определяется видом транспорта, и средние значения его находятся в следующих пределах: для железнодорожного транспорта 0,025 — 0,040, для автотранспорта

0,060 — 0,200, для конвейерного транспорта 0,250 — 0,330, для скиповых подъемников 0,500 — 1,000.

Минимальная ширина траншеи понизу также зависит от вида транспорта и числа путей и составляет для железнодорожного транспорта 8 — 16 м, для автотранспорта 6 — 14 м. Ширина траншеи должна быть увязана с параметрами проходческого оборудования. Разрезная траншея проходится горизонтально или с уклоном 0,003 — 0,005 для стока воды. Ширина разрезной траншеи принимается из условия размещения в ней взорванной массы при последующей отработке одного из ее бортов и затем приводится в соответствие с рабочими размерами экскаватора. Обычно ширина разрезных траншей составляет 20 — 25 м. Траншеи, располагаемые на косогоре, часто не имеют второго борта, поэтому их называют полутраншеями.

Траншеи могут располагаться в пустых породах и в рудном теле. В первом случае породу располагают на бортах траншеи или вывозят в отвалы. По этому признаку выделяют две группы способов проходки траншеи — бестранспортные и транспортные.

Бестранспортные способы проходки траншей применяют, если борта траншеи при дальнейшей разработке месторождения не будут отрабатываться и, следовательно, не потребуется повторного удаления породы с бортов.

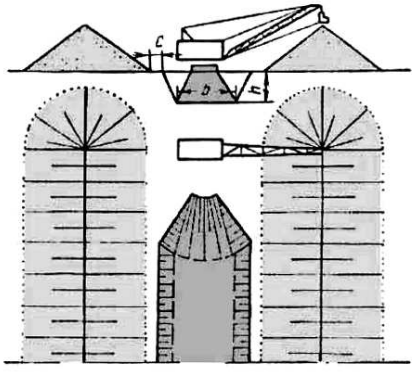


Рис. 5.5. Проходка траншеи драглайном

Проходка траншеи драглайном по бестранспортной схеме показана на рис. 5.5. Максимально возможные размеры траншеи *b* и *h* определяются рабочими параметрами экскаватора и физико-механическими свойствами пород. Между отвалом и верхней бровкой борта траншеи должна оставляться площадка (берма) безопасности *c*, размеры которой зависят от устойчивости пород и глубины траншеи. Иногда породы располагаются на одном борту траншеи: в этом случае при проходке экскаватор смещается к этому борту. Широкие траншеи экскаватор проходит за два хода, размещая породу вначале с одной стороны траншеи, а затем с другой стороны. В необходимых случаях на проходке применяют два драглайна. Прямую механическую лопату при бестранспортных способах проходки траншей применяют редко, т. к. использование в этом случае даже вскрышных экскаваторов не позволяет пройти траншею необходимых размеров.

Бестранспортные способы проходки траншей наиболее производительны и экономичны. Коэффициент использования экскаватора при этом достигает 0,8 — 0,85.

Транспортные способы проходки траншей могут применяться в самых разнообразных условиях. Проходка траншеи сплошным забоем с нижней погрузкой —

наиболее распространенный способ этой группы, который применяют в мягких и скальных породах с погрузкой породы в автомобильный или железнодорожный транспорт.

На рис. 5.6 показана проходка траншеи сплошным забоем с нижней погрузкой породы в железнодорожные вагоны. После обуривания станками *1* нескольких рядов (2 — 10) скважин *6* и их взрывания горная масса экскаватором *2* грузится в вагон *3*. Так как забой тупиковый, то экскаватором можно загрузить только один вагон, после чего состав отходит от забоя за стрелку *4* (рис. 5.6, а) и электровоз подает вагоны в тупик *5*, где груженый вагон отцепляют и состав вновь подают к экскаватору.

После загрузки очередного вагона процесс повторяется. Полностью загруженный состав уходит из траншеи, и к экскаватору подходит порожний состав. Одновременно происходит обуривание следующего участка траншеи. Выносной тупик *5* по мере проходки траншеи переносят ближе к забою.

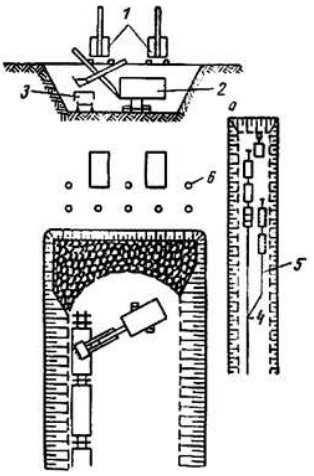


Рис. 5.6. Проходка траншеи сплошным забоем с нижней погрузкой породы в железнодорожные вагоны

В последнее время взрывание пород осуществляют на участках траншей значительной длины (сотни метров). Уменьшение числа взрывов при этом способствует увеличению производительности экскаваторов и буровых станков.

Достоинства данного способа: использование при проходке траншеи экскаваторов с нормальным рабочим оборудованием и широкая область их применения. Однако низкий коэффициент использования экскаватора (0,3 — 0,4), вызываемый сложными маневрами транспорта, не позволяет обеспечить высокую скорость проходки траншей. Применение автотранспорта при этом способе на 20 — 30 % снижает простои экскаватора и позволяет довести скорости проходки до 150 — 180 м/месяц. Разворот автосамосвала при достаточной ширине траншеи происходит вблизи забоя; в бортах узких траншей для разворота через каждые 50 — 60 м устраивают ниши.

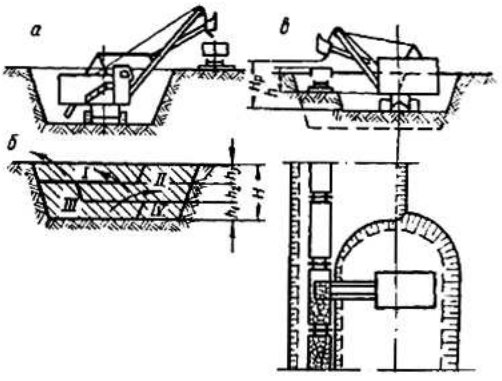


Рис. 5.7. Проходка траншеи сплошным забоем с верхней погрузкой породы

Коэффициент использования экскаватора и скорость проходки можно повысить, если ввести проходку траншей сплошным забоем с верхней погрузкой породы вскрышным экскаватором (рис. 5.7, а). Рельсовый путь укладывают на одном из бортов траншеи, и при загрузке состава вагоны не расцепляют. Этот способ

дает хорошие показатели в породах не выше средней крепости (скорость проходки до 150—250 м/месяц). В скальных породах высокой крепости производительность вскрышных экскаваторов снижается.

Послойный способ проходки (рис. 5.7, б) сочетает достоинства обоих транспортных способов — верхнюю погрузку с использованием прямых механических лопат с нормальным рабочим оборудованием. При этом способе сечение траншеи делят на ряд заходок (I—IV), которые проходят последовательно. На рис. 5.7 в показан момент проходки второй заходки. Экскаватор расположен на почве второй заходки, транспортные средства — на почве первой заходки.

В процессе проходки каждого последующего слоя траншеи транспортный путь располагают на почве предыдущей заходки. Высота слоя зависит от максимальной высоты разгрузки экскаватора $H_р$ и высоты транспортных средств h. Для экскаватора ЭКГ-4,6 при использовании стандартных думпкаров максимальная высота слоя составляет 3—3,3 м.

Послойный способ обеспечивает высокую скорость проходки траншей, особенно в мягких породах (до 150—200 м/месяц). Большой объем путевых работ и сложность проведения буровзрывных работ ограничивают область применения этого способа. Проходка разрезной траншеи послойным способом по условиям транспорта возможна только одновременно с проходкой въездной траншеи.

Траншеи можно проходить многоковшовыми экскаваторами, колесными скреперами, гидромеханизацией и методом взрыва на выброс, однако в связи с ограниченной областью применения этих способов они в данном курсе не рассматриваются.

Способы вскрытия. По расположению траншей различают следующие способы вскрытия: внешними (когда траншеи располагают за предельным контуром карьера) и внутренними траншеями (когда траншеи размещены внутри контуров карьера).

Вскрытие *внешними* траншеями применяют для отработки пологих, залегающих неглубоко месторождений, иногда для верхних горизонтов крутопадающих месторождений.

При вскрытии *отдельными внешними* траншеями каждый горизонт месторождения вскрывается обособленной траншеей. Способ обеспечивает независимость транспортирования породы с каждого горизонта, но отличается высоким объемом проходческих работ, т. к. с увеличением глубины вскрываемого горизонта объем траншей резко возрастает. По этой причине отдельными траншеями вскрывают не более двух-трех уступов. В некоторых условиях (например, на косогоре) число вскрываемых горизонтов может быть увеличено, т. к. в этом случае объем выработок (полутраншей) уменьшается.

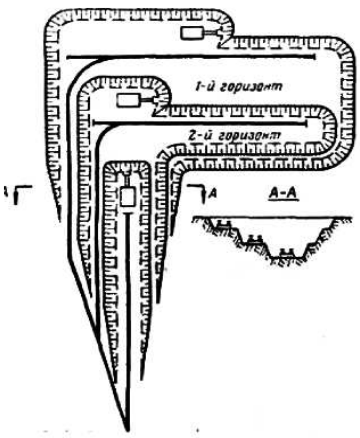


Рис. 5.8. Вскрытие общими внешними траншеями

Для уменьшения объема работ по вскрытию применяют вскрытие общими (или групповыми) внешними траншеями (рис. 5.8). Каждая траншея, вскрывающая нижележащий горизонт, проходится внутри траншеи верхнего горизонта. Число уступов, вскрываемых общими траншеями, достигает 5—6. При групповом вскрытии одна группа траншей вскрывает породные горизонты, другая — добычные.

Вскрытие внутренними траншеями позволяет значительно сократить объем породных работ вследствие расположения траншей внутри контуров ка-

рьера. Внутренние траншеи аналогично внешнему вскрытию могут быть отдельными, групповыми и общими. Общие траншеи имеют широкое распространение при разработке глубоких карьеров (глубиной до 400 — 500 м), при любой форме и любом угле падения месторождений.

Из общих траншей наибольшее распространение получило вскрытие тупиковыми и спиральными съездами.

При тупиковых съездах (рис. 5.9) вскрывающие траншеи располагают на нерабочем борту карьера во взаимно обратных направлениях. Каждый съезд *1* на рабочем горизонте заканчивается тупиковой площадкой *2*, на которой состав при спуске или подъеме меняет направление своего движения. На схеме карьера показано пять горизонтов: два верхних отработаны, третий (породный) и четвертый (рудный) находятся в стадии отработки, на пятый горизонт проходится въезд-ная траншея. При последующей разработке пятого горизонта правый борт траншей отработают, и съезд на этот горизонт будет иметь такой же вид, как съезды на предыдущие горизонты. На каждом съезде укладывают один или два рельсовых пути.

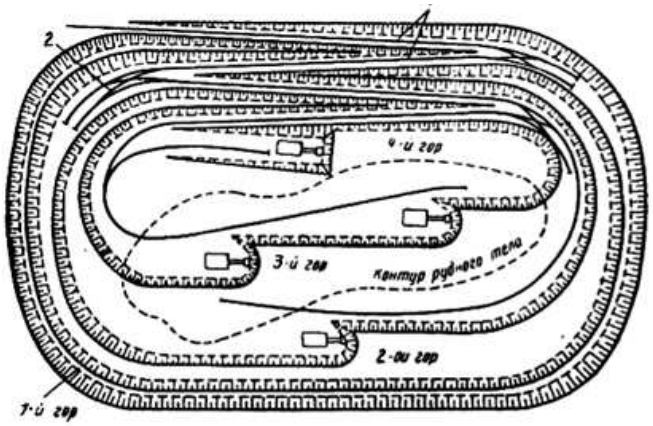


Рис. 5.9. Вскрытие тупиковыми съездами

Пропускная способность двухпутевых съездов в 2 — 2,5 раза выше, чем однопутевых.

Достоинства вскрытия тупиковыми съездами: возможность размещения съездов на одном борту; широкая область применения. Недостаток — низкая средняя скорость движения поездов вследствие больших затрат времени на маневры подвижного состава на тупиковых площадках.

При вскрытии спиральными съездами последние располагают в виде спирали по рабочему и нерабочему бортам карьера (рис. 5.10).

В конце каждого съезда (*1*, *2*, *3* и *4*) имеется горизонтальная площадка *П*, на которой устраивают разминовки. На этих же площадках находятся пункты примыкания $П_р$ железнодорожных путей четырех рабочих горизонтов к постоянным путям. Вскрытие спиральными съездами позволяет упростить маневры транспорта и тем самым увеличить его производительность. Однако потребность больших радиусов закруглений железнодорожных путей (150 — 200 м) ограничивает область применения этого способа вскрытия.

При использовании автомобильного транспорта, допускающего крутые уклоны и малые радиусы закруглений (25 — 30 м), возможно вскрытие месторождений незначительной мощности спиральными съездами.

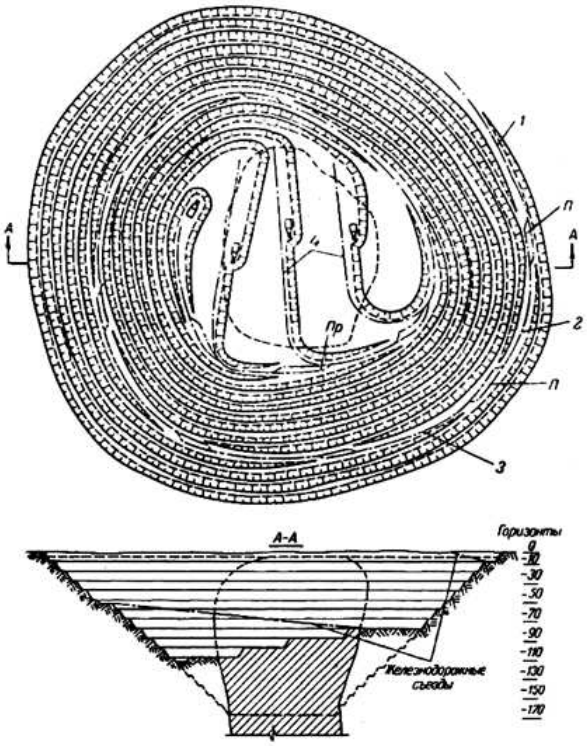


Рис. 5.10. Вскрытие спиральными съездами

Вследствие более жестких условий применения и более сложной организации добычных работ вскрытие спиральными съездами применяют реже, чем тупиковыми.

С увеличением глубины карьеров возрастает длина транспортирования горной массы с нижних горизонтов, достигая в глубоких карьерах 8 — 10 км. Суммарную длину транспортирования можно сократить применением вскрытия крутыми траншеями.

5.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Объектами горных разработок являются различные горные породы: коренные (магматические, метаморфические, осадочные), залегающие в толще земной коры на месте своего образования, и покрывающие их наносы — измельченные породы, переотложенные и перенесенные.

Свойства горных пород определяют выбор оборудования для их разработки и переработки. Для краткой технологической характеристики можно выделить следующие группы горных пород: рыхлые и мягкие, плотные, полускальные и скальные в массиве, полускальные и скальные разрушенные.

Рыхлые и мягкие породы легко без предварительного разрыхления отделяются от целика всеми видами горных машин. Сцепление между частицами пород не более 0,03 — 0,05 МПа.

Плотные породы (твердые глины, мел, бурые и каменные угли) отделяются горными машинами без предварительного рыхления. Эти породы сохраняют в массиве угол откоса до 60 — 70° при высоте уступа 10 — 20 м.

Полускальные породы при разработке требуют предварительного разрыхления взрывным способом. К ним относятся выветренные изверженные и метаморфические породы, а также осадочные породы (глини-стые сланцы и песчаники, гематитовые руды, мергели, аргиллиты, алевролиты, каменные и прочие бурые угли).

Скальные породы отделяются от массива только рыхлением взрывом. К ним относятся изверженные и метаморфические породы (граниты, кварциты, базальты, габбро, сиениты, колчеданы), а также некоторые осадочные породы (песчаники, прочные известняки, кремнистые конгломераты и др.).

Разрушенные горные породы различаются по степени связности, кусковатости и прочности в куске. Коэффициент разрыхления сыпучих разрушенных пород составляет 1,4 – 1,65 и более; связносыпучих разрушенных — 1,2 – 1,3; связноразрушенных — 1,03 – 1,05.

Кусковатость пород определяется по среднему линейному размеру куска $d_{ср}$ и имеет пять категорий. Первая категория (очень мелкоразрушенные породы) характеризуется $d_{ср}$ менее 10 см; вторая — $d_{ср}$ от 10 до 30 см; третья — $d_{ср}$ от 30 до 50 см; четвертая — $d_{ср}$ от 50 до 70 см и пятая (весьма крупноразрушенные) — $d_{ср}$ от 70 до 90 см.

5.5.1. Буровзрывные работы (подготовка горных пород к выемке)

Подготовка горных пород к выемке заключается в разрушении массива различными способами на куски, удобные для последующей выемки, погрузки и транспортирования. Рыхлые и мягкие породы могут разрабатываться непосредственно из массива экскаваторами или другими выемочными машинами. Подготовка полускальных пород ведется обычно навесными рыхлителями на тракторах тяжелого типа. Подготовка к выемке скальных пород осуществляется посредством буровзрывных работ, при этом кусковатость взорванных пород должна быть оптимальной. Размеры максимально допустимого куска во взорванной горной массе определяются параметрами транспортных средств, дробилок и других приемных устройств, а также условиями работы оборудования.

Максимально допустимый линейный размер куска породы, м, равен:

- для одноковшовых экскаваторов (погрузчиков) $l_{max} < 0{,}8\ (q)^{1/3}$;
- для транспортных средств $l_{max} < 0{,}5\ (Q)^{1/3}$;
- для конвейерного транспорта $l_{max} \le 0{,}5\ B_Л - 0{,}1$;
- для дробилок $l_{max} \le 0{,}75\ B_Д$;

где q — вместимость ковша экскаватора (погрузчика), м^3; Q — вместимость кузова автосамосвала или думпка-ра, м^3; $B_Л$ — ширина конвейерной ленты, м; $B_Д$ — ширина приемного отверстия дробилки, м.

Куски, имеющие размеры больше допустимых, называют негабаритными; их подвергают дополнительному дроблению. Применяют различные методы взрывного разрушения пород (рис. 5.11). На большинстве карьеров и в разнообразных условиях применяют скважинные заряды. К основным параметрам взрывных скважин относятся глубина, диаметр и угол наклона (рис. 5.12). Глубина скважины L определяется высотой взрываемого уступа H, углом наклона скважины к горизонту a и величиной перебура скважины $l_{пер}$ ниже отметки подошвы уступа. Перебур необходим для качественного разрушения пород в подошве уступа.

Забойка скважины должна быть плотной, а ее длина $\ell_{заб}$ — достаточной для предотвращения утечек продуктов взрыва, выброса породы и образования сильной ударной воздушной волны. Для забойки используют песок и буровую мелочь с размерами частиц до 50 мм.

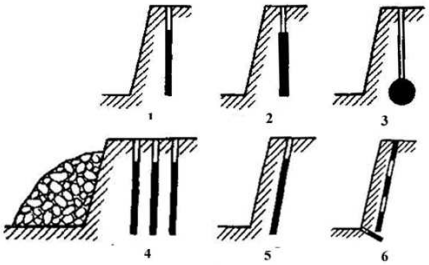


Рис. 5.11. Основные методы взрывного разрушения горных пород на открытых горных работах:

1 — вертикальными скважинами;
2 — с расширением скважин;
3 — котловыми зарядами;
4 — многорядным взрыванием;
5 — наклонными скважинами;
6 — рассредоточенными зарядами

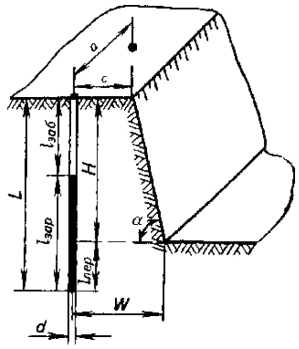


Рис. 5.12. Параметры взрывных скважин

Различают горизонтальные, наклонные и вертикальные скважины. В основном в настоящее время применяют вертикальные скважины. Заряд ВВ в скважине может быть сплошным или рассредоточенным, а расположение скважин в пределах взрываемого блока — однорядным и многорядным.

Параметрами взрываемых зарядов при их однорядном расположении являются: расстояние между скважинами в ряду a, а при многорядном — расстояние между скважинами a, расстояние между рядами b и число рядов n.

Горизонтальное расстояние от оси скважин до нижней бровки уступа W называется линией сопротивления по подошве уступа.

Буровзрывные работы — это комплекс бурения и взрывания скважинных зарядов. Бурение скважин на уступе осуществляется в один, два или три ряда при помощи станков вращательного или ударно-вращательного действия, которые подразделяются на шнековые и шарошечные. Станки шнекового бурения типа СБШ-СБР-125 и СБР-160 (рис. 5.13, см. вкл.) применяют для бурения наклонных и вертикальных скважин диаметром 125 – 160 мм и глубиной до 25 м. Станки шарошечного бурения используются на крепких скальных породах и имеют в качестве рабочего органа вращающиеся долота — шарошки с зубьями из твердого сплава. Станки подразделяются на легкие, средние и тяжелые. К легким (до 40 т) относятся станки СБШ – 200 ($d_{скв} = 150 – 200$ мм); к средним (до 60 т) — 2СБШ-200Н, СБШ-250МН, СБШ-25ОК ($d_{скв} = 220 – 270$ мм); к тяжелым (до 120 т) — СБШ-320 и СБШ-400 для бурения скважин диаметром до 400 мм. Станки имеют гусеничный ход. Бурение скважин осуществляется вертикально или наклонно глубиной до 60 м.

Для ведения взрывных работ в качестве взрывчатого вещества применяют в основном гранулированные ВВ (гранулиты, игданиты), реже — порошкообразные ВВ (аммониты, аммоналы). Взрывают заряды главным образом при помощи детонирующего шнура или электрическим способом.

К вспомогательным процессам при взрывном разрушении относятся погрузочно-разгрузочные работы, транспортирование ВВ к месту заряжания, заряжание и забойка скважин. Доставка ВВ в карьер и заряжание скважин осуществляются с помощью зарядных машин МЗ-3, МЗ-4 и др. Сменная производительность машин по зарядке составляет 15 – 20 т. Забойка скважин производится с помощью забоечных машин-бункеров ЗС-2 и ЗС-1Б, транспортирующих и засыпающих в скважину забоечный материал. Производительность их — до 150 скважин в смену.

5.5.2. Выемочно-погрузочные работы

Выемка и погрузка горных пород — отделение от массива мягкой или предварительно разрыхленной крепкой породы с последующей погрузкой в средства транспорта или непосредственно в отвал. В качестве основных средств механизации используются экскаваторы, в этом случае выемка и погрузка сливаются в один процесс — выемочно-погрузочные работы.

Экскаватор — самоходная машина цикличного или непрерывного действия. Они могут быть одноковшовые и многоковшовые. Экскаваторы цикличного действия (одноковшовые) последовательно выполняют операции копания и перемещения горной массы в ковше, поворачиваясь вокруг своей оси. Многоковшовые экскаваторы непрерывного действия (цепные, роторные) производят выемку и погрузку горной массы в результате перемещения ковшей по круговой траектории.

Важнейшие типы одноковшовых экскаваторов — прямая и обратная механическая лопата и драглайн (рис. 5.14, см. вкл.).

У механической лопаты ковш жестко скрепляется с рукоятью. У драглайна ковш подвешивается к стреле на стальном канате. Из экскаваторов с жесткой связью наиболее широко применяются экскаваторы карьерные гусеничные: ЭКГ-4,6Б (5А), ЭКГ-8и, ЭКГ-12,5, ЭКГ-20, а также гидравлические (прямая и обратная лопаты): ЭГ-8, ЭГ-12 и ЭГ-20. Особенность гидравлических экскаваторов — использование гидропривода рабочего оборудования, поворотной платформы и механизма хода. Гидропривод обеспечивает одновременную подвижность стрелы, рукояти и ковша, большее усилие копания.

Экскаваторы вскрышные гусеничные (ЭВГ) типа ЭВГ-35/65, ЭВГ-15/40, ЭВГ-100/100 имеют стрелу и рукоять увеличенной длины и предназначены в основном для непосредственного перемещения породы в отвал. Передвижение всех экскаваторов осуществляется за счет гусеничного хода.

Из экскаваторов с канатной связью широкое применение имеют драглайны. Драглайны — шагающие экскаваторы типа ЭШ-10/60, ЭШ-15/90, ЭШ-100/100 — используются на карьерах для перевалки пород вскрыши в выработанное пространство, из забоев, расположенных как ниже, так и выше горизонта установки экскаватора. Выпускаются шагающие драглайны с ковшом вместимостью от 4 до 120 м^3 и длиной стрелы до 125 м.

Важнейшими типами многоковшовых экскаваторов являются цепные и роторные (рис. 5.15 и 5.16, см. вкл.).

Роторные экскаваторы типа ЭР имеют рабочий орган в виде роторного колеса диаметром от 2,5 до 18 м с ковшами, установленными на конце стрелы. Число ковшей на роторе изменяется от 6 до 12, а емкость ковшей от 300 — 800 до 4000 — 8000 л. Экскаваторы бывают небольшой (до 630 м^3/ч), средней (630 — 2500 м^3/ч), большой производительности (2500 — 5000 м^3/ч), сверхмощные — производительностью свыше 5000 м^3/ч (рис. 5.16, см. вкл.).

Марка модели имеет следующие обозначения: 1600 — емкость ковша, л; 40 — высота черпания, м; 10 — глубина черпания, м; 31 — ход выдвижения стрелы, м. Диаметр роторного колеса 11,5 м, на нем располагается 10 ковшей.

Главным для многоковшовых и роторных экскаваторов является то, что их работа основана на поточности всего комплекса производственных процессов выемки, транспортирования, разгрузки и отвалообразования. Применение этих машин возможно только на рыхлых или сыпучих породах и лишь в теплое время года.

На карьерах с годовым объемом работ до 3 млн т и расстоянием транспортирования 0,3 — 0,5 км в качестве основного выемочно-погрузочного оборудования ис-

пользуются колесные скреперы и одноковшовые погрузчики. Тягачом скрепера могут быть трактор К-700, автомобили типа МАЗ или БелАЗ. Вместимость ковша скрепера составляет 6 — 15 м^3, а у мощных — от 15 до 40 м^3. Производительность скреперов с ковшом вместимостью 15 м^3 составляет от 250 до 400 м^3/ч (рис. 5.17, см. вкл.).

Одноковшовый погрузчик представляет собой колесное самоходное шасси с опускающейся стрелой, на конце которой шарнирно закреплен ковш (рис. 5.18, см. вкл.).

5.5.3. Транспортные работы

Карьерный транспорт — это комплекс средств перемещения горной массы (вскрыши и полезного ископаемого) от забоев до пунктов разгрузки. Он является связующим звеном в общем технологическом процессе и одним из наиболее трудоемких и дорогих. Затраты на транспортирование и связанные с ним вспомогательные работы составляют 45 — 50 %, а в отдельных случаях 65 — 70 % общих затрат на добычу полезного ископаемого.

Железнодорожный транспорт рекомендуется применять на карьерах с большим годовым грузооборотом (25 млн т и более) при длине транспортирования 4 км и более. Для железнодорожного транспорта необходимы большая протяженность фронта работ на уступах (не менее 300 — 500 м), кривые большого радиуса (не менее 100 — 120 м), небольшие подъемы и уклоны путей (до 20 — 30 ‰). При использовании новейших тяговых агрегатов и уклонах путей до 60 ‰ глубина применения железнодорожного транспорта увеличивается до 300 — 350 м.

Средствами железнодорожного транспорта являются рельсовые пути и подвижной состав. *Рельсовые пути* на карьерах бывают стационарными и временными, периодически перемещаемыми вслед за подвиганием фронта работ на уступах. Ширина колеи равна 1524 мм.

Технологический подвижной состав состоит из локомотивов и вагонов. В качестве локомотивов применяются электровозы, тепловозы, тяговые агрегаты. Контактные электровозы Д-94, Д-100М, ЕЛ-1, 13Е-1 работают на постоянном токе напряжением 1500 — 3000 В (рис. 5.19, см. вкл.). Тепловозы исключают наличие контактной сети, обладают высоким КПД, равным 24 — 26 %. Тяговые агрегаты ОПЭ-1, ОПЭ-2 — это сочетание электровоза управления, секции автономного питания (дизельной секции) и нескольких моторных думпкаров. Для перевозки горной массы применяются думпкары ВС-60, ВС-105, ВС-180 — саморазгружающиеся вагоны с двухсторонней разгрузкой грузоподъемностью 60 — 105 и 180 т (рис. 5.20, см. вкл.).

Автомобильный транспорт применяется на карьерах малой и средней производственной мощности с грузооборотом до 15 млн т в год. В последние годы область применения значительно расширена (до 70 млн т в год и более). Достоинства: гибкость, маневренность, независимость работы автосамосвалов, радиусы поворота 15 — 25 м, подъем и уклоны до 80 — 120 ‰. Недостатки: более высокие затраты на транспортирование 1 т горной массы по сравнению с железнодорожным транспортом, зависимость от погодных условий.

Подвижной состав карьерного автотранспорта представлен автосамосвалами и полуприцепами. Наибольшее применение при транспортировании вскрыши получили автосамосвалы типа БелАЗ грузоподъемностью 40, 75, 110 и 180 т (рис. 5.21, см. вкл.). Для транспортирования угля применяются углевозы — самосвалы типа БелАЗ грузоподъемностью 40 и 105 т и полуприцепы-углевозы БелАЗ грузоподъемностью 120 т с донной разгрузкой.

Конвейерный транспорт получил широкое распространение в карьерах для доставки мягких и разрыхленных руд, угля и пород. На открытых работах применяют ленточные конвейеры с лентой шириной 900 — 2200 мм.

Достоинства конвейерной доставки: возможность преодоления больших подъемов (18 — 20°) и вследствие этого сокращение объема горнокапитальных работ; непрерывность транспортирования горной массы, позволяющая повышать коэффициент использования экскаваторов до 0,85; возможность полной автоматизации и небольшой штат обслуживающего персонала.

Крупность подаваемых на конвейер кусков руды не должна превышать 300 — 350 мм, поэтому иногда в карьерах устанавливают дробилки. При низких температурах (минус 40 — 45 °С) применяют специальные морозоустойчивые ленты. Высокопрочные ленты изготовляют с прокладками из синтетических тканей типа капрона и нейлона, а также из анидного волокна. Синтетические ткани кроме повышенной прочности обладают высокой эластичностью и влагоустойчивостью, вследствие чего при низкой температуре они не теряют гибкости. Очень высокую прочность имеют резинотросовые ленты, у которых каркас делается из стальных тросов, сплетенных из тонких проволок и укладываемых в один слой.

Производительность конвейеров колеблется от 300 до 15 000 т/ч.

В практике достаточно широко применяются самые различные сочетания рассмотренных выше базовых транспортных систем — комбинированный транспорт, в том числе с применением скиповых установок и др.

5.5.4. Отвальные работы

Неизбежным следствием ведения вскрышных, добычных и подготовительных работ является необходимость выдачи на земную поверхность определенного объема пустых пород.

При подземной разработке месторождений на каждую 1000 т добытого полезного ископаемого приходится от 10 до 50 т пустых пород, размещаемых на земной поверхности в виде породных отвалов.

При открытой же разработке, например, рудных месторождений объем извлекаемых и размещаемых в отвалах пустых пород в несколько раз превышает объем добываемого полезного ископаемого и несоизмеримо больше, чем при подземной разработке. На крупных карьерах объем отвальных работ достигает иногда десятков миллионов кубометров в год.

Отвалообразование — комплекс производственных операций по приему и размещению вскрышных пород на специальном участке горного отвода.

Технические сооружения и средства механизации отвальных работ составляют отвальное хозяйство карьера.

От организации отвальных работ зависит производительность вскрышного и транспортного оборудования, а следовательно, всего комплекса вскрышных и добычных работ. Удельный вес отвальных работ в сумме расходов на 1 $м^3$ вскрыши составляет в среднем около 20 %, а в мягких породах достигает 30 %. Поэтому все основные технико-экономические показатели работы карьера очень зависят от правильности выбора способа отвалообразования.

Относительно контура карьера, как отмечено выше, различают два типа отвалов по размещению: внешние и внутренние. Внутренними называют отвалы, расположенные в выработанном пространстве; внешними — вне контуров карьера (рис. 5.22).

Внутренние отвалы образуют преимущественно при бестранспортных и транспортно-отвальных си-стемах разработки и при определенных горно-

геологических условиях (горизонтальные или слабонаклонные месторождения до 15°). Стоимость вскрышных работ при внутреннем отвалообразовании значительно ниже, организация и производство их просты. Однако из-за ограниченных условий применения внутренних отвалов в практике они используются достаточно редко.

Внешние отвалы обычно образуют, используя рельеф местности, склоны гор, балки, овраги, старые выработки, располагая по возможности ближе к карьеру и так, чтобы транспортирование породы из него на отвал происходило под уклон.

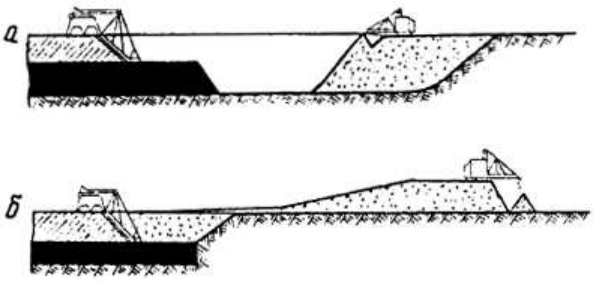


Рис. 5.22. Расположение внутренних (а) и внешних (б) отвалов

Обычно крупные карьеры создают или многоярусный отвал с несколькими тупиками, или несколько отвалов.

Существует несколько основных способов отвалообразования, различающихся применяемым горным оборудованием (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Основные способы отвалообразования

Способы отвалообразования	Система разработки	Залегание месторождения	Породы	Максимальная мощность пласта, м	Суточный объем вскрышных работ, тыс. м^3
1	2	3	4	5	6
Одноковшовыми экскаваторами (внутренние отвалы)	Бестранспортная	Горизонтальное и пологое	Любые при хорошем разрыхлении (предпочтительнее не выше средней крепости)	До 60	Любой
Транспортно-отвальными мостами (внутренние отвалы)	Транспортно-отвальная	Горизонтальное	Мягкие	20 — 25	40 и более
Передвижными отвалообразователями (внутренние и внешние отвалы)	То же	То же	Любые при хорошем разрыхлении	15 — 20	До 10 — 15 при одноковшовых и средней мощности многоковшовых экскаваторах, 40 и более при мощных роторных экскаваторах
Гидроспособом (как правило, внешние отвалы)	Специальная (гидромеханизация)	Любое	Мягкие	Любая	Небольшой
Плугами (внутренние и внешние отвалы)	Транспортная	То же	Предпочтительнее выше средней крепости	То же	То же

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5	6
Автосамосвалами (внешние и внутренние отвалы)	То же	То же	Любые разрыхленные	То же	Любой
Экскаваторами (внешние и внутренние отвалы)	То же	То же	Любые	То же	То же
Бульдозерами (внеш-ние и внутренние отвалы)	То же	То же	То же	То же	То же
Абзетцерами (внешние и внутренние отвалы)	То же	Горизонтальное или пологое	Мягкие	То же	20 и более

Способы отвалообразования выбираются в зависимости от условий залегания полезного ископаемого, рельефа поверхности, характеристики пород, климатических и гидрогеологических особенностей района. Все многообразие возможных условий формирования и конструкций отвалов систематизировано в классификации акад. Н.В. Мельникова (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Классификация отвалов по Н.В. Мельникову

Классификационный признак	Тип отвала
Расположение относительно карьера	Внешний (за контуром карьера) и внутренний (в отработанной части карьера)
Число рабочих горизонтов отвала	Одно- и многоярусный
Способ механизации отвальных работ	Плужный, экскаваторный, бульдозерный, конвейерный, автомобильный (разгрузка на откос)
Число обслуживаемых горизонтов в карьере	Общий, групповой, отдельный
Рельеф местности, используемой под отвал	Равнинный, нагорный и нагорно-долинный
Деформационное состояние отвала	Устойчивые, подвижные и неустойчивые
Способ транспортирования вскрышной породы на отвал	Железнодорожный, автомобильный, конвейерный

Способы отвалообразования и средства механизации отвальных работ должны обеспечивать бесперебойное складирование породы.

Породные отвалы должны иметь достаточную вместимость, находиться на минимальном расстоянии от мест погрузки породы, располагаться на безрудных (безугольных) площадях, не препятствовать развитию горных работ в карьере и формироваться с учетом требований техники безопасности, экологии и рекультивации.

В комплекс отвальных работ входят разгрузка пород, планировка отвального уступа и формирование предохранительного вала или размещение породы в отвале экскаватором, отвалообразователем, абзетцером, автосамосвалом и передвижка транспортных коммуникаций в новое положение.

Высота породных отвалов — один из наиболее значимых параметров, который характеризует их состояние и устойчивость. Высота равнинных отвалов на практике, как правило, меньше, чем нагорных (табл. 5.3). Фактически высота отвалов может приближаться к предельной высоте устойчивой насыпи из данных пород, отличаясь от нее (с учетом коэффициента запаса устойчивости) на 20 — 30 % в меньшую сторону, что гарантирует устойчивое состояние отвала.

Таблица 5.3

Высота отвалов в зависимости от характера пород и способа отвалообразования

Средства механизации отвальных работ	Породы	Высота отвала, яруса, м	
		равнинного	нагорного
Одноковшовые экскаваторы:			
мехлопаты	Песчаные	25 – 30	–
	Глинистые	15 – 20	–
	Скальные	30 – 45	100 – 150
драглайны	Мягкие	20 – 30	–
	Крепкие	30 – 45	–
Многочерпаковые экскаваторы (абзетцеры)	Песчаные	40 – 70	–
	Супесчаные	30 – 45	–
Консольные ленточные отвалообразователи	Скальные	25 – 50	25 – 100
Бульдозеры	Мягкие, рыхлые	До 60	–
	Мягкие	10 – 15	–
	Смешанные	15 – 20	45 – 100
	Крепкие	20 – 30	100 – 150
Отвальные плуги	Песчаные	20 – 25	–
	Супесчаные	12 – 15	–
	Глинистые	7 – 10	–
	Скальные	20 – 25	–

По основному виду горного оборудования, применяемому при отвалообразовании, различают экскаваторные, плужные и бульдозерные отвалы. Так как в процессе развития отвалов фронт отвалообразования перемещается по различным схемам, то отвалы различают и по способу их образования: параллельное (рис. 5.23, а), веерное (рис. 5.23, б), криволинейное (рис. 5.23, в), при полном развитии превращающееся в кольцевое.

В первом случае отвалообразование происходит параллельными полосами, располагаемыми вдоль оси отвальных путей при тупиковом их расположении. При веерообразных отвалах ширина полос увеличивается к их концу; движение путей при этом происходит вокруг неподвижной точки, расположение отвальных путей также тупиковое. При веерной схеме передвижка путей упрощена. Кольцевые отвалы наращиваются концентрически, причем груженые и порожние составы не имеют встречных направлений движения.

Фронт отвалообразования при параллельной и веерной схемах развития постепенно (если не противодействовать этому специальными мерами) укорачивается. При криволинейном развитии отвала этого можно избежать.

Экскаваторные отвалы (рис. 5.24, 5.25) получили распространение в послевоенный период. Применяются они только при железнодорожном транспорте. При экскаваторном отвалообразовании обычно применяют криволинейную схему. Работы на отвале ведут следующим образом. Порода из думпкаров разгружается на промежуточную площадку отвала, находящуюся на под-уступе ниже уровня железнодорожных путей. Расположенный на площадке экска-

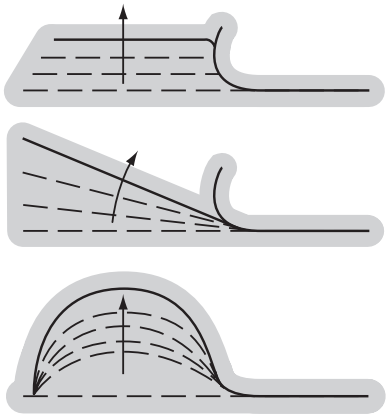


Рис. 5.23. Способы развития отвалов

ватор, постепенно отступая вдоль линии железнодорожных путей, перелопачивает породу в нижний и верхний подуступы. После того как экскаваторная заходка достигнет конца отвала, рельсовый путь переносят в новое положение, и экскаватор начинает отсыпать новую заходку.

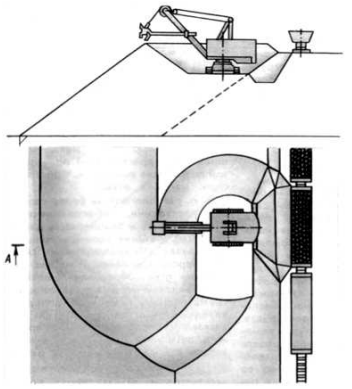


Рис. 5.24. Схема экскаваторного отвалообразования при использовании железнодорожного транспорта

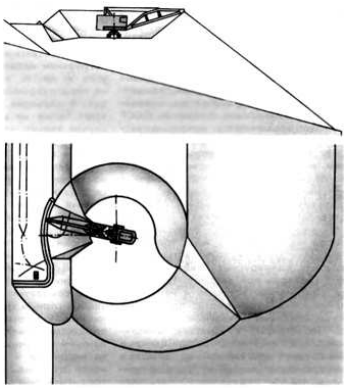


Рис. 5.25. Схема отвалообразования драглайном на косогорах при использовании автомобильного транспорта

Плужные отвалы, так же как экскаваторные, применяются при железнодорожном транспорте. Плужное отвалообразование производится, как правило, по веерной (или криволинейной схеме). Груженные породой составы прибывают на отвал по расположенному вдоль его верхней бровки рельсовому пути. Думпкары разгружают прямо над откосом отвального уступа. Через некоторое время площадка между рельсовым путем и бровкой отвала становится настолько широкой, что порода начинает задерживаться на ней, засыпая пути, мешая разгрузке думпкаров. Для продолжения отвалообразования необходимо свалить «шапку» под откос и передвинуть пути к его верхней бровке. Для этого применяют отвальный плуг.

Бульдозерные отвалы (рис. 5.26 и 5.27) применяют при автомобильном транспорте. Планировка отвала бульдозерами ведется в направлении, перпендикулярном к бровке отвала. Обычно отвал разделяют на отдельные участки: разгрузочный, планируемый и резервный. Общая длина фронта отвальных работ в зависимости от числа одновременно работающих автосамосвалов колеблется от 100 до 500 м. Производительность бульдозеров на отвале достигает 300 м^3 за смену. Бульдозеры также используются на строительстве и ремонте не только отвальных, но и карьерных дорог.

К числу достоинств бульдозерного отвалообразования относятся возможность создавать высокие уступы (при устойчивых породах в среднем 20 — 40 м), что значительно увеличивает приемную способность отвала, простоту строительства отвала и работы на нем, небольшие капитальные и эксплуатационные расходы; маневренность оборудования.

Гидромеханизация отвальных работ возможна при рыхлых вскрышных породах, при достаточных запасах воды в районе, намеченном для отвалообразования.

Внешнее отвалообразование применяется при разработке наклонных и крутонаклонных месторождений. Для складирования пород при транспортировании их на внешние отвалы используются механические лопаты, драглайны, отвальные плуги, абзетцеры и бульдозеры. При транспортировании пород железнодорожным транспортом наиболее распространено отвалообразование экскаваторами ЭКГ-8и и ЭКГ-12,5.

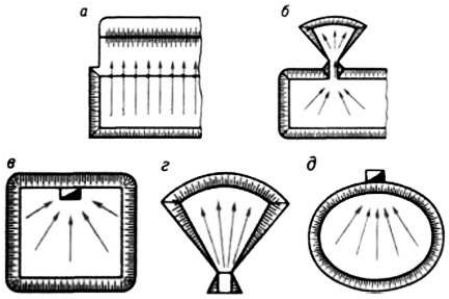


Рис. 5.26. Направления заездов бульдозеров (показаны стрелками);

а — при вскрышных работах с выполаживанием борта; б — с созданием отдельных выездов; в — при разработке-промывке песков в разрезе; г — укладке плоского отвала песков подземной добычи; д — разработке-промывке песков из отвала

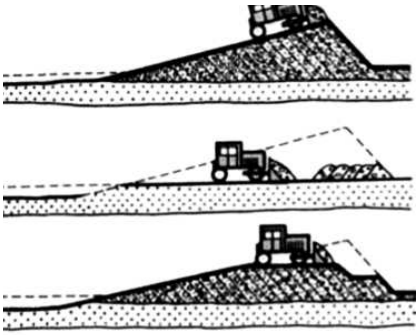


Рис. 5.27. Бульдозерная укладка торфов в отвал наклонными (а) и параллельными горизонтальными слоями в несколько стадий (б, в)

Для перемещения породы во внутренние отвалы применяют мощные драглайны с вместимостью ковша 25 – 80 м^3 и длиной стрелы до 100 м (ЭШ-25/100, ЭШ-80/100); механические лопаты с вместимостью ковша 35 м^3 и длиной стрелы до 65 м (ЭВГ-35/65, ЭВГ-100/70).

Отвалообразование при конвейерном транспорте осуществляется консольными ленточными отвалообразователями, которые ведут прием, транспортирование и укладку породы в отвал (рис. 5.28, см. вкл.).

5.5.5. Восстановление и использование нарушенных открытыми горными работами территорий

Под *рекультивацией* понимается восстановление нарушенных земель с целью их использования в других отраслях народного хозяйства.

В результате рекультивации могут сформироваться земли, пригодные для сельского и лесного хозяйства, организации отдыха, устройства водоемов, жилищного и промышленного строительства. Однако необходимо ориентироваться на создание наиболее ценных и продуктивных угодий.

В зависимости от целевого назначения различают следующие виды рекультивации:

– сельскохозяйственная — создание земель, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, разведения садов, пастбищ и сенокосных угодий;

– лесохозяйственная — создание лесонасаждений целевого назначения (почвозащитные, водоохранные, климатические, лесопарковые и парковые), а также лесов деловой древесины;

– природоохранная — создание зон отдыха, озеленение отвалов, загрязняющих окружающую среду, и др.;

– водохозяйственная — создание водоемов различного назначения (водохранилища для разведения рыбы, дичи и др.);

– строительная — подготовка земель для жилищного и промышленного строительства, а также спортивных сооружений.

Полное восстановление земель осуществляется, как правило, в процессе горнотехнической и биологической рекультивации.

Горнотехническая рекультивация — это цикл горных работ по подготовке нарушенных земель к использованию в хозяйстве. Сюда входят: планировка отвалов, выполаживание откосов, укладка плодородных пород для создания растительного слоя, мелиоративные работы, строительство дорог.

Биологическая рекультивация проводится после окончания горнотехнической. Это восстановление плодородия и биологической нарушенности земель, создание сельскохозяйственных и лесных угодий, разведение рыбы в водоемах, дичи в лесах, создание ландшафтов, благоприятных для жизни человека.

Для механизации всех работ по рекультивации используются скреперы, бульдозеры, экскаваторы и автосамосвалы, а также основное оборудование для вскрышных работ.

5.6. СИСТЕМЫ ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Системой открытой разработки называется определенный порядок выполнения во времени и пространстве подготовительных, вскрышных и добычных работ на уступах рабочих горизонтов. Существующие классификации систем разработки можно разделить на две группы:

— по способу производства вскрышных работ и по способу перемещения пород в отвалы;

— в зависимости от порядка ведения вскрышных и добычных работ, направления подвигания забоя и способа вскрытия.

Наиболее распространенными являются классификации проф. Е.Ф. Шешко (табл. 5.4) и акад. Н.В. Мельникова (табл. 5.5) по направлению перемещения вскрышных пород в отвалы; акад. В.В. Ржевского — по направлению подвигания фронта горных работ (табл. 5.6).

Таблица 5.4

Классификация систем открытой разработки по Е.Ф. Шешко

Группа систем А — с поперечным перемещением породы в отвал без транспортных средств	Группа систем Б — с продольным (фронтальным) перемещением породы в отвалы при помощи транспортных средств	Группа систем В — комбинированные
А-1 — с непосредственной перевалкой вскрышных пород	Б-4 — с транспортированием породы на внутренние отвалы на сравнительно короткие расстояния по путям с благоприятным профилем	В-7 — с частичным транспортированием породы на внутренние или внешние отвалы
А-2 — с кратной экскаваторной перевалкой вскрышных пород	Б-5 — с транспортированием породы на внешние отвалы на более значительное расстояние, обычно по путям с неблагоприятным профилем	В-8 — с частичным бестранспортным перемещением породы на внутренние отвалы
А-3 — с забойными отвалообразователями	Б-6 — с транспортированием породы частично на внутренние и частично на внешние отвалы	
А-0 — с незначительным объемом вскрышных работ, когда способы перемещения породы в отвал не имеют существенного значения		

Таблица 5.5

Классификация систем открытой разработки по Н.В. Мельникову

Система разработки	Основ. технологич. процесс по вскрыше	Отвалообразование	Направление развития фронта работ в плане	Высота рабочей зоны	Фронт работ
Бестранспортная	Рыхление	Внутреннее	Одностороннее по простиранию	Постоянная	Одинарный
	Выемка и отвалообразование		То же, вкрест простирания	Переменная	
			То же, смешанное		
			Двустороннее по простиранию		
			То же, вкрест простирания		
			То же, смешанное		
Транспортно-овальная	Выемка	Внутреннее	Одностороннее по простиранию	Постоянная	
	Дробление				
	Отвалообразование		То же, по простиранию		
			Двустороннее по простиранию		
			То же, вкрест простирания		
			Веерное		
			Смешанное		
Транспортная	Рыхление	Внешнее	Одностороннее по простиранию	Переменная	Сквозной
	Погрузка	Внутреннее	То же, вкрест простирания		
	Дробление	Комбинирванное	Двустороннее по простиранию		
	Транспортирование		То же, вкрест простирания		
	Отвалообразование		Веерное		
			По периметру карьера		
			Смешанное		
Специальная		Внешнее	То же		
Комбинированная	Любая комбинация систем разработки			Постоянная Переменная	

Таблица 5.6

Классификация систем открытой разработки (по В.В. Ржевскому)

Индекс группы	Группа систем	Индекс подгруппы	Подгруппа	Индекс системы	Системы разработки
С	Сплошные	СД	Сплошные продольные	СДО СДД	Сплошная продольная однобортовая То же, двухбортовая
		СП	Сплошные поперечные	СПО СПД	Сплошная поперечная однобортовая То же, двубортовая
		СВ	Сплошные веерные	СВЦ СВР	Сплошная веерная центральная То же, рассредоточенная
		СК	Сплошные кольцевые	СКЦ СКП	Сплошная кольцевая центральная То же, периферийная
У	Углубленные	УД	Углубочные продольные	УДО УДД	Углубочная продольная однобортовая То же, двубортовая
		УП	Углубочные поперечные	УПО УПД	Углубочная продольная однобортовая То же, двубортовая
		УВ	Углубочные веерные	УВР	Углубочная веерная рассредоточенная
		УК	Углубочные кольцевые	УКЦ	Углубочная кольцевая центральная
УС	Смешанные (углубочно-сплошные)	—	То же, в различных сочетаниях		

Примечание. К наименованию системы добавляется: «с внешними или внутренними отвалами».

Главным классификационным признаком в первых двух случаях является способ перемещения пустых пород. По этому признаку все системы разделяются на бестранспортные, транспортные и комбинированные.

Бестранспортные системы разработки характеризуются тем, что породы вскрыши перемещаются экскаваторами или отвалообразователями во внутренние отвалы. При системе разработки с непосредственной экскаваторной перевалкой вскрыши перемещение породы из забоя до отвала производится вскрышными экскаваторами, мехлопатами или драглайнами, которые одновременно являются также и отвальными экскаваторами (рис. 5.29, см. вкл.).

При системе разработки с кратной экскаваторной перевалкой вскрыши перемещение породы из забоя до отвала производится вскрышными и отвальными экскаваторами, работающими совместно (рис. 5.30, 5.31, см. вкл.).

При системе разработки с перевалкой вскрыши отвалообразователями (рис. 5.29) перемещение породы из забоя до отвала производится консольными отвалообразователями и транспортно-отвальными мостами.

При всех бестранспортных системах порода перемещается поперек фронта работ, т. е. по кратчайшему расстоянию. Поэтому эти системы просты и экономичны. Область применения — при пологих углах падения пластов (до 12°) и не слишком большой мощности. Для этих систем характерна жесткая связь между вскрышными и добычными работами, т. к. количество вскрываемых запасов ограничивается рабочими параметрами и мощностью вскрышных и отвальных машин.

Транспортные системы разработки характеризуются перевозкой вскрышных пород при помощи транспортных средств.

При системе разработки с перевозкой во внутренние отвалы порода перемещается на сравнительно короткое расстояние по пути с благоприятным профилем, обычно без подъема в грузовом направлении. Система с перевозкой породы на внешние отвалы характеризуется перемещением вскрыши на значительные расстоя-ния: 2 — 4 км для автотранспорта и до 10 км для железнодорожного транспорта.

Порода перемещается на пути с подъемом в грузовом направлении. Система с перевозкой породы частично на внутренние и частично на внешние отвалы имеет признаки первых двух систем этой группы.

Транспортные системы сложнее бестранспортных и менее экономичны. Они могут применяться при любых условиях залегания месторождения, поэтому получили широкое распространение. Здесь связь между подвиганием вскрышного и добычного фронта работ менее жесткая, в зависимости от потребностей можно вскрыть необходимое количество запасов.

Комбинированные системы разработки сочетают признаки бестранспортных и транспортных систем разработки. По признаку относительного преобладания перевалки или перевозки выделяют систему с частичной перевозкой пустых пород во внутренние или внешние отвалы и систему с частичной перевалкой пород во внутренние отвалы. Достоинства этой системы в том, что благодаря частичной перевозке породы, обычно с верхних уступов, расширяется возможность использования преимуществ бестранспортных систем разработки. Частичное применение перевалки породы во внутренние отвалы, обычно с нижних уступов карьера, позволяет улучшить показатели транспортных систем разработки, т. к. транспорт с нижних уступов наиболее трудный.

Относительная сложность и экономичность комбинированных систем разработки зависят от доли участия перевозки и перевалки. Чем больше объем породы будет разрабатываться по бестранспортной системе, тем экономичнее комбинированная система разработки.

Элементы и параметры системы разработки рассмотрим на примере транспортных систем, т. к. благодаря универсальности эти системы получили наибольшее распространение: в угольной промышленности более 60 %, до 90 % в железорудной и почти 100 % на карьерах при добыче руд цветных металлов.

Транспортные системы разработки характеризуются следующими элементами, параметрами и удельными показателями (рис. 5.32).

Элементы системы разработки — выемочные слои, рабочие уступы, заходки, рабочие площадки, разрезные траншеи и др.

Параметры системы — высота уступа h, угол откоса уступа α, ширина заходки A, ширина рабочей площадки $B_{р.п}$, угол откоса рабочего борта карьера $\gamma_р$, число рабочих уступов, длина добычного и вскрышного фронта работ и др.

Основные удельные показатели — скорость подвигания забоев и рабочих уступов, скорость проходки траншей, скорость углубки горных работ в карьере y, скорость подвигания фронта работ $V_ф$, годовая производительность с единицы длины фронта и площадок рабочей зоны.

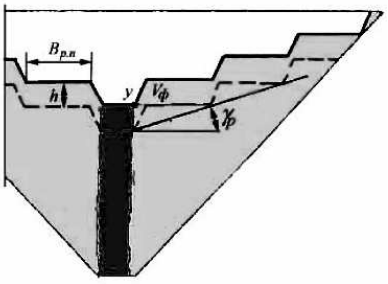


Рис. 5.32. Элементы и параметры системы разработки

Высота уступа h (см. рис. 5.32) зависит от типа по-грузочного оборудования и его рабочих пара-

метров. При разработке пород без применения БВР высота уступа принимается равной высоте черпания экскаватора; с применением БВР она не должна превышать высоту черпания более чем в 1,5 раза. Допустимые значения высоты уступа: для ЭКГ-4,6 в мягких породах 10 м, в скальных 15 м; для ЭКГ-8и — соответственно 13 и 20 м; для ЭКГ-12,5 — соответственно 16,5 и 25 м. Ширина рабочей площадки $B_{р\,п}$ устанавливается с учетом физико-механических свойств горных пород, рабочих параметров экскаватора и вида транспорта (рис. 5.33).

При разработке пород с предварительным их рыхлением буровзрывным способом минимальная ширина рабочей площадки определяется следующим образом:

$$B_{р\,п} = B_р + C + T + П + b_п,$$

где $B_р$ — ширина развала, м; C — безопасный зазор между нижней бровкой развала и транспортной полосой, м; T — ширина транспортной полосы, м; $П$ — ширина полосы для размещения дополнительного оборудования и проезда вспомогательного транспорта, м; $b_п$ — ширина полосы безопасности (призмы обрушения), м.

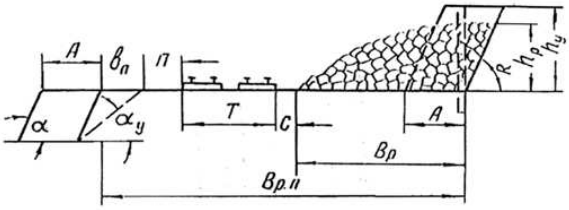


Рис. 5.33. Схема к определению ширины рабочей площадки

Безопасный зазор $C = 2-3$ м. Ширина транспортной полосы при одноколейном пути $T = 3$ м, при двухколейном $T = 7{,}5-1\,5$ м в зависимости от принятой ширины междупутья. Минимальная ширина междупутья 4,5 м. Ширина полосы для размещения дополнительного оборудования $П = 5-6$ м. Ширина полосы безопасности (призмы обрушения) определяется по формуле:

$$b_п = h\,(\mathrm{ctg}\alpha_у - \mathrm{ctg}\alpha),$$

где h — высота уступа, м; $\alpha_у$ — угол устойчивого откоса уступа, град ($\alpha_у = 35 - 60°$); α — угол откоса рабочего уступа, град ($\alpha = 65 - 80°$).

Ширина заходки A при применении мехлопат равна радиусу их черпания, а для драглайнов определяется принятым углом поворота стрелы. Для экскаваторов ЭКГ-4,6, ЭКГ-8и, ЭКГ-12,5 и ЭКГ-20 она равна соответственно 14,0; 17,8; 22,0 и 23,5 м.

Угол откоса рабочего борта $\gamma_р$ является функцией высоты уступа и ширины рабочей площадки и определяется как их отношение:

$$ctg\gamma_р = h/B_{р\,п}.$$

Угол откоса рабочего борта при железнодорожном транспорте составляет $7-12°$, при автомобильном — $10-15°$.

Число рабочих уступов и длина фронта работ должны быть наименьшими, но достаточными для обеспечения производственной мощности. Обычно на уступах располагаются несколько экскаваторов. Число экскаваторных забоев (число блоков) на одном уступе при железнодорожном транспорте не превышает 3, при автомобильном равно $5-6$. Минимальная длина блока при железнодорожном транспорте $400-500$ м, при автотранспорте $150-250$ м.

Число одновременно разрабатываемых добычных уступов в карьере определяется так:

$$m = П_к l_б / Q_э L,$$

где $П_к$ — производственная мощность карьера по добыче, тыс. м^3/год; $l_б$ — длина блока на уступе, м; $Q_э$ — производительность экскаватора по добыче, тыс. м^3/год; L — длина уступа, м.

Интенсивность горных работ в карьере характеризуется скоростью понижения горных работ (y) и скоростью подвигания фронта работ ($V_ф$) на уступах. Требуемая скорость понижения горных работ карьера по условию его производственной мощности должна обеспечиваться необходимой скоростью горизонтального подвигания фронта работ, между которыми существует зависимость (см. рис. 5.32):

$$V_ф = y \operatorname{ctg} \gamma_р;$$

где $\gamma_р$ — угол откоса рабочего борта карьера ($\gamma_р = 14 - 18°$).

Фактически на горных предприятиях средняя скорость понижения горных работ при использовании железнодорожного транспорта составляет 7 — 12 м/год, а скорость подвигания фронта работ ($V_ф$) 50 — 300 м/год соответственно.

Техническими направлениями развития открытого способа разработки предусматриваются:

— увеличение производственной мощности дейст-вующих и строительство новых крупных карьеров с годовой добычей полезного ископаемого до 10 — 20 млн т;

— разработка рыхлых и полускальных пород с применением комплексов непрерывного действия, в том числе роторных экскаваторов, ленточных конвейеров, консольных отвалообразователей с производительно-стью до 12,5 тыс. т/ч;

— расширение области применения технологических схем с перевалкой породы в выработанное пространство драглайнами с ковшами вместимостью 40 — 100 м^3 и длиной стрелы 100 — 150 м;

— внедрение циклично-поточной технологии при выемке крепких пород и руд с дроблением их в карьере на передвижных дробилках и транспортированием конвейерами;

— широкое применение новых моделей горнотранспортного оборудования: шарошечных станков СВБ-320, экскаваторов ЭКГ-20, гидравлических ЭГ-12,5 и ЭГ-20, погрузчиков с ковшами вместимостью 5 — 7,5 — 12,5 — 20 м^3, автосамосвалов грузоподъемностью 110 — 180 — 250 т;

— полная механизация путевых и вспомогательных работ на карьерах;

— внедрение автоматических систем управления (АСУ), математических методов и ЭВМ для проектирования, планирования и управления, реализация комплекса мероприятий по охране окружающей среды.

Реализация этих технических направлений, внедрение новой техники и технологии позволят еще больше повысить эффективность открытого способа разработки.

Дальнейшее развитие актуальных направлений комплексного освоения недр (ресурсосбережения, малоотходности, ресурсовоспроизводства) потребовало широкое применение новых видов горного и транспортного оборудования в комплексах и большого числа специальных технологических схем.

В основу предложенной академиком К.Н. Трубецким классификации ресурсосберегающих и малоотходных технологических схем открытой разработки месторождений в качестве основных классификационных признаков положены виды горнотранспортного оборудования (табл. 5.7). Правильность такого подхода подтверждается мировой передовой практикой.

Таблица 5.7

Классификация ресурсосберегающих и малоотходных технологических схем открытой разработки месторождений (по К.Н. Трубецкому)

Индекс	Структура схемы комплексной механизации	Способ подготовки горных пород к выемке	Технологические процессы				
			выемочно-погрузочные работы		дробление или грохочение	транспортные	
			максимальный размер куска, мм	технология		от забоя до перерабатывающего предприятия	до отвала
Цикличный способ производства горных работ							
IA	Буровой станок — погрузчик — транспортное ср-во	Взрывной	—	Поперечными заходками	—	Автомобильный, железнодорожный	
IБ	То же	То же	—	То же	—	Погрузчиками, автомобильный, вертолетный	Погрузчиками
IB	То же	То же	—	Поперечными за-ходками (забоями-площадками)	—	Автомобильный, гравитационный, по рудоспускам, железнодорожый	—
IIA	Буровой станок — погрузчик — механическая лопата — транспортное ср-во	Взрывной	—	Поперечными заходками высотой 6 — 8 м	—	Автомобильный	—
IIБ	То же	То же	—	Поперечными заходками (забоями-площадками)	—	Погрузчиками	Автомобильный
IIi	Буровой станок — драглайн — погрузчик — транспортное ср-во	То же	—	Продольными заходками	—	Автомобильный	Драглайном
IVA	Рыхлительно-бульдозерный агрегат — погрузчик — транспортное ср-во	Механич., рыхление горизонт. слоями, с бульдозированием в штабели	1000 — 2000	Фронтальными забоями (погрузочный механизм в процессе погрузки перемещается вдоль штабеля)	—	Автомобильный	
IVБ	То же	Механич., рыхление наклонными слоями, с бульдозированием горной массы вниз по откосу в забой	1000 — 2000	Забоями-площадками (погрузочный механизм расположен в забое)	—	Автомобильный	
V	Колесный бульдозер — погрузчик — транспортное ср-во	—	—	Продольными заходками (фронтальными забоями)	—	Автомобильный	Погрузчиками
VI	Драглайн (вскрышная механическая лопата) — погрузчик — транспортное ср-во	—	—	Продольными заходками (фронтальными забоями)	—	Автомобильный	Драглайном или мехлопата

Окончание таблицы 5.7

VII	Рыхлитель – скрепер – погрузчик	Механич., рыхление горизонт., слабонаклонными слоями	600	Послойная разработка	–	Скреперный, комбинированный	
VIIA	Рыхлительно-бульдозерный агрегат – буровой станок	Механич. в комбинации с взрыв-ным на встряхивание, горизонт. слоями, с бульдозированием в штабели	1000 – 2000	Фронтальными забоями (погрузочный механизм в процессе погрузки перемещается вдоль штабеля)	–	Автомобильный	
VIIБ	Рыхлительно-бульдозерный агрегат – буровой станок	Механич. в комбинации с взрывным на встряхивание, горизонт. слоями, с бульдозированием в штабели	1000 – 2000	Забоями-площадками (погрузочный механизм расположен в забое)	–	Автомобильный	
Циклично-поточный способ производства горных работ							
IX	Буровой станок – погрузчик – дробильный агрегат – транспортное ср-во	Взрывной	–	Поперечными заходками (заходками-площадками)	Полустационарный или самоходный дробильный агрегат	Погрузчиками, конвейерный	–
X	Буровой станок – погрузчик – транспортное ср-во	Взрывной	–	Поперечными заходками	–	Погрузчиками, гравитационный по рудоспускам или рудоскатам, конвейерный	–
XIA*	Рыхлительно-бульдозерный агрегат – погрузчик – дробильный агрегат (грохот-питатель) – транспортное ср-во	Механич., горизонт. или наклонными слоями, с бульдозированием горной массы в штабель	1000 – 2000	Черпание из штабеля и доставка пород погрузчиком в ковше до бункера дробилки	Полустационарный или самоходный дробильный агрегат	Погрузчиками, конвейерный	–
XIБ	То же	Механич., рыхление горизонт. или наклонными слоями, с бульдозированием горной массы в забой (на нижележащий горизонт)	1000 – 1200	Забоями-площадками	То же	Погрузчиками, конвейерный, специальный автомобильный	–
XII**	Рыхлительно-бульдозерный агрегат – погрузчик – транспортное ср-во	Механич., рыхление горизонт. или наклонными слоями с последующим штабелированием	До 500	Забоями-площадками	Полустационарный или самоходный дробильный агрегат	Погрузчиками, гравитационный, по рудоспускам, конвейерный	–

Глава 6

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

6.1. ПЛАСТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Пласт — форма залегания осадочных горных пород в виде плиты, ограниченной двумя параллельными поверхностями.

Из полезных ископаемых такая форма залегания свойственна в основном горючим полезным ископаемым (уголь, торф, сланцы, нефть) и некоторым стройматериалам (глины, песок и т. д.).

Месторождение, в котором запасы представлены пластами, именуется пластовым месторождением.

Разработка этих месторождений, как и всех остальных, включает в себя три стадии: вскрытие, подготовка и очистные работы.

Горные предприятия, разрабатывающие основной тип пластовых месторождений — угольные обычно, именуются *шахтами*.

Вскрытием называют проведение горных выработок, обеспечивающих доступ с поверхности земли к залежи полезного ископаемого. Выработки, проводимые на этой стадии, называются вскрывающими. На каждой действующей шахте должно быть не менее двух выходов на поверхность (требование параграфа 76 Правил безопасности в угольных шахтах), приспособленных для передвижения (перевозки) людей. Поэтому шахта должна иметь не менее двух вскрывающих выработок с непосредственным выходом на земную поверхность. Сеть вскрывающих выработок должна обеспечивать надежную транспортную связь между угольными пластами и поверхностью, подачу в шахту свежей и выход на поверхность исходящей струи воздуха, удаление шахтных вод и подачу электро- и пневмоэнергии к работающим машинам.

Вскрывающими выработками являются стволы, штольни, квершлаги, слепые стволы, гезенки и шурфы.

После того как пластовое месторождение вскрыто, приступают к *подготовке запасов* к очистной выемке. Под *подготовкой* понимают проведение комплекса горных выработок, обеспечивающих возможность начала очистных работ. В отличие от вскрытия, вторая стадия разработки — подготовка — осуществляется в течение всего периода отработки запасов угля в шахтном поле, поскольку выемку пластов ведут последовательно в отдельных их частях. Различают подготовленные и готовые к выемке запасы. Подготовленными называются такие запасы, для отработки которых проведены основные подготавливающие выработки (пластовые или полевые штреки, бремсберги, уклоны, скаты); готовыми к выемке — запасы, для отработки которых проведены необходимые подготовительно-нарезные вы-

работки (ярусные или подэтажные штреки и разрезные печи) и подготовлено оборудование, позволяющее начать очистные работы. Таким образом, задачей подготовки является своевременное обеспечение шахты фронтом очистных работ.

Сеть подготавливающих выработок должна обеспечить доставку полезного ископаемого до горизонтальных откаточных выработок, транспортирование материалов и оборудования, пропуск необходимого количества воздуха для проветривания очистных забоев.

Очистные работы являются третьей, основной стадией разработки месторождения полезного ископаемого. Период ведения очистных работ на шахте называют эксплуатацией месторождения. Технология и механизация очистных работ в значительной мере оказывают влияние на эффективность разработки месторождения.

Вскрытие, подготовка и очистная выемка, обусловливающие транспортирование полезного ископаемого от очистного забоя до поверхности, проветривание горных выработок, включая поверхностный комплекс, формируют *технологическую схему* шахты.

Производственная мощность и срок службы являются основными количественными характеристиками, определяющими тип шахты. Производственная мощность шахты предопределяет не только количественные параметры всего технологического комплекса, но и основные технико-экономические показатели работы шахты.

Производственной мощностью шахты называется количество полезного ископаемого в тоннах, добываемого в единицу времени (сутки, год). Различают проектную и фактическую производственную мощность шахты.

Срок службы (существования) шахты равен периоду, в течение которого отрабатываются промышленные запасы угля в пределах шахтного поля.

Между промышленными запасами $Z_{\text{пр}}$, годовой производственной мощностью шахты $A_{\text{г}}$ и сроком ее службы $T_{\text{р}}$ существует следующая зависимость:

$$Z_{\text{пр}} = A_{\text{г}} T_{\text{р}}.$$

6.1.1. Шахтное поле

Шахтным полем называется часть пластового месторождения, отводимая для разработки одной шахте (рис. 6.1). Параметрами шахтного поля являются размеры по простиранию S и падению H. Шахтное поле имеет границы по восстанию, падению и простиранию.

Границы шахтного поля могут быть фиксированными и условными.

Форма шахтных полей может быть различной и зависит от горно-геологических условий залегания пластов. При выдержанных элементах залегания пластов (к которым относятся угол падения и направление простирания) и отсутствии геологических нарушений шахт-ное поле имеет прямоугольную форму, наиболее удобную для разработки. В других случаях шахтное поле принимает форму, соответствующую форме залегания месторождения или его части.

При составлении планов шахтное поле с пологими пластами изображают, как правило, в проекции на горизонтальную плоскость, с крутыми — на вертикальную плоскость. Отдельные участки шахтного поля изображают в плоскости пласта.

Размеры полей шахт колеблются в широких пределах. На пологих пластах они составляют 3 — 10 км по простиранию и до 2 — 3 км по падению.

Поскольку поля современных шахт имеют значительные размеры как по простиранию, так и по падению, то отработка их осуществляется частями в опреде-

ленной последовательности. Этим обеспечивается концентрация очистных и подготовительных работ.

В целях удобства и обеспечения системного характера отработки шахтное поле разделяют на транспортные горизонты, выемочные ступени, крылья, этажи, панели, блоки, выемочные поля, столбы и полосы (рис. 6.2).

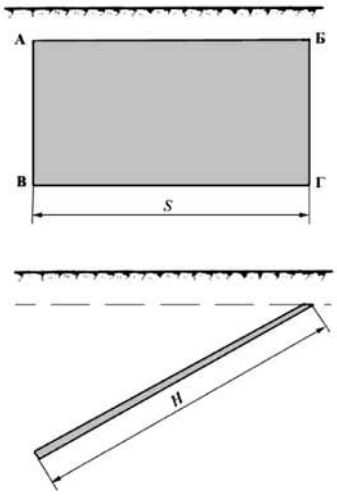


Рис. 6.1. Шахтное поле:
АБ — граница по восстанию;
ВГ — граница по падению;
АВ, БГ — границы по простиранию

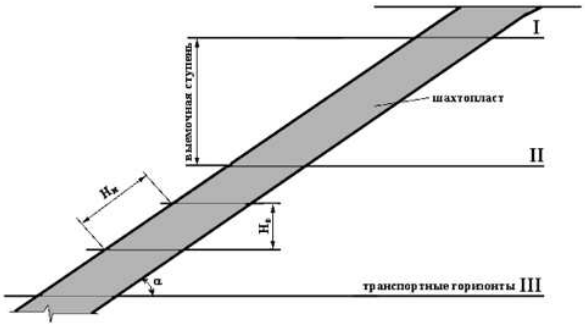


Рис. 6.2. Основные элементы структуры шахтного поля

Прежде всего, шахтное поле по падению разделяют горизонтальными плоскостями на транспортные горизонты. *Транспортные горизонты* — это комплекс вскрывающих и подготавливающих выработок и выработок околоствольного двора, располагаемых на одном уровне и служащих для транспортирования полезного ископаемого к стволу (штольне), а также материалов и оборудования от ствола (штольни).

Выемочная ступень — часть шахтного поля, ограниченная по простиранию границами шахтного поля, а по падению смежными транспортными горизонтами или границей шахтного поля и транспортным горизонтом. Высота ступени по вертикали равна разности отметок смежных транспортных горизонтов.

По простиранию шахтное поле делят на крылья. *Крыло* — часть шахтного поля, расположенная по одну сторону от главного ствола или какой-либо другой вскрывающей выработки. Шахтные поля бывают дву-крылые и однокрылые. Если главный ствол расположен в центре шахтного поля по простиранию, то такое шахтное поле является двукрылым.

Шахтопласт — часть пласта как обширной залежи полезного ископаемого, в пределах шахтного поля.

Этаж (рис. 6.2, 6.3, а) — часть шахтопласта, вытянутая по простиранию и ограниченная по падению и восстанию этажными откаточным и вентиляционным штреками. Расстояние между верхней и нижней границами этажа по падению называется наклонной высотой этажа, расстояние по вертикали — вертикальной высотой этажа. Следовательно,

$$H_э = H_в / \sin\alpha,$$

где $H_н$ — наклонная высота этажа, м; $H_в$ — вертикальная высота этажа, м; α — угол падения пласта, град. $H_н = \dfrac{H_в}{\mathrm{Sin}\alpha}$.

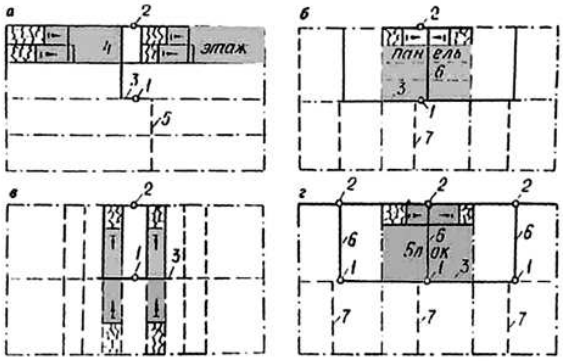


Рис. 6.3. Деление шахтного поля на части:
1 — воздухоподающий ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — главный откаточный штрек; 4 — бремсберг с ходком; 5 — капитальный уклон с ходком; 6 — панельный бремсберг с ходками; 7 — панельный уклон с ходками

Выемочное поле — часть этажа по простиранию, в пределах которой разработка пласта осуществляется на один участковый бремсберг, уклон, скат или промежуточный квершлаг. Если очистные забои располагаются с обеих сторон от наклонной участковой выработки, то такое выемочное поле называют двусторонним (двукрылым), если с одной стороны — то односторонним (однокрылым). Размер выемочного поля по простиранию равен 400 — 600 м.

На пологих и частично наклонных до 20 — 25° пластах выемочную ступень по простиранию делят на панели (рис. 6.3, б). *Панель* — часть шахтопласта, ограниченная по падению границей шахтного поля и транспортным горизонтом или двумя смежными транспортными горизонтами, а по простиранию — границей шахтного поля и условной границей с другой панелью или двумя такими границами. Каждая панель обслуживается самостоятельными транспортными и вспомогательными наклонными выработками. Эти выработки называют панельными.

Размер двусторонней панели по простиранию составляет 1500 — 2000 м и имеет тенденцию к увеличению.

Панели делят по падению на более мелкие части — ярусы. *Ярус* — одновременно разрабатываемая часть панели. Он ограничен по простиранию границами панели, а по падению ярусными конвейерным и вентиляционным штреками. Иногда ярус делят на подъярусы.

На пластах с углами падения до 10 — 12° и значительным расстоянием по падению между транспортными горизонтами выемочные ступени делят на столбы, вытянутые по падению или восстанию (рис. 6.3, в). В этом случае очистной забой располагается по простиранию, а перемещается по падению или восстанию пласта.

При значительных размерах по простиранию (8 — 10 км) и большой производственной мощности, когда не обеспечивается проветривание через один воздухоподающий ствол, шахтное поле по простиранию делят на блоки (рис. 6.3, г). *Блок* — часть шахтного поля, имеющая сеть воздухопроводящих выработок, обеспечивающую независимое проветривание. Она характеризуется самостоятельным комплексом горных работ. На пологих и наклонных пластах каждый блок имеет воздухоподающий и вентиляционные стволы, используемые для самостоятельного секционного проветривания своих выработок и вспомогательных транспортных операций. Таких блоков в пределах шахтного поля может быть несколько. Шахта,

построенная по такому принципу, имеет общий главный ствол, по которому осуществляется выдача угля на поверхность. Все блоки шахтного поля имеют один общий транспортный горизонт. Размер блока по простиранию равен 3 — 4 км.

6.1.2. Порядок отработки шахтного поля

Отработка этажей в шахтном поле и ярусов в панели может осуществляться как в нисходящем (сверху вниз), так и в восходящем (снизу вверх) порядке. В основном распространен нисходящий порядок отработки, особенно на шахтах с высокой газоносностью. В отдельных случаях по согласованию с органами Госгортехнадзора применяют восходящий порядок отработки, например при большом водопритоке и на негазовых шахтах.

Этажи в шахтном поле или ярусы в панели можно отрабатывать прямым или обратным ходом. Рассмотрим простейший случай, когда в пределах яруса или этажа размещается один очистной забой (рис. 6.4): варианты лава-этаж или лава-ярус.

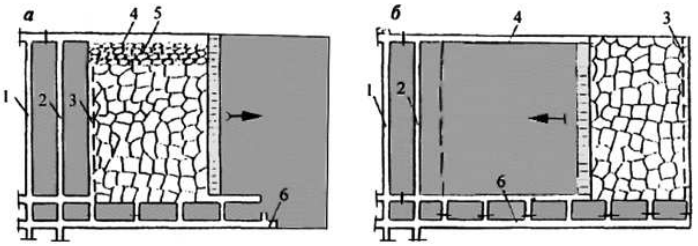


Рис. 6.4. Схемы прямого (а) и обратного (б) порядка отработки крыла шахтного поля: 1 — бремсберг; 2 — ходок; 3 — разрезная печь; 4 — вентиляционный штрек; 5 — бутовая полоса; 6 — откаточный штрек

Если отработка ведется в направлении от ствола к границам шахтного поля по простиранию то — это прямой порядок (ход), в противоположном направлении — обратный. При обратном порядке отработки должны быть предварительно пройдены все подготовительные выработки.

Прямой порядок отработки по сравнению с обратным имеет такие преимущества, как более короткий срок подготовки очистных забоев и отсутствие предварительных затрат на проведение штреков значительной протяженности.

Достоинства обратного порядка отработки заключаются в следующем: снижаются затраты на поддержание этажных или ярусных штреков; возможно устранение утечек через выработанное пространство свежей струи воздуха; достигается независимость очистных работ от подготовительных; осуществляется доразведка условий залегания пласта.

При делении шахтопласта на этажи, а последних, в свою очередь, на выемочные поля, они могут отрабатываться прямым и обратным ходом. Преобладает прямой порядок отработки выемочных полей, а в пределах выемочного поля — обратный.

При делении шахтопласта на панели их отрабатывают в бремсберговой ступени последовательно от ствола к границам по простиранию. Это позволяет уменьшить объем работ по проведению главных штреков при подготовке первых панелей. Панели в уклонной ступени целесообразно отрабатывать в обратном направлении, т. е. от границ шахтного поля, погашая при этом главные штреки. Отработка ярусов в панели осуществляется, как правило, обратным ходом.

6.1.3. Вскрытие пластовых месторождений

При описании вскрытия пластовых месторождений принято различать способ и схему вскрытия, в основу которых положено наличие основной и дополнительной вскрывающих выработок.

Способ вскрытия — совокупность основных вскрывающих выработок в шахтном поле относительно транспортного горизонта с учетом их функционального назначения. Различают четыре способа вскрытия: вертикальными стволами, наклонными стволами, штольнями и комбинированный, представляющий сочетание первых двух или трех способов.

Схема вскрытия — пространственное расположение сети основных и дополнительных вскрывающих выработок в шахтном поле. Различают следующие схемы вскрытия:

— по числу транспортных горизонтов — *одногоризонтные* и *многогоризонтные*. В первом случае шахтное поле отрабатывают с одного транспортного горизонта, что исключает углубку шахтных стволов, во втором — с проведением вскрывающих выработок на двух и более горизонтах, что вызывает необходимость углубки стволов;

— по типу дополнительных вскрывающих выработок — без дополнительных вскрывающих выработок; с квершлагами (капитальными, горизонтальными, этажными); с гезенками (капитальными и этажными); со слепыми стволами;

— по положению в границах шахтного поля (рис. 6.5).

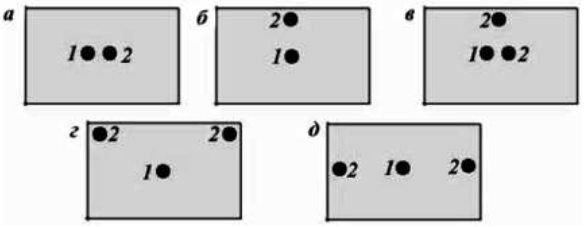


Рис. 6.5. Расположение стволов в шахтном поле:
а — центральносдвоенное; б — центральноотнесенное; в — комбинированное; г — диагональное; д — фланговое; 1 — воздухоподающий ствол; 2 — вентиляционный ствол

При наличии в шахтном поле одного пласта применяют вскрытие без *дополнительных вскрывающих выработок*, ограничиваясь проходкой только шахтных стволов.

На рис. 6.6 (см. вкл.) представлено вскрытие одиночного пласта вертикальными стволами с расположением околоствольного двора в лежачем боку пласта.

Полезное ископаемое от очистного забоя по конвейерному штреку поступает на панельный бремсберг, затем на откаточный штрек, далее — к околоствольному двору. По главному стволу полезное ископаемое в скипах выдается на поверхность. Из уклонной части полезное ископаемое выдается на откаточный горизонт по панельному уклону.

Свежий воздух в шахту поступает по вспомогательному стволу, затем по сети воздухопроводящих выработок (откаточный штрек, бремсберг, конвейерный штрек) поступает в очистной забой. Исходящая струя от забоя по вентиляционному штреку поступает на один из ходков бремсберга, а затем по шурфу на поверхность.

Наиболее простым для *одиночного пологого* пласта является вскрытие наклонными стволами (рис. 6.7, см. вкл.). Обычно проходят несколько параллельных друг другу стволов: один из них является главным, остальные — вспомогательными.

Большей частью их проводят по пласту полезного ископаемого. Расстояние между главным и вспомогательными стволами принимается равным не менее 40 м.

Свежая струя воздуха по одному из стволов поступает в околоствольный двор, где разделяется на оба крыла шахтного поля. Из откаточных (конвейерных) штреков воздух направляется в очистные забои, далее через вентиляционный штрек и ствол на поверхность.

Наиболее распространенным на пологих и частично наклонных пластах является вскрытие вертикальными стволами с *капитальным квершлагом* (рис. 6.8, см. вкл.). Это одногоризонтное вскрытие. Его сущность заключается в том, что шахтное поле по падению делится транспортным горизонтом на две выемочные ступени — бремсберговую и уклонную. Стволы (главный и вспомогательный), располагаемые на одной общей промплощадке, проходят до отметки транспортного горизонта, а непосредственное вскрытие пластов осуществляется капитальным квершлагом, проведенным от околоствольного двора.

При наличии в шахтном поле крутонаклонных и крутых пластов применяют вскрытие вертикальными стволами с этажными квершлагами (рис. 6.9, см. вкл.). Стволы во избежание потерь угля в охранных целиках под пром-площадкой располагают в лежачем боку свиты. В этом случае стволы не будут подвергаться деформациям под влиянием очистных работ.

Вскрытие наклонными стволами может применяться при любых углах падения пластов. Угол наклона стволов зависит от вида транспорта полезного ископаемого по наклонному стволу: до 18° используют ленточные конвейеры, при 19—25° — вагонетки, более 26° — скипы. Наиболее прогрессивным видом транспорта по наклонному стволу является конвейерный, обеспечивающий возможность непрерывного транспортирования угля от забоя до поверхности. Стволы проводят по нижнему пласту вскрываемой свиты или в устойчивых породах лежащего бока. Параллельно друг другу проводят несколько стволов (рис. 6.10, см. вкл.).

Вскрытие *штольнями* (рис. 6.11, см. вкл.) применяют в гористой местности, когда промышленные запасы, расположенные выше штольневого горизонта, обеспечивают длительный срок службы шахты.

Комбинированное вскрытие представляет собой наличие разного типа основных вскрывающих выработок: вертикальный и наклонный стволы; штольня и вертикальный ствол; штольня с наклонными стволами и др. (рис. 6.12, см. вкл.).

6.1.4. Подготовка запасов к очистной выемке

После вскрытия месторождения в пределах шахтного поля приступают к его подготовке, позволяющей начать добычу полезного ископаемого в очистных забоях. Подготовку шахтопластов ведут частями и по мере их отработки подготавливают следующие части. Следовательно, задачей подготовки является постоянное воз-обновление готовых к выемке запасов взамен отрабатываемых. Постоянное возобновление запасов называют *воспроизводством готовых к выемке запасов.*

Подготовка пласта к очистной выемке состоит из двух этапов. На первом этапе проводят подготавливающие выработки на уровне транспортного горизонта. Этот этап называют способом подготовки. В основу разделения способов подготовки положены два признака: расположение подготавливающих выработок относительно угольного пласта и число разрабатываемых пластов, обслуживаемых подготавливающей выработкой. На этом этапе подготавливающими выработками являются транспортные (главные) штреки. В зависимости от расположения этих штреков относительно угольного пласта различают пластовую и полевую подготовку пластов (рис. 6.13).

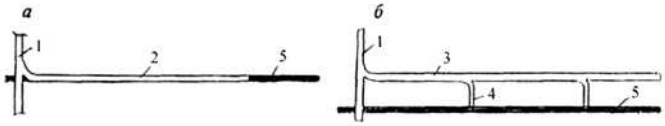


Рис. 6.13. Пластовая (а) и полевая (б) подготовка угольных пластов:
1 — главный квершлаг; 2 — пластовый штрек; 3 — полевой штрек;
4 — промежуточный квершлаг; 5 — угольный пласт

При *пластовой подготовке* транспортные штреки проводят непосредственно по пласту. Ее применяют при устойчивых боковых породах, а также на пластах полезного ископаемого, не склонных к самовозгоранию. Это, как правило, пласты тонкие и средней мощности. При неустойчивых боковых породах и на пластах, склонных к самовозгоранию, применяют *полевую* подготовку, при которой полевые штреки проводят в породах лежачего бока. Для выхода на пласт от полевого штрека проводят промежуточные квершлаги.

При индивидуальной подготовке (рис. 6.14) транспортные штреки проводят для каждого из разрабатываемых пластов. Особенность функционирования этих штреков заключается в том, что они поддерживаются весь период отработки соответствующего пласта. При наличии в шахтном поле мощного пласта применяют индивидуальную полевую подготовку.

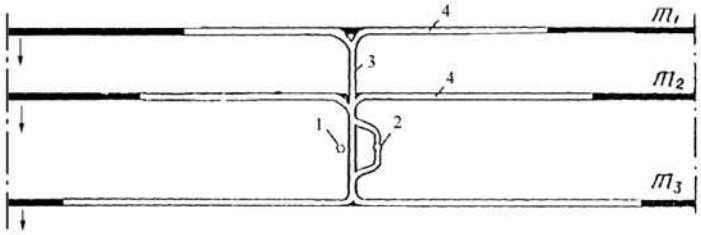


Рис. 6.14. Индивидуальная подготовка пластов в шахтном поле:
1 — главный ствол; 2 — вспомогательный ствол; 3 — главный квершлаг;
4 — пластовый транспортный штрек

При групповой подготовке откаточный штрек проводят общим (рис. 6.15) для всех разрабатываемых пластов свиты или отдельной ее группы. При этом отпадает надобность поддерживать пластовые откаточные штреки. Их погашают по мере отработки пласта в пределах выемочного поля. Групповой штрек проводят полевым или по нерабочему пласту в лежачем боку разрабатываемой свиты.

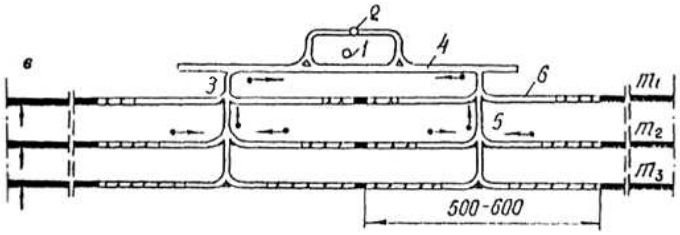


Рис. 6.15. Групповая подготовка с доставкой на двусторонний (в) промквершлаг:
1 — главный ствол; 2 — вспомогательный ствол; 3 — главный квершлаг; 4 — полевой штрек; 5 — промежуточный квершлаг; 6 — пластовый откаточный штрек;
→ направление откатки угля к стволу

6.1.5. Подготовка выемочных полей

После проведения в необходимом объеме горизонтальных подготавливающих выработок на транспортном горизонте приступают к проведению подготавливающих выработок в плоскости пласта, формирующих схему подготовки выемочных полей. Под *схемой подготовки выемочного поля* понимают совокупность характерно расположенных, с учетом функционального назначения, подготавливающих выработок, обеспечивающих формирование готовых к выемки частей шахтопласта.

В зависимости от деления выемочной ступени (шахтопласта) на части различают панельную, этажную и погоризонтную подготовку.

Панельную подготовку применяют при любой мощности угольных пластов с углами падения до 20 — 25° (преимущественно до 15 — 18°). Размер панели по простиранию достигает 2,5 — 3 км. Ее размер по падению равен наклонной высоте выемочной ступени (рис. 6.16, см. вкл.).

Этажная подготовка применяется при делении шахтопласта на этажи на крутонаклонных и крутых пластах, в отдельных случаях — на наклонных и пологих пластах при углах падения более 8 — 10°. При этажной подготовке этажи по простиранию делят на выемочные поля. Подготавливающие наклонные выработки (участковые бремсберги, уклоны, скаты) проводят в каждом выемочном поле. По ним осуществляется доставка угля до откаточного горизонта при делении этажа на подэтажи (рис. 6.17, см. вкл.).

В зависимости от угла падения пластов наклонная высота этажа составляет 120 — 450 м. Последний параметр относится к пологим пластам.

Этажная подготовка пологих и крутых пластов отличается друг от друга. На пологих пластах при делении на подэтажи между этажами откаточным и вентиляционными штреками проводят участковые бремсберги, по которым уголь из верхних подэтажей доставляется на откаточный горизонт. Выемочные поля могут быть однокрылые и двукрылые.

Погоризонтальная подготовка выемочных полей осуществляется проведением в пределах выемочной ступени наклонных подготавливающих выработок (рис. 6.18, см. вкл.). Длина наклонных подготавливающих выработок равна наклонной высоте выемочной ступени. Она может достигать 2000 — 3000 м. Расстояние между наклонными выработками (бремсбергами и ходками) равно длине очистного забоя. Особенность этой подготовки состоит в том, что очистной забой располагается по простиранию пласта, а перемещается по падению или восстанию.

6.1.6. Очистные работы

Очистные работы представляют собой комплекс взаимосвязанных производственных процессов по выемке полезного ископаемого из очистных забоев. Применительно к угольным месторождениям в состав этих работ входят очистная выемка, крепление забоя и управление кровлей, т. е. совокупность процессов отбойки, погрузки на забойный конвейер и доставки угля до ближайшей транспортной выработки (конвейерного штрека, бремсберга, уклона и др.). Названные процессы очистных работ характерны для пологих и наклонных пластов, где широко применяется комплексная механизация. В других условиях могут отсутствовать такие процессы, как крепление и управление кровлей, погрузка и механизированная доставка полезного ископаемого в забое.

Очистная выемка является главным процессом очистных работ. Крепление забоя и управление кровлей должны обеспечить нормальное выполнение работ по очистной выемке.

Очистной забой — забой, в котором осуществляется массовая добыча полезного ископаемого. По технологическому принципу очистные забои подразделяются на длинные и короткие. Принято забои длиной более 20 м считать *длинными*, менее — *короткими.* Технологии выемки угля в длинных и коротких забоях существенно различны. Для них созданы принципиально различные средства механизации, транспорта и крепления. Подготавливающие выработки, примыкающие к длинному очистному забою, называют выемочными. При выемке по простиранию ими являются конвейерный и вентиляционные штреки.

В длинных очистных забоях, называемых лавами, применяют две схемы выемки: фланговую и фронтальную. При *фланговой* схеме (рис. 6.19, а) отделение полезного ископаемого от массива осуществляется выемочной машиной, перемещающейся вдоль забоя перпендикулярно к направлению его подвигания.

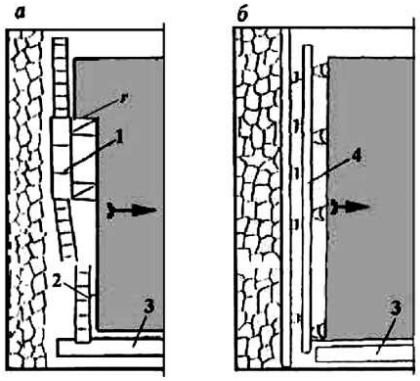


Рис. 6.19. Технологические схемы очистных работ:
а — фланговая (1 — выемочная машина; 2 — забойный конвейер; 3 — штрековый перегружатель; r — ширина захвата выемочной машины); б — фронтальная (3 — перегружатель; 4 — выемочная машина)

При *фронтальной выемке* (рис. 6.19, б) отделение от массива осуществляется выемочным агрегатом одновременно по всей длине очистного забоя. Такая технология позволяет осуществлять добычу без постоянного присутствия людей в очистном забое. Испытаны отдельные опытные образцы.

На шахтах России и СНГ основную добычу дают длинные очистные забои. Они могут быть различно ориентированы (рис. 6.20) относительно элементов залегания пласта. Они могут быть расположены по падению (а) или простиранию (б) пласта, а перемещаться — по простиранию, падению и восстанию.

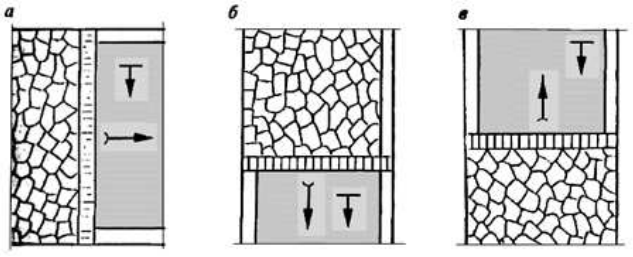


Рис. 6.20. Схемы подвигания очистных забоев:
а — по простиранию: б — по падению; в — по восстанию

6.1.7. Механизированная выемка в длинных очистных забоях

Выше уже отмечалось, что пластовыми месторождениями представлены запасы различных видов минерального сырья. Из этих месторождений в настоящее время добывается практически весь марганец, значительная часть редкоземельных элементов и радиоактивных металлов, широко известны также пластовые месторождения медистых песчаников Мансфельда. По горнотехническим условиям разработки к пластовым месторождениям можно отнести все захороненные россыпи редких и драгоценных металлов. Но только для твердых горючих полезных ископаемых — угля и горючих сланцев — этот геологический тип месторождений является абсолютно доминирующим.

Техника и технология подземной разработки пластовых месторождений прошли здесь длительный путь эволюции и достигли современного высокого уровня развития. Опыт разработки угольных месторождений сегодня является если не основной, то, по крайней мере, отправной точкой для развития технологии подземной разработки пластовых месторождений других видов полезных ископаемых.

Именно поэтому в настоящем и всех последующих разделах главы 6 все вопросы будут рассмотрены применительно к практике разработки исключительно угольных месторождений.

Основным средством механизированной выемки угля на пологих и наклонных пластах являются очистные комбайны. Очистной *угольный комбайн* — машина, одновременно выполняющая в забое операции по отделению угля от массива, дроблению его до кусков транспортабельного размера и навалке на забойный конвейер. Угольный комбайн как выемочная машина состоит из электродвигателя, механизма подачи, исполнительного органа, погрузочного устройства и систем управления и пылеподавления.

Действие исполнительных органов большинства комбайнов основано на принципе механического разрушения угля. Наиболее эффективными являются такие исполнительные органы, при работе которых в угле возникают растягивающие напряжения без образования объемного напряженного состояния.

Исполнительные органы комбайнов должны удовлетворять ряду требований, основными из которых являются: высокая производительность; малая удельная энергоемкость процесса разрушения; высокий КПД; простота конструкции; высокая стойкость инструмента; высокая надежность работы; возможность автоматизации режимов работы; выполнение функций отбойки и погрузки угля; способность самозарубаться в пласт.

Наибольшее распространение получили барабанные и шнековые исполнительные органы.

Барабанный исполнительный орган, литой или сварной конструкции, осуществляет разрушение угля путем скола с открытой поверхности забоя стружки толщиной 20 — 30 мм.

Большинство современных комбайнов оснащены *шнековыми* исполнительными органами. Основное их достоинство заключается в том, что шнеками осуществ-ляется погрузка угля на конвейер. Принцип разрушения угля шнеками такой же, как и барабанами, но с некоторым снижением присущих им недостатков.

Обычно узкозахватные комбайны оснащены двумя шнеками. Они располагаются либо с одной, либо с обеих сторон корпуса комбайна. Положение шнеков легко регулируется по высоте гидродомкратами, что позволяет осуществлять выемку угля при различной мощности пласта (рис. 6.21).

Комбайны перемещаются по раме забойного конвейера, располагаемого у забоя. Перемещение комбайна вдоль забоя осуществляется с помощью приводной звезды и калиброванной цепи.



Рис. 6.21. Комбайн очистной

В настоящее время промышленностью выпускаются различные типы комбайнов, предназначенные для работы в разнообразных горно-геологических условиях. Некоторые из них могут быть применены как с механизированными, так и индивидуальными крепями при углах падения до 35°.

Струговая установка — выемочная машина, предназначенная для механической отбойки, погрузки и доставки угля в очистных забоях. Струговая выемка является одним из наиболее прогрессивных способов добычи угля.

Наибольшее применение получили быстроходные струговые установки статического действия. Исполнительным органом струговой установки является струг. При движении вдоль забоя прижимаемого к нему струга снимается стружка угля толщиной 50 – 150 мм. Отбитый таким образом уголь корпусом струга грузится на конвейер (рис. 6.22, см. вкл.).

Струговая выемка требует «жестких» условий применения: спокойное, выдержанное залегание пласта; кровля не ниже средней устойчивости; крепкая почва, не разрушающаяся при работе струга; уголь не выше средней крепости; отсутствие в пласте угля крепких включений колчедана и породных прослойков; отсутствие крепких пачек угля у кровли и почвы пласта; преимущественно пласты тонкие и средней мощности (до 2,0 м).

Струговые установки могут применяться как с индивидуальной, так и с механизированными крепями. На базе последних созданы струговые механизированные очистные комплексы и струговые агрегаты, позволяющие осуществлять комплексную автоматизацию добычи угля в забое.

Эксплуатационную производительность струговой установки можно определить по формуле

$$Q_э = 360\, K_м\, h\, m\, V_с\, \gamma,$$

где $Q_э$ — эксплуатационная производительность струговой установки, т/смену; $K_м$ — коэффициент машинного времени (0,25 – 0,35); h — средняя толщина снимаемой стругом стружки, м; m — вынимаемая мощность пласта, м; $V_с$ — скорость движения стружки при резании, м/мин; γ — плотность угля, т/м^3.

6.1.8. Доставка в очистных забоях

На угольных шахтах для доставки угля в очистных забоях на пологих и наклонных пластах применяют скребковые конвейеры. Они получили широкое распространение, т. к. относительно просты по конструкции, пригодны к тяжелым условиям эксплуа-тации, приспособлены для работы с очистными комбайнами, стругами и механизированными крепями. Они являются базой современных механизированных комплексов.

Скребковый конвейер (рис. 6.23, см. вкл.) состоит из верхнего и нижнего металлических желобов, по которым перемещается бесконечная цепь со скребками, состоящая из грузовой и порожняковой ветвей. По концам конвейера распо-

лагаются приводная и натяжная голов-ки. Желоб конвейера собирают из отдельных секций (рештаков), соединяемых быстроразъемными замками. Цепь конвейера легко разбирается на отдельные отрезки. Благодаря этому конвейерный став можно легко разобрать или собрать на новом месте, укоротить или удлинить его.

Скребковые конвейеры, применяемые для транспортирования угля в лавах, необходимо периодически перемещать вслед за подвиганием очистного забоя. Перемещение скребковых конвейеров может быть двояким: путем полной разборки на части, переноски их на новое место и сборки; путем передвижки конвейера без разборки или по всей его длине, или последовательно частями за счет изгиба конвейерного става в горизонтальной плоскости.

Скребковые конвейеры, предназначенные для транспортирования угля вдоль забоя, подразделяются на четыре типа: СП — передвижные изгибающиеся (одно-, двух- и трехцепные); СР — разборные переносные двухцепные; С — разборные переносные одноцепные; СК — разборные переносные одноцепные с консольно расположенными скребками (ветви рештачного става расположены в горизонтальной плоскости) (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Краткая техническая характеристика скребковых конвейеров

Показатели	Тип конвейера			
	С53МУ	СР72	СПЦ261	СПЦ271
Производительность, т/ч	210	600	500	700
Скорость движения цепи, м/с	1,07	0,95	1,0	1,0
Длина в поставке, м	150	200	200	250
Мощность привода, кВт	45	55×4	110×2	200×2
Высота погрузки, мм	270	200	260	260

Доставка угля в зарубежной практике на пластах с углами падения до 6—8° в коротких очистных забоях осуществляется самоходными вагонетками на пневматиче-ском ходу или погрузочно-доставочными машинами.

В очистных забоях крутонаклонных и крутых пластов доставка угля осуществляется по почве пласта под действием собственного веса. В тех случаях, когда угол падения пласта не позволяет осуществить самотечную доставку угля по почве пласта, в очистном забое укладывают специальные желоба.

6.1.9. Классификация пород кровли

Рассмотрим некоторые характеристики пород кровли, оказывающие влияние на эффективность работ выемочных машин.

Породы кровли могут быть классифицированы по различным признакам: обрушаемости, устойчивости и т. д.

Кровля пласта состоит из отдельных слоев пород и пачек, разделенных плоскостями напластования. В зависимости от склонности слоев пород к обрушению различают ложную, непосредственную и основную кровли.

Под ложной кровлей понимают легкообрушающиеся слои небольшой мощности (до 0,3—0,5 м), залегающие непосредственно над пластом угля. Эти слои обрушаются или одновременно с выемкой угля, или через небольшой промежуток времени после обнажения кровли.

Наличие ложной кровли осложняет технологиче-ский процесс выемки угля. Иногда с целью предотвращения обрушения ложной кровли в верхней части пласта оставляют пачку угля.

Непосредственная кровля — толща пород, залегающая непосредственно над пластом угля, давление которой в пределах призабойного пространства в основном воспринимается крепью и целиком угля. Она не может держаться в пределах призабойного пространства в течение более или менее продолжительного времени без крепи. После удаления последней она обрушается.

Основная кровля — залегающие над непосредственной кровлей слои пород достаточной мощности, не обрушающиеся одновременно с обрушением непосредственной кровли, давление которой воспринимается целиком угля и обрушенной породой или закладкой. Основная кровля может быть обнажена на большой площади. Она приходит в движение спустя некоторое время после обрушения или оседания непосредственной кровли.

В связи с давлением кровли на непосредственную и основную различают первичное и вторичное горное давление. Первичное давление связано с оседанием непосредственной кровли, вторичное — с обрушением основной.

Различают также *непосредственную и основную почву* пласта. Породы, залегающие непосредственно под угольным пластом, называют непосредственной почвой. От ее свойств зависят явление пучения, вдавливание в нее крепи, а на крутом падении — сползание и обрушение. Породы, залегающие ниже непосредственной почвы, называют основной почвой.

Существует классификация пород кровли по устойчивости, под которой понимают свойство горных пород образовывать устойчивые обнажения без крепи при ведении горных работ. *По устойчивости породы кровли делят на пять классов:*

весьма неустойчивая — без крепи не дает устойчивых обнажений, обрушается вслед за подвиганием забоя;

неустойчивая — устойчивость сохраняется в течение 2 – 3 часов в призабойной полосе шириной 1м;

средней устойчивости — в призабойной полосе шириной до 2 м устойчивость сохраняется до 1 суток;

устойчивая — устойчивость в призабойной полосе шириной до 2,9 м сохраняется до 2 суток;

весьма устойчивая — обладает длительной устойчивостью в призабойной полосе шириной 5 – 6 м.

6.1.10. Горное давление

Горные породы в нетронутом массиве находятся в состоянии напряженного равновесия. Угольный пласт на глубине H испытывает напряжение $\sigma = \gamma H$, где γ — средняя плотность горных пород, кг/м^3; H — глубина залегания пласта, м. В процессе выемки угля впереди забоя происходит перераспределение напряжений (рис. 6.24, см. вкл.).

В угольном пласте сохраняются напряжения, характерные для нетронутого массива. Уголь находится в состоянии трехосного сжатия. Зона опорного давления характеризуется повышенным напряжением $\sigma = k\gamma H$, где k — коэффициент концентрации напряжений ($k > 1$). В этой зоне уголь находится в состоянии двухосного сжатия. Опорное давление имеет место по всему периметру выработанного пространства (впереди и позади лавы, в верхней и нижней ее частях). Оно оказывает влияние на состояние крепи подготовительных выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, может вызвать внезапное разрушение целиков угля.

Опорное давление является следствием пригрузки от нависающей консоли непосредственной и основной кровли, воспринимаемой краевой частью угольного массива.

Зона отжима непосредственно примыкает к забою. В ней уголь обычно раздавлен и напряженное состояние им утрачено. Это обстоятельство способствует облегчению отделения угля от массива соответствующими исполнительными органами выемочных машин.

По мере подвигания очистного забоя волна опорного давления постоянно перемещается, создавая повышенные и пониженные по сравнению со статическими напряжения в угольном пласте и прилегающих к нему породах.

Для создания безопасных условий в призабойном пространстве устанавливают крепь и осуществ-ляют комплекс мероприятий по управлению горным давлением.

Крепь может удерживать кровлю от обрушений только в непосредственной близости от забоя. Здесь кровля пласта и вышележащие породы удерживаются также силами сцепления. На некотором расстоянии от забоя влияние этой связи настолько ослабевает, что обычное крепление оказывается уже недостаточным.

Давление пород со стороны выработанного пространства может восприниматься закладочным массивом или специальной крепью. Крепи различной конструкции и закладка защищают призабойное пространство от обрушений. В настоящее время для защиты призабойного пространства на пологих и наклонных пластах широко применяют механизированные крепи.

Согласно гипотезе шарнирных блоков (рис. 6.25) нагрузка на крепь создается весом пород непосредст-венной кровли блока *ABCD*, который отламывается от массива по плоскости *CD* под углом φ к вертикали. Предполагается, что отламывающийся блок непосредст-венной кровли поворачивается у забоя как вокруг жесткой опоры. При этом основная кровля опускается в виде отдельных блоков на обрушенные породы непосредственной кровли. В отдельных случаях можно предположить, что углы наклона непосредственной и основной кровли будут приблизительно одинаковыми. Исходя из этого допущения, можно определить величину податливости крепи по формуле

$$\Delta m = a\ \mathrm{tg}\beta,$$

где Δm — величина податливости крепи, мм; a — расстояние от крепи до забоя, мм; β — угол наклона кровли, град.

Давление на крепь оказывает масса пород блока, равная:

$$Q = lh\gamma,$$

где Q — масса блока непосредственной кровли, т; h — мощность непосредственной кровли, мм; l — длина блока непосредственной кровли, м; γ — плотность пород, т/м^3.

Величину l можно определить по формуле

$$l = \sqrt{\frac{2R_{из} \cdot h}{\gamma}},$$

где $R_{из}$ — предел прочности пород при изгибе, кг/см^2.

Составив условия равновесия системы «кровля — крепь», можно определить ожидаемую реакцию крепи:

$$\mathrm{tg}\beta = \Delta M/L,$$

где ΔM — величина опускания конца блока основной кровли, мм; L — длина блока основной кровли, равная ее шагу обрушения, мм.

Величину ΔM — можно определить по формуле

$$\Delta M = m + h\ (1 - k_1 k_2).$$

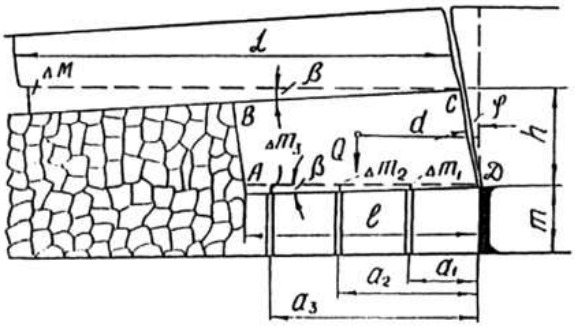


Рис. 6.25. Схема блочного обрушения пород кровли (по Г.Н. Кузнецову)

6.1.11. Управление горным давлением и крепь очистных выработок

Крепь очистных выработок — это искусственное сооружение, возводимое для предотвращения обрушения пород кровли, сохранения необходимой площади поперечного сечения призабойного пространства и управления горным давлением.

Крепь должна удовлетворять следующим требованиям: она должна быть прочной и устойчивой; обладать податливостью; иметь минимальный вес; обеспечивать механизацию установки и передвижки; иметь необходимую площадь призабойного пространства для пропуска достаточного количества воздуха; не мешать выполнению других производственных процессов; должна быть недорогой, надежной и долговечной.

Прочность крепи — способность ее сопротивляться горному давлению, не разрушаясь и не получая остаточных деформаций.

Рабочее сопротивление — сопротивление нагрузке, являющейся безопасной в отношении деформации крепи, составляет до 70 % разрушающей нагрузки.

Начальное сопротивление — сопротивление, развиваемое крепью при ее установке или распоре (для гидравлических крепей).

Устойчивость крепи — способность ее сохранять первоначальное положение под влиянием горного давления.

Жесткость крепи — способность ее сопротивляться образованию деформаций. Различают *жесткие* и *податливые* крепи. Под действием горного давления жест-кая крепь испытывает упругие деформации. В отличие от нее податливая крепь под действием нагрузки способна изменять свои линейные размеры по высоте, не меняя несущей способности. Это изменение размеров крепи заложено в ее конструкцию.

Все известные крепи очистных выработок могут быть разделены на три класса: *индивидуальные, комплектные* и *передвижные.*

Под *индивидуальной крепью* понимают крепь очист-ных выработок, состоящую из отдельных, не связанных между собой конструктивно элементов, устанавливаемых вручную вслед за подвиганием забоя. Индивидуальная крепь подразделяется на призабойную и специальную (посадочную).

Призабойная крепь устанавливается вслед за подвиганием забоя и служит для поддержания непосредст-венной кровли в рабочем пространстве очистной выработки, примыкающем к забою. Это пространство называется призабойным.

Специальная, или посадочная, крепь устанавливается на границе с погашаемым выработанным пространством и выполняет роль режущей опоры при управлении кровлей методом полного обрушения.

Комплектные крепи — это передвижные крепи, отдельные комплекты которых не связаны между собой по длине лавы. Эти крепи не получили распространения.

В настоящее время широко применяются *передвижные крепи*, в которых процесс установки и перемещения происходит непрерывно. К ним относятся гидрофицированные крепи механизированных комплексов, щитовые перекрытия различных конструкций и другие виды крепей.

Обеспечение безопасных условий труда в очистном забое в призабойной зоне достигается возведением крепи различной конструкции, исключающей обрушение пород непосредственной кровли. Однако по мере выемки угля обнажение кровли увеличивается, она деформируется, растрескивается, в конечном итоге приходит в предельное состояние, когда установленная крепь не может выдержать возникающих нагрузок. Крепь деформируется, кровля обрушается. Чтобы этого не произошло, необходимо управлять горным давлением. Это один из важнейших (в прошлом — один из трудоемких и небезопасных) процессов очистной выемки.

Управлением горным давлением называют комплекс мероприятий по регулированию проявлений горного давления в очистном забое с целью обеспечения безопасных и необходимых производственных условий. Такими мероприятиями являются выбор конст-рукции крепи, способа крепления и предупреждение массовых обрушений боковых пород. Применительно к пологим и наклонным пластам пользуются термином *управление кровлей*, т. к. в этих условиях в комплекс мероприятий входит предотвращение преждевременных обрушений кровли. На крутом же падении необходимо управлять и породами почвы, склонными в некоторых случаях к сползанию.

Все существующие способы управления кровлей можно разделить на три группы:

— естественное поддержание выработанного пространства оставляемого целиками угля;

— обрушение пород кровли за пределами призабойного пространства;

— искусственное поддержание кровли в выработанном пространстве посредством заполнения его пустыми породами.

6.1.12. Технология и организация очистных работ

Современная технология добычи угля основана на применении различных выемочных машин. При механизированной выемке угля в длинных очистных забоях различают технологические схемы с применением индивидуальных и механизированных крепей. Последние являются составной частью механизированных комплексов и агрегатов.

Очистным механизированным комплексом называют сочетание механизированной крепи, очистного комбайна и забойного конвейера, увязанных между собой технологически. Кинематические связи между отдельными видами оборудования необязательны, хотя и они могут быть. У механизированного комплекса возможна замена одного типа оборудования другим.

Очистной агрегат представляет собой сочетание механизированной крепи, струга и забойного конвейера, связанных между собой не только технологически, но и кинематически. Наличие кинематической связи исключает замену одного типа оборудования другим. Очистные агрегаты являются совершенными средствами комплексной механизации очистных работ. Они позволяют осуществить комплексную автоматизацию технологического процесса очистной выемки.

В очистных забоях, оборудованных современными комбайнами с индивидуальной крепью, выполняются следующие процессы: выемка угля комбайном; возведение призабойной крепи вслед за выемкой; передвижка (переноска) забойного конвейера; возведение посадочной крепи и управление кровлей, выемка ниш (при отсутствии самозарубки комбайна в пласт). Такая технология многооперационна, отличается значительным объемом ручных работ по креплению очистного забоя и управлению кровлей.

При комплексно-механизированной выемке достигается высокий уровень механизации рабочих процессов в очистном забое: отбойка угля исполнительным органом комбайна, погрузка его на забойный конвейер и транспортирование до штрекового перегружателя или конвейера, передвижка конвейера, передвижка секций крепи (крепление и управление кровлей), концевые операции.

Технологические схемы работы механизированных комплексов с крепями различных типов практически одинаковы и отличаются незначительными деталями. Например, очистной механизированный комплекс А-2К (рис. 6.26, см. вкл.) состоит из механизированной крепи, включающей первую и концевую секции, очистного комбайна, забойного конвейера и пульта управления.

Выемка угля может быть челноковая или односторонняя. В исходном положении конвейер придвинут к забою, комбайн зарубился в пласт или исполнительный орган заведен в нишу. По мере обнажения кровли при выемке угля осуществляется передвижка секций крепи последовательно или через одну при наличии неустойчивых пород. Затем с отставанием от комбайна на 8 — 12 м продвигается волной к забою забойный конвейер. После того как крепь и конвейер передвинуты к забою по всей длине, осуществляют самозарубку комбайна в пласт.

На современных шахтах в очистных забоях применяются цикличная и поточная организация труда. *Цикл в очистном забое* представляет собой совокупность процессов и операций, выполняемых в определенной последовательности с целью выемки угля по всей длине забоя на установленную паспортом величину его подвигания. Для цикличной организации труда характерны технологические перерывы во время выемки угля и выполнение ремонтно-подготовительных работ. В отличие от цикличной при *поточной организации труда* все процессы совмещены во времени. Ее особенностью является непрерывная выдача угля в течение всего рабочего времени. Поточная организация угля возможна при комплексной механизации очистных работ.

6.1.13. Системы разработки угольных пластов и их классификация

Система разработки — определенный порядок ведения подготовительных и очистных работ в пределах разрабатываемой части пласта, увязанный в пространстве и времени. Этими частями могут быть этаж (подэтаж), панель, ярус (подъярус).

Рациональная система разработки пласта должна удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать безопасность ведения горных работ; обусловливать высокий уровень технико-экономических показателей; иметь минимальные потери. Под технико-экономиче-скими показателями понимают наибольший уровень производительности труда и минимальную себестоимость добычи полезного ископаемого.

На выбор системы разработки оказывают влияние различные факторы. Основными из них являются: форма залегания, строение, мощность и угол падения пласта; свойства угля и вмещающих пород; газоносность и обводненность месторождения; склонность угля к самовозгоранию; склонность угольных пластов к

горным ударам, внезапным выбросам угля и газа; глубина горных работ; средства механизации подготовительных и очистных работ.

Наибольшее влияние на выбор системы разработки оказывают мощность и угол падения пласта. От мощности пласта зависит решение таких вопросов, как способ проведения и поддержания горных выработок, выбор технологии очистных работ, возможность разработки пласта на полную мощность или необходимость деления его на слои, крепление очистной выработки и управление горным давлением. Выбор средств механизации очистных работ, крепления и управления кровлей во многом зависит и от угла падения пласта. Этот фактор является решающим при выборе средств доставки угля в забое при его расположении по падению пласта. Его также учитывают при выборе формы и длины очистного забоя.

Свойства вмещающих пород являются решающим фактором при выборе способа управления горным давлением (управления кровлей), а также поддержанием выемочных выработок и их расположения. Они оказывают существенное влияние на выбор средств механизации очистных работ.

Такой фактор, как склонность угля к самовозгоранию, обусловливает необходимость принятия таких решений, которые обеспечивали бы резкое снижение потерь угля. На удароопасных пластах необходимо избегать таких ситуаций, когда в угольных целиках и краевых зонах проявляется повышенная концентрация напряжений.

Перечисленные факторы, как правило, оказывают комплексное влияние на выбор систем разработки и их параметров.

Разнообразие горно-геологических условий залегания угольных пластов предопределяет применение различных систем разработки и их вариантов. Системы разработки пластовых месторождений можно представить в виде следующей классификации.

1. Системы разработки с выемкой пласта на полную мощность.

1.1. С длинными очистными забоями (сплошные, столбовые, комбинированные).

1.2. С короткими очистными забоями (столбовые, камерные, камерно-столбовые, подэтажные штреки, полосы и заходки).

2. С разделением пласта на слои (наклонные, горизонтальные и поперечно-наклонные).

Системы разработки с выемкой пласта на полную мощность характеризуются относительной простотой, т. к. все подготовительные выработки располагаются в плоскости пласта. Системы разработки с разделением пласта на слои конструктивно более сложны и многообразны. Около 75 % подземной добычи угля дают столбовые системы разработки с длинными очистными забоями.

Сплошная система разработки характеризуется одновременным ведением подготовительных и очистных работ в выемочном поле. Забои откаточного (конвейерного) и вентиляционного штреков, формирующих выемочное поле, движутся в том же направлении, что и очистной забой.

В зависимости от наклонной высоты этажа (яруса) в нем может размещаться один или два-три очистных забоя. Если в пределах этажа (яруса) размещается очист-ной забой, то такой вариант сплошной системы разработки называется лава — этаж (лава — ярус). Если возникает необходимость размещения в этаже по падению двух-трех очистных забоев, то этаж делят на подэтажи. В связи с изложенным и с учетом угла падения пластов существуют различные варианты сплошной системы разработки: на пологих и наклонных пластах — лава — этаж или с разделением этажа ни подэтажи при этажной подготовке, лава — ярус — при панельной подготовке; на крутонаклонных и крутых пластах — лава — этаж

или с разделением этажа на подэтажи с прямолинейной или потолкоуступной формой забоя.

Достоинствами сплошной системы разработки являются быстрый ввод в эксплуатацию очистных забоев и возможность размещения в шахте пустой породы, получаемой при проведении подготовительных выработок. Основные недостатки: сложность совмещения подготовительных и очистных работ в одном выемочном поле; большие затраты на поддержание подготовительных выработок; отсутствие доразведки условий залегания угольного пласта; утечки воздуха через выработанное пространство.

Столбовая система разработки — это такая система, при которой часть пласта в пределах этажа или яруса до начала очистных работ оконтуривается подготовительными выработками, в результате чего образуются столбы. В зависимости от ориентировки столба относительно элементов залегания пласта различают длинные столбы по простиранию, длинные столбы по падению (восстанию), диагональные столбы (рис. 6.27, 6.28, см. вкл.). Наиболее распространенными являются разновидности системы разработки длинными столбами по простиранию: на пологих и наклонных пластах — лава — этаж или с разделением этажа на подэтажи при этажной подготовке, лава — ярус — при панельной подготовке; на крутонаклонных и крутых пластах — лава — этаж или с разделением этажа на подэтажи.

Наиболее распространенными разновидностями столбовой системы разработки являются *длинные столбы по простиранию* при панельной подготовке (вариант лава — ярус) и с разделением этажа на подэтажи.

На пологих пластах средней мощности широко применяют систему разработки длинными столбами по простиранию при панельной подготовке.

Система разработки длинными столбами по простиранию характеризуется многообразием применяемых вариантов. Иногда применяют такие разновидности, у которых просматриваются признаки сплошных и столбовых систем разработки. Это комбинированные системы разработки. Систему разработки длинными столбами по простиранию применяют при любых углах падения на пластах средней мощности, а на пологих пластах при комплексно-механизированной выемке — до 5 — 6 м. Ее преимущество состоит в том, что снижаются затраты на поддержание подготовительных выработок, обеспечиваются доразведка условий залегания угольного пласта и независимое ведение подготовительных и очистных работ. Недостатки: более поздний срок ввода в эксплуатацию выемочных полей и более сложная схема проветривания.

Разновидностью столбовой системы является щитовая система разработки, применяемая преимущественно на мощных крутых пластах (рис. 6.29, см. вкл.). Она представляет собой систему длинных столбов по простиранию с выемкой пласта на полную мощность полосами по падению под перекрытием специальной щитовой крепи конструкции Н.А. Чинакала.

Достоинствами щитовой системы разработки являются: отсутствие в технологическом цикле работ по креплению забоя и управлению кровлей, использования крутого падения для доставки угля, сравнительно высокие технико-экономические показатели. Недостатки: значительные эксплуатационные потери, достигающие 25 — 30 %; большой объем подготовительно-нарезных работ (40 — 45 м на 1000 т добычи), необходимость выдержанных элементов залегания пласта, забучивание печей, высокая пожароопасность.

Мощные угольные пласты в некоторых горно-геологических условиях не представляется возможным отрабатывать на полную мощность. Их отработку осуществляют отдельными частями — слоями. *Слой* — ограниченная двумя па-

раллельными плоскостями часть мощного угольного пласта, отрабатываемая как пласт средней мощности.

Условные плоскости, разделяющие пласт на слои, могут располагаться параллельно кровле и почве, горизонтально или наклонно к плоскости напластования. В зависимости от этого различают деление мощных пластов на *наклонные, горизонтальные и поперечно-наклонные слои* (рис. 6.30).

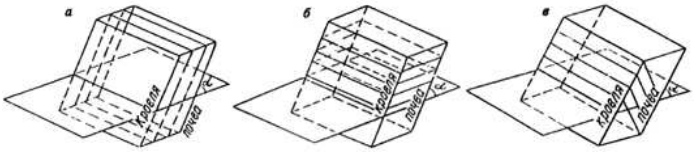


Рис. 6.30. Схемы деления мощного пласта на наклонные (а), горизонтальные (б) и поперечно-наклонные (в) слои

Слоевая система разработки — эта такая система, при которой выемка пласта производится путем последовательной или параллельной отработки слоев различного направления.

Выбор порядка отработки слоев зависит от свойств угля и вмещающих пород, метаноносности пласта и способа управления кровлей. При управлении кровлей полным обрушением применяется нисходящий порядок выемки слоев. Восходящий порядок возможен только при применении полной закладки выработанного пространства. При комбинированном порядке выемки слоев применяют полное обрушение и закладку.

Особенность этой системы разработки заключается в том, что в слоях заблаговременно слоевые штреки по углю не поводят, а сооружают их в закладываемом пространстве, что обусловливает снижение удельного объема проведения подготовительных выработок.

6.2. РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Горные породы, окружающие месторождение или включенные в него, совсем не содержащие металла (полезного минерала) или содержащие, но в количестве, недостаточном для промышленной переработки, называют пустой породой.

Граница между рудными и нерудными ископаемыми условна. Многие полезные ископаемые, которые раньше использовались сразу же после добычи, в настоящее время подвергаются комплексной переработке для извлечения их них всех полезных компонентов. Иногда полезное ископаемое, например известняк, не подвергают переработке, иногда его используют как химическое сырье. Поэтому сейчас термин «руда» теряет свое первоначальное значение. Его применяют также и ко многим нерудным полезным ископаемым. В этом смысле понятием «руда» мы будем пользоваться дальше.

На выбор системы и технологии разработки из признаков, характеризующих месторождение, наибольшее влияние оказывают его форма (морфология), размеры и условия залегания.

По форме рудные тела можно подразделить на три группы:

— изометрические, т. е. одинаково развитые во всех трех направлениях в пространстве;

— столбообразные, т. е. вытянутые в одном направлении;

— жильного типа — вытянутые в двух направлениях.

К первому типу рудных тел изометрической формы относятся штоки и гнезда. Часто они имеют неправильную форму, но все три измерения в пространстве более или менее равны между собой. Штоки отличаются от гнезд большими размерами, измеряемыми десятками и сотнями метров. Типичным гнездообразным месторождением является ртутное месторождение Хайдаркан (Средняя Азия).

Столбообразную форму имеют многие коренные месторождения алмазов. В Южной Африке алмазные трубки в глубину распространяются на несколько километров при поперечных размерах, измеряемых сот-нями метров. В Криворожском бассейне к столбообразным относят рудные тела с длиной, превышающей мощность более чем в шесть раз.

Чечевицы и линзы представляют собой переходные формы от первой к третьей группе. Типичным представителем этого типа рудных тел являются уральские медно-колчеданные месторождения. Линзообразное месторождение медного колчедана Рио-Тинто (Испания) состоит из линз протяженностью от 300 до 1700 м и мощностью до 100 — 250 м.

Рудные тела третьей группы — пластовые и жильные — ограничены более или менее параллельными плоскостями (поверхностями) и имеют мощность, изменяющуюся в относительно небольших пределах. Жилы часто имеют неправильную форму и непостоянную мощность.

Рудные залежи этой же группы, отличающиеся от пластов менее выдержанной формой и мощностью, называют пластообразными.

Встречаются и более сложные формы рудных тел — седловидные, куполообразные и др.

В большинстве случаев месторождение бывает представлено не одним, а несколькими рудными телами. Эти совместно залегающие рудные тела бывают отделены одно от другого пустой породой; иногда они пересекаются, соединяются вместе и снова разделяются. При этом одно рудное тело является основным, а остальные — его ответвлениями.

Месторождения нередко нарушаются сбросами, сдвигами, бывают изогнуты, перемяты, раздроблены, в результате чего разработка их усложняется.

Чем неправильнее залежь по форме, чем больше тектонических нарушений она имеет, тем сложнее ее разработка, тем с большими потерями руды она происходит.

Кроме формы месторождения важным признаком является характер его контакта с вмещающими породами. Контакт в одних случаях бывает выражен резко, и рудное тело отчетливо отделяется от вмещающих пород. В других случаях переход от руды к пустой породе происходит постепенно, и границы промышленного оруденения можно установить только путем опробования. Разработка месторождений с отчетливыми контактами обычно проще. Иногда наличие оруденения во вмещающих породах, наоборот, благоприятно сказывается на разработке, т. к. руда при отбойке засоряется не пустыми, а рудоносными породами.

В зависимости от характера распределения рудных минералов различают: сплошные руды, состоящие из рудных минералов, смешанных с некоторым количеством породы, и имеющие обычно резкие границы с вмещающими породами; вкрапленные руды представляют собой относительно редкие вкрапления рудных минералов в рудной породе, как правило, имеющие отчетливые границы с вмещающими породами. На многих месторождениях встречаются оба типа руд; обычно в средней части рудного тела руды сплошные, а на периферии — вкрапленные. На Лениногорских свинцово-цинковых рудниках сплошные сульфидные руды по мере приближения к контакту лежачего бока постепенно беднеют и переходят в роговиковые вкрапленные руды. На Дегтярском медном месторожде-

нии сплошные медно-колчеданные или пиритные руды местами переходят в свинцовые вкрапленные руды. Некоторые залежи Кривбасса в центральной своей части или с одной стороны представлены сплошными богатыми рудами, которые постепенно в направлении лежачего бока замещаются вкрапленными рудами и затем слабо ожелезненными боковыми породами.

Одним из основных факторов, определяющих выбор системы, является угол падения. По углу падения месторождения делят на горизонтальные и пологопадающие с углом падения от 0 до 25°; наклонные с углом падения от 25 до 45° и крутопадающие с углом падения более 45°. Это деление связано с существенным изменением условий разработки и применением при разных углах падения различных способов очистной выемки и доставки руды.

Мощность рудного тела измеряют как расстояние между висячим и лежачим боками месторождения. Если это расстояние измеряют по нормали, то мощность называют истинной, если же ее измеряют по вертикали или горизонтали, то мощность соответственно называют вертикальной и горизонтальной. Вертикальной мощностью пользуются для пологопадающих рудных тел, горизонтальной — для крутопадающих.

В штокообразном месторождении мощностью считается меньший из его горизонтальных размеров. Больший горизонтальный размер называют длиной штока. Иногда мощностью штока считают его вертикальный размер, а горизонтальную мощность называют шириной. Последнее целесообразно, когда шток (массив) имеет значительные размеры по горизонтали и относительно небольшие по вертикали.

Мощность рудных тел может изменяться по простиранию и с глубиной постепенно или резко, закономерно или случайно. Непостоянство мощности характерно для рудных месторождений. Резкие изменения мощности затрудняют разработку.

Для месторождений с непостоянной мощностью рудных тел указывают крайние пределы ее колебаний, а также среднюю мощность по отдельным участкам месторождения.

По мощности рудные тела можно делить на пять групп.

Весьма тонкие, мощностью менее 0,6 м, при разработке которых очистная выемка сопровождается подрывкой вмещающих пород. Правилами безопасности допускается минимальная ширина очистного пространства 0,6 м, а высота (при пологом залегании рудных тел) 0,8 м.

Тонкие — мощностью от 0,6 до 2 м, при разработке которых очистную выемку можно вести без подрывки вмещающих пород, но проведение горизонтальных подготовительных выработок в большинстве случаев требует их подрывки.

Средней мощности — от 2 до 5 м. Верхняя граница мощности соответствует предельной длине простейшего вида крепи при очистной выемке — распорок, стоек. Разработка месторождений средней мощности может производиться без подрывки вмещающих пород как при очистной выемке, так и при проведении подготовительных выработок.

Мощные — от 5 до 20 м, очистная выемка в которых при крутом падении может производиться по простиранию на всю мощность.

Весьма мощные — более 20 – 25 м. Очистную выемку в этих рудных телах ведут обычно вкрест простирания.

Глубина залегания месторождения также в значительной степени определяет выбор способа разработки. Глубину залегания указывают от поверхности по вертикали до верхней и нижней границ месторождения. Расстояние между нижней и верхней границами месторождения по вертикали или по наклону пласта определяет глубину его распространения. Глубокозалегающими считаются месторожде-

ния с глубиной залегания более 800 м. На этой глубине начинаются своеобразные проявления горного давления, выражающиеся в стрелянии пород и горных ударах.

Рудной площадью месторождения называют площадь его горизонтального сечения.

Глубина залегания и распространения месторождения, рудная площадь, длина по простиранию, так же как и угол падения, на различных участках месторождения могут быть различными. Поэтому нередко на отдельных участках одного и того же месторождения применяют разные системы разработки.

Из всех физико-механических свойств руд и вмещающих пород наибольшее влияние на выбор системы разработки и технологию добычи оказывают крепость и устойчивость.

Крепость горных пород, определяемая совокупностью многих их физико-механических свойств (твердостью, вязкостью, трещиноватостью, слоистостью, наличием инородных включений и прослоев), влияет на выбор системы разработки, машин и инструментов, применяемых при добыче, на производительность горных машин и производительность труда горнорабочих, на расход материалов и стоимости добычи.

Впервые классификация горных пород по «коэффициенту крепости» создана известным русским ученым проф. М.М. Протодьяконовым (старшим). Она до сих пор пользуется большим распространением в отечественной практике и литературе.

Показатели устойчивости горных пород, которые позволяли бы определять величину допускаемого обнажения, пока не установлены. Поэтому при выборе системы разработки, способа поддержания выработанного пространства и площади допускаемого обнажения пользуются приближенными характеристиками пород по их устойчивости.

По устойчивости руды и вмещающие породы можно разделить на следующие пять групп.

1. Очень неустойчивые — совсем не допускают обнажения кровли и боков выработки без крепления и, как правило, требуют применения опережающей крепи. При разработке рудных месторождений такие породы (плывуны, сыпучие и рыхлые породы, насыщенные водой) встречаются очень редко.

2. Неустойчивые — допускают небольшое обнажение кровли, но требуют прочного поддержания ее вслед за выемкой.

3. Средней устойчивости — допускают обнажение кровли на сравнительно большой площади, но при длительном обнажении требуют поддержания.

4. Устойчивые — допускают очень значительное обнажение кровли и боков и нуждаются в поддержании только в отдельных местах.

5. Очень устойчивые — допускают огромное обнажение как снизу, так и с боков и длительное время могут стоять, не обрушаясь, без поддержания. Породы этой группы встречаются реже, чем двух предыдущих групп. Породы 3-й и 4-й групп при разработке рудных месторождений встречаются наиболее часто.

Кусковатость отбитой руды (крупность кусков, получающихся при отбойке) характеризуется ее гранулометрическим составом, т. е. количественным соотношением кусков различных размеров в общей массе отбитой руды. Крупность кусков, имеющих неправильную форму, принято выражать средним размером по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Существуют различные градации кусковатости. Наиболее проста и удобна следующая градация.

Рудная мелочь — от рудной пыли до кусков с поперечными размерами 100 мм. При разработке жильных месторождений иногда производят сортировку руды,

выборку из нее пустой породы, в этом случае выделяют особую градацию — несортируемая мелочь с размерами кусков менее 50 мм.

Руда средней крупности — от 100 до 300 мм.

Руда крупнокусковатая — от 300 до 600 мм.

Руда очень крупнокусковая — более 600 мм.

Кусковатость руды при отбойке зависит, с одной стороны, от физико-механических свойств руды в массиве, в частности от ее строения, а с другой — от применяемого способа отбойки, диаметра взрывных шпуров и скважин, их расположения, типа взрывчатого вещества, способа взрывания и др.

Кондиционным куском руды называют кусок с максимально допустимым размером, который можно выдавать из добытого блока для погрузки в откаточные сосуды. При подземной разработке рудных месторождений он колеблется в среднем от 300 до 600 мм и иногда достигает 1000 мм.

Размер кондиционного куска оказывает большое влияние на выбор оборудования для всех производственных процессов добычи, доставки, погрузки, транспортирования.

Куски руды, превышающие кондиционные размеры, принято называть негабаритом.

Весовое количество негабаритных кусков в общей массе отбитой руды, выраженное в процентах, называют выходом негабарита.

Рудные месторождения по сравнению с угольными имеют целый ряд особенностей, вытекающих из их геологического происхождения. Они существенно влияют на содержание и технологические решения при разработке рудного месторождения.

Основными особенностями являются:

— высокая крепость и абразивность руд, большинст-во из которых имеет коэффициент крепости 8 — 12, а более крепкие — 15 — 20. Это обусловливает необходимость применения на подземных работах в большинстве случаев взрывной отбойки, связанной с бурением и заряжанием шпуров и скважин;

— разнообразие размеров и изменчивость элементов залегания рудных тел, что существенно влияет на принятие технологических решений, схем вскрытия и подготовки, а также на выбор систем разработки;

— изменчивость содержания полезных компонентов и минералогического состава руд по объему залежи, что вызывает необходимость усреднения качества рудной массы, поступающей из различных блоков;

— меньшая разрушаемость отбитой руды при самотечном перемещении ее по рудоспускам протяженностью до 100 м и более. Это оказывает влияние на особенности вскрытия месторождений и подготовки блоков;

— меньшая достоверность информации о горно-геологических условиях и протекании технологических процессов, что затрудняет оперативный контроль их выполнения;

— широкий диапазон устойчивости руд и вмещающих пород, что предопределяет многообразие технологических решений;

— способность некоторых руд к слеживаемости и самовозгоранию, что ограничивает возможности применения систем разработки с магазинированием отбитой руды;

— высокая ценность большинства руд, что обусловливает более жесткие требования к полноте и качеству извлечения полезного ископаемого;

— отсутствие на большинстве рудников метановыделения, допускающее в подземных условиях применение открытого огня и аппаратуры в нормальном исполнении.

6.2.1. Стадии разработки рудных месторождений

Вскрытие состоит в проведении горных выработок, открывающих доступ к месторождению или его части с земной поверхности.

Подготовка (или подготовительные работы) — это проведение горных выработок — штреков, восстающих, ортов и др., которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обособленные выемочные участки — этажи, блоки, панели, столбы.

Выемочный участок, в свою очередь, делится подготовительными и нарезными выработками на отдель-ные части: подэтажи, слои, полосы, прирезки, уступы, камеры, междуэтажные, междукамерные, междупанельные целики и др.

Очистная выемка — это технологический процесс извлечения руды из выемочного участка и поддержание образующихся при этом очистных выработок и очистного пространства. Очистное пространство может в процессе очистной выемки оставаться открытым, т. е. свободным, заполняться отбитой рудой, закладкой или обрушенными породами, либо поддерживаться крепью.

Планомерная и эффективная разработка месторождения возможна при условии строгой увязки во времени и пространстве вскрытия, подготовки и очистной выемки и при обеспеченности рудника (шахты) достаточными запасами вскрытого подготовленного и готового к выемке полезного ископаемого.

Вскрытыми называют запасы руды в разрабатываемом месторождении или его части, находящиеся выше горизонта подсечения их вскрывающими выработками (шахтным стволом, квершлагами, штольнями).

Подготовленными называют запасы руды выемочных участков, в которых полностью пройдены подготовительные выработки, предусмотренные принятой системой разработки.

Готовыми к выемке называют запасы руды подготовленных выемочных участков, в которых полностью пройдены нарезные выработки, необходимые для производства очистной выемки.

Наличие достаточного количества вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов руды обязательно для того, чтобы:

— по мере отработки одних выемочных участков месторождения своевременно и планомерно развивать добычу руды на других участках в количестве и с качест-вом, установленными проектом;

— иметь резервные выемочные участки на случай временного прекращения работ по вскрытию и подготовке или необходимости увеличения размера добычи сверх установленного ланом;

— иметь запас времени для эксплуатационной разведки и дренажа частей месторождения, вводимых в эксплуатацию.

6.2.2. Особенности вскрытия рудных месторождений

Главными вскрывающими выработками являются шахтный ствол и штольня.

Кроме главных выработок для вскрытия используются: вспомогательные стволы, служащие для вентиляции и дополнительного выхода на поверхность; квершлаги, соединяющие главный и вспомогательные стволы с месторождением. Кроме того, для вскрытия нижележащих горизонтов и отдельных участков рудного тела проходят: слепые стволы, капитальные восстающие и уклоны.

Главные вскрывающие выработки служат для транспортирования полезного ископаемого на поверхность, для вентиляции, передвижения людей, доставки материалов, оборудования и других целей.

Ввиду ответственного назначения выработок вскрытия и большого срока службы очень важен правильный выбор их формы, размеров сечения и способа крепления.

При выборе формы сечения и способа крепления необходимо исходить из минимальных затрат по проведению и креплению выработки и расходов по ремонту ее крепи за все время существования.

Размеры выработки должны быть достаточными для нормальной работы транспорта, безопасными и удобными для передвижения людей, доставки материалов и оборудования, а также обеспечивать прохождение необходимого количества воздуха.

Штольни могут быть сводообразной, трапециевидной, реже прямоугольной формы и проводятся с уклоном 0,001 — 0,008 в сторону устья. Длина штолен достигает нескольких километров. Например, длина Мизурской штольни на Садонском руднике больше 4 км; медное месторождение рудника «Нейшенл таннел» (США) вскрыто штольней длиной 7300 м.

Штольня, как вскрывающая выработка, имеет ряд преимуществ по сравнению с шахтным стволом. Стоимость проходки и крепления 1 м штольни обходится в 5 — 7 раз (в зависимости от притока воды) дешевле, а скорость проходки в 3 — 5 раз выше. Транспортирование руды намного дешевле и от добычных блоков до обогатительной фабрики может осуществляться без перегрузки руды. Передвижение людей и грузов без-опаснее. Стоимость водоотлива значительно ниже, т. к. движение воды происходит самотеком и водоотливных установок не требуется. Стоимость поверхностных сооружений у устья штольни значительно ниже, т. к. не требуется сооружения копра, надшахтного здания и подъемной машины. Ремонт крепи штольни проще.

Шахтные стволы имеют прямоугольную и круглую форму сечения, редко эллиптическую. На большинстве новых рудников предпочитают проходить стволы круглой формы. Размер сечения ствола зависит от его назначения. Капитальные стволы служат одновременно для подъема руды и породы, подъема и спуска людей, спуска крепежных материалов, вентиляции. В них же размещают водоотливные и воздушные трубы, а также силовые кабели.

Главные вскрывающие выработки могут проходить: по месторождению; по пустым породам со стороны лежачего либо висячего бока или с флангов; по пустым породам и руде, пересекая рудное тело.

По роду применяемых главных выработок можно выделить следующие способы вскрытия: штольней; вертикальным стволом; наклонным стволом и комбинированным способом.

Первые три способа можно объединить в группу простых способов вскрытия:

Простые способы. Вскрытие вертикальным шахтным стволом (по месторождению, по лежачему боку, по висячему боку и по флангам); вскрытие наклонным шахтным стволом (по месторождению, по лежачему боку и по флангам); вскрытие штольней (по месторождению, по лежачему боку, по висячему боку).

Комбинированные способы. Вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в вертикальный слепой ствол; вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонный шахтный ствол; наклонный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонные слепые стволы; штольня с переходом в вертикальные слепые стволы; штольня с переходом в наклонные слепые стволы.

Вспомогательные стволы служат в основном для вентиляции и как дополнительный выход на поверхность, что диктуется условиями безопасности. Кроме того, их используют иногда для спуска и подъема людей, материалов, оборудования, для подъема пустых пород (или руды), для ускорения подготовки шахтного поля и этажей.

Взаимное расположение главных и вспомогательных стволов определяется принятой схемой проветривания.

При центральной схеме проветривания как главный, так и вспомогательный стволы располагаются в центре шахтного поля или вблизи центра на расстоянии не менее 30 м один от другого (рис. 6.31, см. вкл.)

При диагональной схеме проветривания главный ствол располагается в центре шахтного поля, а вспомогательные стволы — на флангах. Особое место занимает вариант диагональной схемы проветривания, когда главный и вспомогательный стволы располагаются на разных флангах. Центральное расположение главных и вспомогательных выработок имеет ряд существенных достоинств: минимальное число вспомогательных стволов, поверхностных сооружений; возможность оставления у обоих стволов, если они заложены в висячем боку, общего охранного целика; легкость соединения главного и вспомогательного стволов, позволяющая ускорить начало очистных работ.

Вместе с этим центральное расположение имеет и много недостатков. Главные из них: удлиняется путь вентиляционной струи, в результате чего депрессия вентилятора возрастает на 30 – 40 % по сравнению с диагональным расположением, при наступающей выемке возможны утечки воздуха через выработанное пространство («короткие токи»); сложнее условия выхода людей на поверхность в случае аварии. Центральное расположение стволов при вскрытии рудных месторождений применяется значительно реже, чем диагональное.

Вместо вспомогательного ствола на одном из флангов в неглубоких рудниках малой производительности иногда проходят вентиляционный шурф, оборудованный лестничным ходом.

При разработке тонких жил на небольшой глубине вентиляционные шурфы располагают в нескольких местах по простиранию жилы и соединяют их с верхним этажным штреком. Нижние этажи проветривают через восстающие.

При значительной производственной мощности шахты или наличии в шахтном поле нескольких рудных тел иногда проходят несколько вспомогательных стволов различного назначения: для спуска и подъема людей, спуска закладки и выдачи пустой породы из подготовительных выработок, спуска материалов.

Большая длина шахтного поля на очень крупных шахтах вызывает необходимость разделения каждого из крыльев шахтного поля для проветривания на две секции.

При таком секционном проветривании вспомогательные стволы закладывают на флангах поля и в промежутках между флангами и главными стволами.

6.2.3. Штольневое вскрытие

Вскрытие штольней имеет ряд серьезных достоинств перед другими способами вскрытия, поэтому, когда позволяет рельеф местности и условия залегания месторождения, этому способу вскрытия отдают предпочтение.

Относительно рудного тела штольню располагают по простиранию, вкрест простирания или по диагонали к линии простирания.

При вскрытии маломощных месторождений по простиранию штольню проводят по руде; в мощных месторождениях штольню обычно располагают параллельно рудному телу по пустым породам и проводят от нее до месторождения квершлаги (или орты-заезды).

Расположение штольни в висячем или лежачем боку месторождения при вскрытии вкрест простирания определяется положением рудного тела относительно склона горы.

Как правило, месторождение выше уровня штольни отрабатывают несколькими этажами, поэтому возможны два варианта вскрытия.

В первом случае каждый этаж вскрывают самостоя-тельными штольнями (рис. 6.32, см. вкл.), которые служат для проветривания, доставки материалов, выдачи пустой породы, передвижения рабочих. Руду с верхних этажей перепускают до нижней (капитальной) штольни по рудоспускам. Во втором случае проходят только одну нижнюю штольню. Этот вариант применяется, когда по условиям залегания рудного тела на каждом этаже пришлось бы проводить очень длинные штольни по пустым породам. Вышележащие этажи над штольней вскрывают капитальным восстающим или слепым стволом с вентиляционным и ходовым отделениями, а также клетевым подъемом для доставки людей, материалов и оборудования. Для перепуска руды обычно устраивают несколько рудоспусков.

Устья штолен необходимо располагать в местах, не подверженных затоплению весенними и ливневыми водами. Размеры площадки перед устьем штольни должны обеспечивать размещение необходимых поверхностных сооружений; к площадке должны быть удобные подъездные пути. Последнее условие в гори-стой местности не всегда удается выполнить, и часто руду транспортируют от штольни по канатным дорогам или конвейерами.

6.2.4. Вскрытие вертикальными стволами

При вскрытии крутопадающего месторождения вертикальным шахтным стволом главный ствол, как и вспомогательные фланговые стволы, располагается за зоной сдвижения горных пород (рис. 6.33, 6.34, см. вкл.). На каждом горизонте от главного ствола до месторождения проходят квершлаги, а вдоль рудного тела до вспомогательных стволов — штреки.

Этот способ вскрытия является самым распространенным в горнорудной промышленности. Большинство железорудных месторождений Криворожья, Урала, месторождений руд цветных и редких металлов вскрыто вертикальными стволами, пройденными в лежачем боку.

Вскрытие вертикальным стволом, пройденным в висячем боку, применяется значительно реже, т. к. при этом суммарная длина квершлагов по сравнению со вскрытием со стороны лежачего бока больше. Кроме того, наиболее длинными оказываются верхние квершлаги; это увеличивает первоначальные капитальные затраты и продолжительность вскрытия. Его применяют поэтому только в особых случаях, когда породы лежачего бока сильно водоносны или неустойчивы, когда заложение ствола в лежачем боку невозможно или невыгодно по условиям рельефа или застроенности поверхности.

Например, при вскрытии Кусинского месторождения титаномагнетитовых руд ствол был заложен в висячем боку вследствие наличия в породах лежачего бока водонасыщенных карстовых известняков.

6.2.5. Вскрытие наклонными стволами

При вскрытии месторождения наклонным стволом, пройденным в породах лежачего бока, параллельно месторождению от ствола шахты до рудного тела проходят квершлаги, длина которых, особенно на нижних горизонтах, значительно меньше, чем при вскрытии вертикальным стволом. Разница в длине квершлагов тем ощутимее, чем меньше угол падения рудного тела. Вспомогательные стволы на флангах месторождения в этом случае могут быть наклонными или вертикальными.

Вскрытие наклонными стволами в лежачем боку получило широкое распространение на Североуральских бокситовых рудниках.

При вскрытии наклонным стволом, пройденным по месторождению, квершлаги отсутствуют, и стоимость проходки ствола частично окупается попутно добываемой рудой. Однако кроме недостатков, присущих любому наклонному стволу, в этом случае возникает необходимость оставления охранного целика с обеих сторон от ствола. Ширина этого целика возрастает с глубиной.

Вскрытие наклонным стволом по месторождению может оказаться целесообразным только для тонких, слаборазведанных пологопадающих и наклонных жил с небольшой глубиной распространения. В очень редких случаях (рудник «Эрингтон», Канада) наклонные стволы располагают в висячем боку месторождения.

Пологие и горизонтально залегающие рудные тела на небольшой глубине вскрывают наклонными конвейерными рудовыдачными стволами в сочетании со вспомогательными вертикальными стволами или вентиляционными скважинами (рис. 6.35, см. вкл.).

6.2.6. Комбинированные способы вскрытия

Сущность комбинированных способов вскрытия состоит в том, что разные части месторождения вскрывают различными выработками. Такое вскрытие целесообразно, в частности, в тех случаях, когда протяженность месторождения по падению велика и подъем по одному очень длинному стволу не обеспечивает заданной производительности. Комбинированное вскрытие характерно также для месторождений, залегающих в гористых местностях, которые распространяются ниже уровня штольни. В этом случае ниже штольни для вскрытия пользуются слепым стволом.

Рудные тела крутого падения могут быть вскрыты вертикальными стволами в сочетании с наклонным съездом для самоходного оборудования (рис. 6.36, см. вкл.).

Близко расположенные зоны оруденения и отдель-ные залежи, существенно отличающиеся по качеству руды или составу полезного компонента, возможно, а иногда технически необходимо вскрывать одновременно и разрабатывать из единой сети в одном шахтном поле с формированием нескольких рудопотоков (рис. 6.37, см. вкл.).

6.2.7. Околоствольные выработки

Совокупность подземных выработок, расположенных около шахтного ствола, именуется околоствольным двором.

Околоствольный двор состоит из выработок грузовой ветви, в которых производится разгрузка вагонеток в подземный бункер или загрузка их в клеть; выработок порожняковой ветки, служащих для сбора порожних вагонеток; выработок, соединяющих грузовую и порожняковую ветви; ряда камер: насосной, электроподстанции, подземной дробилки, электровозного депо, водосборников, диспетчерской и др.

В зависимости от способа подъема руды в стволе различают скиповые, клетевые и скипо-клетевые околоствольные дворы. Околоствольные дворы могут быть тупиковые и круговые, а также односторонние и двусторонние (рис. 6.38, см. вкл.).

Для шахт с небольшой годовой производственной мощностью характерен тупиковый клетевой односторонний околоствольный двор, где грузовая и порожня-

ковая ветви сосредоточены в одной выработке. Этот околоствольный двор, обладая минимальным объемом, не может обеспечить высокой производительности вследствие сложности обмена порожних и груженых вагонеток.

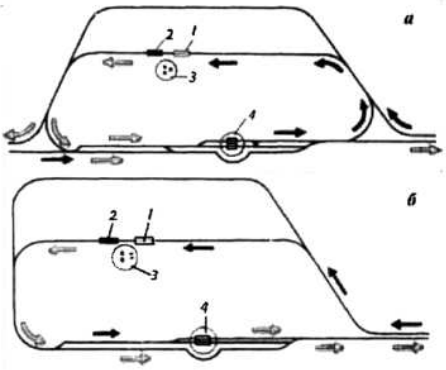


Рис. 6.38. Круговой (а) и петлевой (б) околоствольные дворы (черными и синими стрелками показано перемещение соответственно груженых и порожних вагонеток):

1 и 2 — соответственно угольная и породная разгрузочные ямы; 3 — основной (скиповой) ствол; 4 — вспомогательный (клетевой) ствол

В большинстве случаев околоствольные дворы с полным комплектом выработок устраивают на каждом этаже. Это создает благоприятные условия для подземного транспортирования руды, доставки материалов и оборудования, вентиляции и подготовки, особенно для месторождений с большими запасами руды на этаже.

Однако в ряде случаев, в частности, когда запасы руды в этаже невелики, а годовая производственная мощность шахты значительна (что возможно при современной интенсивной разработке месторождений), проходить на каждом этаже околоствольные выработки и длинные квершлаги оказывается экономически нецелесообразно и технически очень трудно. В этом случае квершлаги от ствола до рудного тела проводят не на каждом этаже, а через два-три этажа (редко более), т. е. применяют вскрытие групповыми квершлагами. При этом связь между стволом и откаточными выработками этажа осуществляется через вертикальные и наклонные выработки, которые обеспечивают спуск (реже подъем) руды до главных откаточных выработок, перемещение людей, доставку материалов и оборудования, проветривание.

Вскрытие крутопадающего месторождения вертикальным стволом с концентрационным горизонтом показано на рис. 6.39 (см. вкл.). Вскрытие концентрационными горизонтами значительно снижает затраты на горнокапитальные работы и позволяет интенсифицировать разработку месторождения. Наличие запаса руды в перепускных восстающих положительно сказывается на работа транспорта и подъеме.

К числу недостатков относятся: необходимость проходки и оборудования дополнительных выработок (восстающих, рудоспусков и др.) для связи этажных откаточных выработок с капитальным штреком или квершлагом, значительные затраты на поддержание рудоспусков, дополнительные расходы на перегрузку и (иногда) на откатку руды, доставку материалов и оборудования, усложнение спуска и подъема рабочих, затруднение подготовки, усложнение вентиляции.

6.2.8. Выбор места заложения ствола

Выбор места заложения ствола производится с учетом следующих главных факторов: безопасности; удобства расположения устья ствола и поверхностных сооружений; расходов на подземный и поверхностный транспорт руды и породы, доставку материалов к месту работ, вентиляцию подземных выработок; затрат времени на передвижение людей под землей к месту работ; а также местных факторов: местоположения обогатительной фабрики или завода, наличия на поверхности различных сооружений, дорог и пр.

Безопасность сооружения ствола определяется двумя основными элементами:

— расположение вне зоны возможного нарушения горного массива (сдвижения пород);

— наличие и правильный выбор размеров охранного целика.

Горные выработки и пустоты, образовавшиеся после выемки полезного ископаемого, заполняются со временем или сразу обрушающимися породами, в результате чего массив пород над месторождением деформируется и оседает. Этот процесс называется сдвижением пород. Сдвижение обычно вызывает плавное оседание земной поверхности, без разрыва ее сплошности, или резкое, со значительными смещениями и провалами.

В области сдвижения горных пород выделяют несколько зон, которые показаны на рис. 6.40 (см. вкл.). Часть земной поверхности, подвергшуюся сдвижению, называют мульдой сдвижения. В пределы мульды сдвижения включают участки земной поверхности с величиной оседания 10 мм и более.

Сдвижение пород происходит по криволинейным поверхностям, но для графических построений их принимают за плоскости, образующие с горизонтальной плоскостью углы: граничный γ^0, сдвижения γ' и разрывов γ'' (обрушения). Граничным углом ограничивается вся область сдвижения пород; плоскость разрывов проходит через крайние внешние трещины на земной поверхности; углом сдвижения определяется зона опасных сдвижений для поверхностных и подземных горнотехнических сооружений.

Если мощность отрабатываемого месторождения незначительна или разработка ведется на большой глубине, то сдвижение пород поверхности не достигает. Глубину разработки, при которой отработка полезного ископаемого не вызывает сдвижений земной поверхности, называется безопасной. Отношение минимальной безопасной глубины к мощности месторождения называют коэффициентом безопасности.

Коэффициент безопасности зависит от физико-механических свойстве пород и примерно равен: при разработке месторождений без закладки 200, с полной сухой закладкой 80, с мокрой закладкой 30.

Величина углов сдвижения зависит от физико-механических свойств пород, слоистости, водоносности угла падения месторождения, глубины разработки и изменяется в широких пределах. При неслоистом строе-нии пород эти углы принимают в пределах 45 — 70°, при слоистом 30 — 65°.

Предохранить поверхностные сооружения и выработки вскрытия от сдвижения пород можно путем расположения их за пределами сдвижения или путем оставления под ними охранных целиков из руды (рис. 6.41 и 6.42). Так как фактические углы сдвижения могут оказаться меньше запроектированных, то в целях безопасности поверхностные сооружения и выработки вскрытия принято располагать на расстоянии 30 — 60 м, иногда до 120 м от границы зоны сдвижения на поверхности.

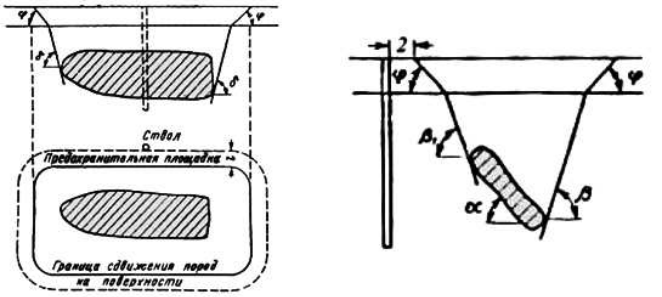


Рис. 6.41. Построение зоны сдвижения горных пород:
α — угол падения рудного тела; φ — угол сдвижения в наносах;
β; β_1; δ — углы сдвижения в коренных породах по висячему, лежачему бокам и простиранию (соответственно)

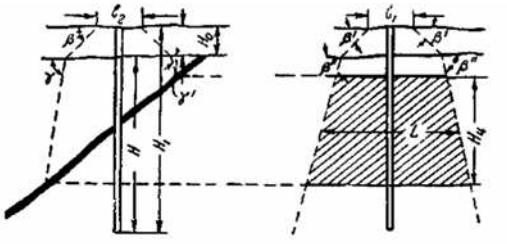


Рис. 6.42. Построение охранного целика для ствола

В местностях с гористым рельефом ствол шахты (штольню) следует располагать так, чтобы он и обслуживающие его сооружения не пострадали от обвалов породы, оползней, снежных лавин, а также не были затоплены во время быстрого таяния снегов и сильных ливней.

По условию минимальной работы подземного транспорта ствол должен быть расположен в плоскости, перпендикулярной к простиранию и делящей запасы всего месторождения на равные или почти равные части.

С изменением места заложения ствола время, затрачиваемое на передвижение людей по откаточным выработкам до места работы, будет изменяться. Среднее расстояние передвижения всех работающих с изменением места заложения шахтного ствола будет изменяться примерно так же, как и работа подземного транспорта. Поэтому место заложения ствола, оптимальное по условиям транспорта, одновременно отвечает и оптимальным условиям по передвижению рабочих по выработкам основного горизонта. То же относится и к расходам по доставке материалов по откаточным выработкам.

Зависимость между положением ствола и расходами по вентиляции непостоянна, но подсчеты показывают, что место заложения ствола, отвечающее наименьшим расходам по вентиляции, примерно совпадает с решением, найденным из условия оптимальной работы подземного транспорта.

Существенное, иногда решающее значение при выборе места заложения устья ствола имеют местные факторы: физико-механические свойства пород, пересекаемых стволом, рельеф поверхности, местоположение обогатительной фабрики и др.

Следует избегать пересечения стволом плывунов, водоносных или нарушенных пород, проходка по которым сопровождается большими трудностями и требует усиленной крепи.

Рельеф поверхности должен обеспечивать удобное расположение поверхностных сооружений и вспомогательных цехов и отвалов. Расположение ствола должно быть удобным для подвода железной дороги. Путь к месту обработки руды должен быть наиболее коротким, легко сооружаемым и дешевым в эксплуатации. Иногда оказывается целесообразно изменить намеченное место заложения ствола только потому, что стоимость сооружения пути для поверхностного транспортирования руды и его последующей эксплуатации оказывается высокой.

Выбор варианта вскрытия и места заложения вскрывающих выработок выполняется на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов в следующем порядке.

1. Устанавливаются технически возможные и подлежащие сравнению варианты вскрытия месторождения.

Для месторождений, состоящих из одного рудного тела, число этих вариантов обычно невелико. При выборе способа вскрытия для нескольких рудных тел число технически приемлемых вариантов возрастает. В этом случае возможны независимое вскрытие каждого рудного тела (рис. 6.43, а, б) и совместное вскрытие общей вскрывающей выработкой (рис. 6.43, в).

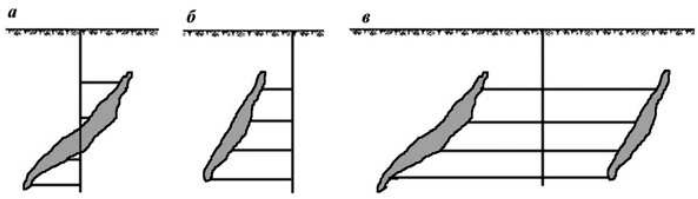


Рис. 6.43. Независимое (а, б) и совместное (в) вскрытие рудных тел

2. Для технико-экономического сравнения вариантов выявляются капитальные затраты и эксплуатационные расходы, зависящие от вскрытия по отдельным статьям. При этом затраты и расходы одинаковые или очень близкие по величине для сравниваемых вариантов, а также все второстепенные затраты не подсчитывают и не включают в итоговую сумму. Все учитываемые затраты и расходы определяют для одного и того же периода времени; наиболее удобным является полный срок существования шахты.

3. Иногда для отдельных вариантов предварительно выявляют подварианты, сравнивают их между собой и лучший вводят в общее сравнение вариантов.

4. Подсчитанные для каждого варианта затраты и расходы по отдельным статьям сводят в общую таблицу.

5. Принято считать, что возможная неточность экономических подсчетов по вариантам составляет от 5 до 10 %. Поэтому если учитываемые суммарные затраты и расходы по какому-либо варианту превышают таковые по другому варианту не более чем на 5 — 10 %, но вместе с тем этот (первый) вариант имеет существенные преимущества в техническом отношении, то ему отдается предпочтение.

6.2.9. Технологическая схема рудника

Подземный рудник — сложная и разветвленная производственная система. Технология разработки месторождения требует выполнения большого числа производственных процессов, жестко взаимосвязанных между собой. Эти процессы можно разделить на основные и вспомогательные.

Основные производственные процессы включают в себя:

— проведение горных выработок, обеспечивающих доступ к полезному ископаемому и добычу его;

— отбойку руды, т. е. отделение руды от массива с дроблением ее на куски;

— доставку руды — перемещение отбитой руды в пределах выемочного блока или панели;

— вторичное дробление чрезмерно крупных кусков (негабарита); его применяют в большинстве случаев, однако оно может не понадобиться при мелком дроблении руды;

— поддержание очистного пространства;

— подземное транспортирование и подъем руды и пустой породы на поверхность, их складирование и отгрузка потребителям.

Отбойка, доставка руды, вторичное дробление негабарита, поддержание очистного пространства — процессы, обеспечивающие в совокупности выемку руды, их называют добычными (или очистными) работами.

Вспомогательные производственные процессы призваны обеспечить эффективное и безопасное выполнение основных. К ним относятся:

— водоотлив (откачка воды на поверхность);

— вентиляция (проветривание) подземных выработок;

— энергоснабжение и освещение;

— транспортирование материалов, оборудования, перевозка людей;

— монтажно-демонтажные работы;

— ремонтные работы.

Добытые руды черных и цветных металлов представляют собой сырье, которое за редким исключением (например, самородки) не может быть непосредственно использовано в промышленности. Поэтому рудное сырье подвергается последующей переработке, т. е. обогащению и металлургическому переделу.

Обогащение — выделение из руды полезных компонентов и их отделение от ненужных и вредных примесей. В результате обогащения получают концентраты, содержание металлов в которых гораздо выше, чем в исходной руде (для цветных металлов иногда в сотни раз).

Концентраты направляют на металлургический передел, из них получают металлы. Из богатых, например железных, руд при содержании железа более 50—55 % металл можно получить непосредственно при металлургическом переделе сырой руды, минуя стадию обогащения.

Обобщая сказанное, можно представить совокупность основных производственных процессов подземной добычи и переработки металлических руд в виде технологической схемы, которая отражает последовательность выполнения и взаимосвязь этих процессов, т. е. технологию работ, в которой отражено также отношение тех или иных производственных процессов к определенной стадии разработки месторождения (рис. 6.44).

6.2.10. Подготовка рудных месторождений

Подготовка — это проведение горных выработок для разделения вскрытых участков месторождения на очистные блоки и панели и обеспечения очистной выемки.

Подготовительные выработки — откаточные (транспортные) и вентиляционные штреки и квершлаги, орты, блоковые восстающие различного назначения, блоковые или панельные рудоспуски, наклонные съезды для перемещения самоходного оборудования между горизонтами.

Назначение подготовительных выработок заключается в следующем:

– оконтуривание (выделение) этажа, шахтного поля, блоков или панелей;

– создание связи блока (панели) с общерудничной транспортной сетью;

– обеспечение эффективного проветривания рабочих мест;

– обеспечение свободного доступа в забои и аварийного выхода из них, снабжения забоев оборудованием, материалами, энергией, высокопроизводительной выдачи из них добытой руды.

По местоположению подготовительных выработок можно выделить три способа подготовки:

– рудная (выработки проведены по руде);

– полевая (выработки проведены по пустым породам);

– комбинированная, сочетающая в себе признаки рудной и полевой.

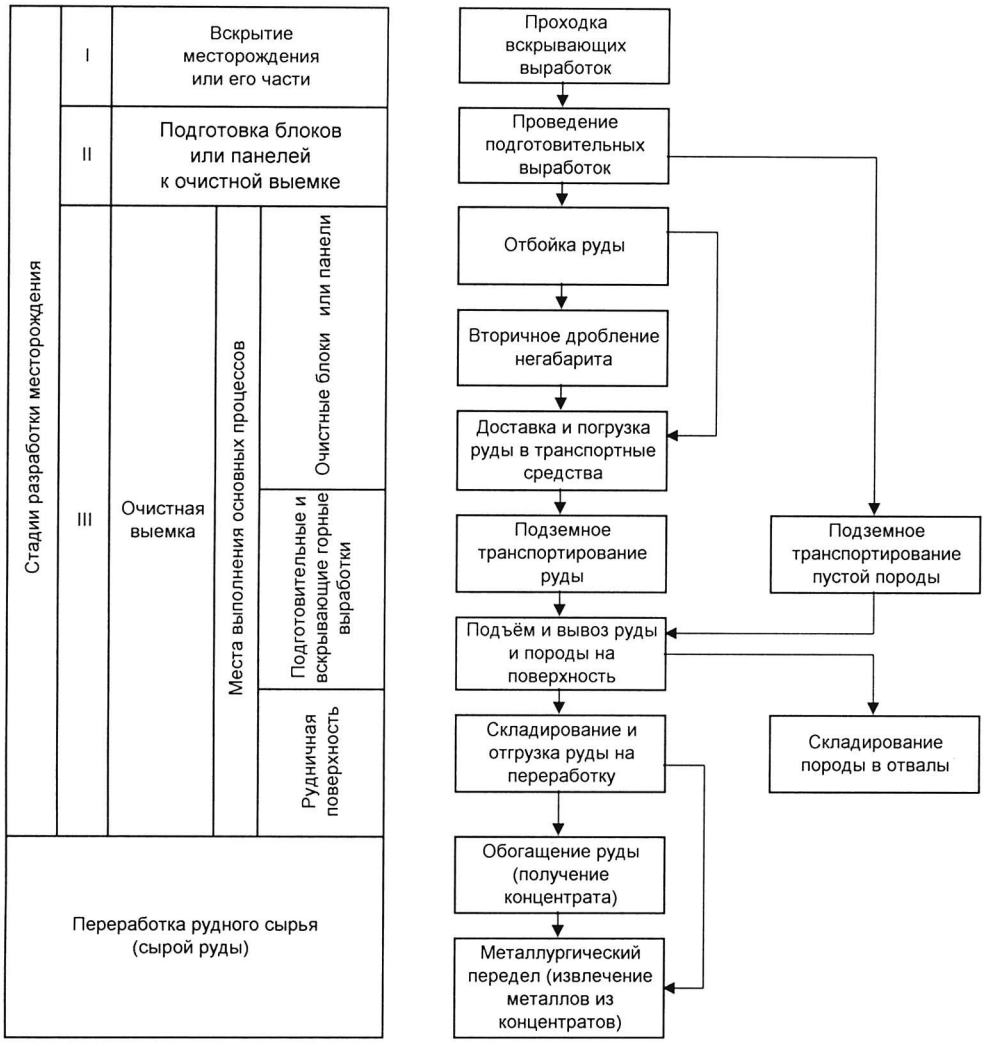


Рис. 6.44. Технологическая схема подземного рудника

Рудную подготовку применяют при разработке крутых маломощных залежей, мощных залежей любого падения, пологих и горизонтальных залежей выдержанного залегания с транспортированием руды по почве.

Рудная подготовка обладает следующими достоинствами: доразведка запасов руды, меньшие затраты на проведение выработок за счет реализации попутно добываемой руды, меньший общий объем подготовительных выработок, т. к. они всегда производятся достаточно близко к очистным блокам.

К недостаткам рудной подготовки можно отнести проведение подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ (например, вблизи них осуществляют взрывную отбойку), что требует увеличения затрат на их сохранение; оставление вокруг рудных подготовительных выработок ограждающих целиков, которые вообще не отрабатывают или извлекают с большими потерями руды.

Полевую подготовку используют в основном при выемке руды с обрушением налегающих пород, и иногда — при разработке жильных месторождений.

Достоинствами этой подготовки являются размещение подготовительных выработок на удалении от очистных работ и вследствие этого лучшая их сохранность; меньшие потери руды в целиках; более прямолинейная трассировка выработок, обеспечивающая сравнительно быстрое движение транспорта.

К недостаткам полевой подготовки можно отнести больший общий объем подготовки из-за наличия подходных выработок к рудному телу; увеличение затрат на проведение выработок из-за отсутствия в них попутной добычи руды, обострение экологических проблем.

Комбинированная подготовка наиболее распространена при разработке месторождений вследствие своей гибкости по сравнению с рудной и полевой. Она сочетает в себе их достоинства и недостатки (рис. 6.45).

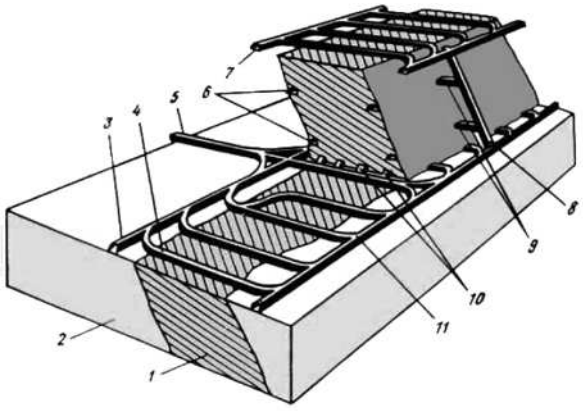


Рис. 6.45. Схема комбинированной подготовки рудной залежи

1 — рудное тело; 2 — породы лежачего бока; 3 — штрек лежачего бока; 4 — погрузочный орт; 5 — этажный вскрывающий квершлаг; 6 — буровые подэтажи; 7 — выработка вентиляционного горизонта; 8 — блоковый восстающий; 9 — сбойки восстающего с подэтажами; 10 — пункты погрузки; 11 — штрек висячего бока

6.2.11. Очистные работы

Очистные работы — главное звено стадии очистной выемки. Основной процесс очистных работ — отбойка руды, за которой следует доставка ее к транспортным средствам. Доставка сопровождается, как правило, вторичным дроблением негабаритных кусков. Безопасное и высокопроизводительное ведение работ по отбойке и доставке руды обеспечивается надежным поддержанием очистного пространства.

6.2.11.1. Отбойка руды

Отбойка — отделение руды от массива с одновременным ее дроблением на куски.

При добыче руд применяют взрывную, механиче-скую отбойку и самообрушение.

Как уже отмечалось, наиболее распространена на подземных рудниках взрывная отбойка руд любой крепости.

Отбойку производят с использованием только внутренних зарядов, размещенных внутри массива: шпуровых, скважинных и в некоторых случаях минных.

Для оценки результатов отбойки применяют следующие технико-экономические показатели: производительность труда бурильщика, выражаемая в тоннах или кубических метрах обуренного шпурами или скважинами массива в смену (т/смену, $м^3$/смену); удельный расход взрывчатого вещества (ВВ) на отбойку тонны или кубометра руды (кг/т, кг/$м^3$); выход руды при отбойке с одного метра шпура или скважины (т/м, $м^3$/м); выход негабарита в процентах по весу от общего количества отбитой руды.

Негабаритом называют куски отбитой руды, имеющие размеры больше допустимых по условиям доставки и транспорта.

Кондиционными называют куски руды, размеры которых позволяют беспрепятственно перемещать их на всем пути от забоя до поверхности или до подземного дробильно-перегрузочного узла.

Негабаритные куски необходимо дробить дополнительно, пока они не будут разделены на кондиционные. Чем меньше выход негабарита, тем лучше качество отбойки.

На эффективность взрывной отбойки влияют крепость (прочность на сжатие) и трещиноватость руды, число обнаженных (открытых) поверхностей забоя.

Отбойка скважинными зарядами. Впервые ее начали применять в нашей стране в начале 30-х гг. На подземных рудниках отбивают руду скважинами диаметром 56 – 150 мм и длиной до 40 – 50 м.

Основные параметры скважинной отбойки — линия наименьшего сопротивления (л.н.с.) и расстояние между соседними скважинами. Л.н.с. — кратчайшее расстояние между зарядом и поверхностью забоя. Оно зависит от крепости и вязкости руды, диаметра скважин и мощности ВВ. Отбойку осуществляют послойно, горизонтальными или вертикальными слоями; при этом скважинные заряды размещают, как правило, в одной плоскости, параллельной открытой поверхности забоя. Толщина слоя в этом случае будет равна л.н.с. Расположение скважины в слое может быть параллельным, параллельно-сближенным, веерным (рис. 6.46).

При параллельном расположении скважин ВВ в массиве размещается равномерно, что способствует качественному дроблению с небольшим выходом негабарита. Однако для бурения каждой скважины необходимо переставлять буровой станок, что требует иногда значительных затрат рабочего времени, особенно при использовании переносного бурового оборудования. Кроме того, для его перемещения вдоль каждого одного-двух рядов скважин необходимо наличие всей выработки (буровой заходки). В результате образуется густая сеть буровых выработок (заходок) большого поперечного сечения, что, естественно, требует соответствующих затрат и удорожает добычу. По этим причинам отбойку параллельными скважинами применяют в устойчивых труднодробимых рудах, когда повышенные затраты на отбойку компенсируются уменьшением расходов на вторичное дробление негабарита.

Для сохранения преимущества параллельного расположения скважин и уменьшения его недостатков на многих железорудных шахтах Сибири и при

разработке железистых кварцитов в Кривбассе успешно применяют отбойку параллельно-сближенными скважинами. Она отличается от отбойки параллельными скважинами тем, что вместо одной скважины в ряду бурят несколько близко расположенных (сближенных) скважин. Расстояние между ними составляет 3—4 диаметра одной скважины, число скважин в комплекте 3—10. Несколько сближенных скважин при производстве взрыва работают вместе как одна скважина большого диаметра. Это позволяет увеличить расстояние между буровыми заходками и уменьшить их число, а следовательно, затраты на проходку.

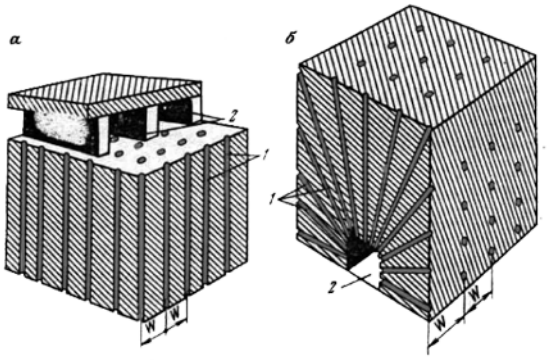


Рис. 6.46. Схемы параллельного (а) и веерного (б) расположения взрывных скважин при отбойке руды:

1 — скважины; 2 — буровые выработки; W — линии наименьшего сопротивления

Наиболее распространено веерное расположение скважин в слое (скважины расходятся веером из одной точки). В этом случае станок переставляют только для бурения скважин в следующем веере. Поэтому, во-первых, резко сокращаются затраты времени на перестановку станка и возрастает выработка бурильщика за смену. Во-вторых, необходимо меньшее число буровых выработок. Недостатки отбойки веерными скважинами связаны с неравномерным размещением ВВ по площади забоя. Так как вблизи буровой выработки скважины расположены густо, некоторые из них заряжают не полностью (повышенный расход скважин на отбойку), а по краям забоя расстояние между концами скважин составляет около полутора л.н.с., и качество дробления здесь невысокое (велик выход негабарита).

Для бурения скважин применяют следующее оборудование: колонковые перфораторы (веерные скважины), буровые станки с погружными пневмоударниками (параллельные, параллельно-сближенные и веерные скважины), самоходные бурильные установки (в основном веерные скважины), иногда станки шарошечного бурения (веерные скважины).

Заряжание скважин производят почти исключительно установками для пневмозаряжания, при этом используют гранулированные ВВ различных типов.

При отбойке взрывают обычно несколько рядов скважин. При большой площади забоя количество отбитой руды может составлять тысячи, десятки и даже сотни тысяч тонн, а количество взрываемого при этом ВВ — до десятков тонн. Такие взрывы называют массовыми. Для уменьшения разрушительного воздействия массовых взрывов на окружающие горные выработки сооружения под землей и на поверхности взрывание скважинных зарядов производят по частям с замедлением между рядами скважин и между скважинами в слое. Подготовка массового взрыва занимает несколько смен, причем в это время другие работы в блоке не ведут. Массовые взрывы приурочивают к общешахтным выходным, т. к. на проветривание после них затрачивается до 20 часов. После производства массо-

вых взрывов первыми в шахту спускаются горноспасатели, которые берут пробы шахтного воздуха и при необходимости ремонтируют поврежденные выработки.

Технико-экономические показатели отбойки скважинами:

— производительность труда бурильщика составляет от 30 — 50 $м^3$/смену в крепких рудах до 250 — 300 $м^3$/смену в рудах средней крепости;

— удельный расход ВВ изменяется от 1,5 до 0,5 кг/$м^3$, причем при отбойке веерными скважинами удельный расход ВВ на 10 — 15 % выше, чем при отбойке параллельными;

— выход руды составляет 4 — 5 $м^3$/м крепких рудах и 15 — 20 $м^3$/м в рудах средней крепости;

— выход негабарита в зависимости от свойств руды изменяется на различных рудниках от 3 до 15 % и выше.

Область применения скважинной отбойки — мощные (более 6 — 8 м) рудные залежи достаточно устойчивых руд обычно средней ценности, т. к. точность отбойки руды скважинами (особенно веерными) по контакту с пустыми породами невысокая, что связано с повышением разубоживания.

Шпуровая отбойка. Шпуровые заряды обладают меньшей мощностью и по сравнению со скважинными в 1 м шпура диаметром 40 — 50 мм вмещается 0,8 — 1,5 кг ВВ, тогда как в 1 м скважины диаметром 105 — 150 мм — до 15 — 20 кг взрывчатки. Это определяет значительную трудоемкость шпуровой отбойки, т. к. для добычи одного и того же количества руды нужно пробурить шпуров в несколько раз больше, чем скважин. Поэтому шпуровую отбойку используют, как правило, в тех случаях, где невозможно или невыгодно применять скважинную.

Порядок выемки руды с использованием шпуров — послойный в восходящем или в горизонтальном направлении. При восходящей выемке массив руды отрабатывают горизонтальными слоями снизу вверх. Так как при этом люди работают под рудным массивом, он должен иметь устойчивость не ниже средней. Отбойку руды в каждом слое осуществляют восходящими шпурами, если руда устойчива, или горизонтальными шпурами, если устойчивость массива недостаточна (рис. 6.47). Последнее объясняется тем, что при отбойке горизонтальными шпурами кровля забоя получается более гладкой и в ней образуется меньше заколов — кусков, слабо связанных с массивом и способных отделиться от него в любой момент. При отбойке восходящими шпурами можно бурить шпуры одновременно несколькими бурильными машинами по длине забоя и отбивать руду в больших объемах, чем при отбойке горизонтальными шпурами, длина которых (до 3 — 4 м) ограничивает разовый объем отбойки.

Отбойку в горизонтальном направлении осуществ-ляют в длинных забоях (лавах) на две обнаженные поверхности (выемка уступом) или в узких забоях с одной обнаженной поверхностью, как при проведении горных выработок (см. рис. 6.47, в).

Параметры шпуровой отбойки — л.н.с. или площадь забоя, приходящаяся на один шпур и изменяющаяся от 0,25 — 0,4 $м^2$ в узких, стесненных забоях до 0,5 — 1 $м^2$ в забоях большой площади.

При шпуровой отбойке применяют следующее буровое оборудование: ручные перфораторы с пневмоподдержкой (горизонтальные и слабонаклонные шпуры), телескопные перфораторы (восходящие шпуры); самоходные бурильные установки (шпуры любого направления). Заряжание шпуров патронированными ВВ обычно производится вручную, а при использовании гранулированных ВВ применяются пневмозарядные установки эжекторного или нагнетательного типов. Взрывание шпуровых зарядов производят посредством огнепроводного шнура (при небольшом числе зарядов) или с помощью электродетонаторов.

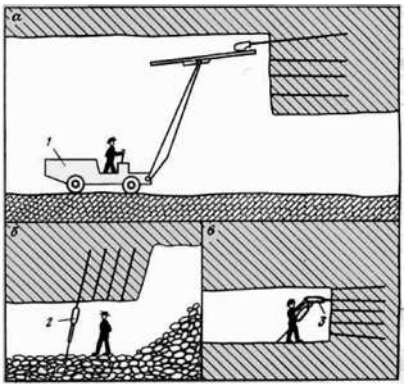


Рис. 6.47. Схемы отбойки руды горизонтальными (а и в) и восходящими (б) шпурами (а, б — отбойка на две свободные поверхности, в — на одну):
1 — самоходная бурильная установка; 2 — телескопный перфоратор; 3 — ручной перфоратор на пневмоподдержке

Технико-экономические показатели шпуровой отбойки:

— производительность труда бурильщика изменяется от 5 — 50 м^3/смену при использовании перфораторов до 400 — 600 м^3/смену при применении самоходных бурильных установок с 2 — 3 бурильными машинами (большие величины — в рудах средней крепости и забоях достаточной площади);

— удельный расход ВВ на отбойку — 0,6 — 3 кг/м^3;

— выход отбитой руды на 1 м шпура — 0,3 — 1,5 м^3/м;

— выход негабарита — от 0 до 3 — 5 %.

Область применения шпуровой отбойки — маломощные рудные тела жильных месторождений, проходческие работы при проведении практически всех видов горных выработок.

Минная отбойка. Как основной способ отбойки распространена мало. Ее применяют в основном для обрушения целиков, в которых уже есть или могут быть проведены горные выработки. Заряды ВВ, масса которых достигает сотен килограммов, размещают на почве выработок или в их ответвлениях (минных карманах) насыпью или в мешках. Расстояние между зарядами достигает 8 — 12 м. Перед взрыванием заряды иногда засыпают забойкой из дробленой породы для увеличения эффективности разрушения массива.

Механическая отбойка применяется в основном при выемке руд и пород с применением самоходных шарошечных комбайнов.

Самообрушение руды. Это наиболее дешевый вид отбойки. Под рудным массивом проводят сеть пересекающихся выработок, раздельных между собой наибольшими целиками. Затем на определенной площади целики разрушают (взрывают), вследствие чего рудный массив снизу лишается опоры (подсекается). Под действием собственного веса и давления налегающих пород рудный массив начинает растрескиваться (как говорят, «созревать») и затем обрушаться. Увеличивая площадь подсечки, можно развивать самообрушение массива.

Наиболее благоприятна для самообрушения руда, разбитая частой сетью трещин, однако достаточно устойчивая для того, чтобы в ней можно было сохранять горные выработки. Такие условия довольно редки, поэтому разработка руд с использованием самообрушения распространена мало. В нашей стране ее испытывали в середине прошлого века, за рубежом самообрушение руд применяют в единичных случаях на рудниках Чили, США и ФРГ.

6.2.11.2. Выпуск руды

Выпуск — перемещение отбитой руды под действием собственного веса и под воздействием погрузочных и доставочных машин из очистного пространства в доставочные или транспортные выработки. Выпуск руды применяют, если доступ людей в очистное пространство запрещен или невозможен, т. е. очистное пространство представляет собой бункер, заполненный отбитой рудой.

Применяют следующие способы выпуска руды: донный — через специальные выработки в днище (основании) очистных блоков; торцевой — через торец выработки.

Выработки для донного выпуска руды — воронки и траншеи (рис. 6.48).

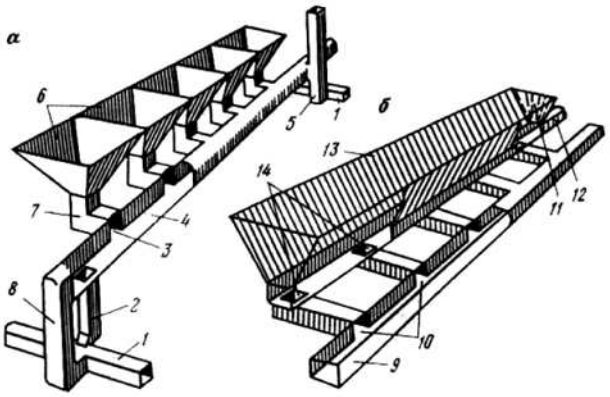


Рис. 6.48. Схемы оснований блоков в виде воронок (а) и траншеи (б) при донном выпуске руды:

1 — откаточные орты; 2 — рудоспуск; 3 — выпускная выработка; 4 — скреперный штрек; 5 — вентиляционный восстающий; 6 — воронки; 7 — дучка; 8 — ходовой восстающий; 9 — откаточный штрек; 10 — ниши для погрузочной машины; 11 — веер взрывных скважин для образования траншеи; 12 — траншейный штрек; 13 — траншея; 14 — выпускные отверстия в почве траншейного штрека

Воронка — углубление в днище (основании) блока в форме перевернутого конуса или цилиндра. В основании воронки проходят выработку (выпускную дучку), соединяющую очистное пространство через полость воронки с доставочным или транспортным горизонтом.

Воронки образуют посредством шпуровой отбойки, что связано с повышением затрат, однако их размеры и форму легко приспособить к изменению мощности рудного тела и вследствие этого уменьшить потери руды.

Траншеи имеют сходящиеся к низу стенки. Для их образования в основании проходят траншейную выработку, из которой выбуривают вертикальные веера скважин и взрывают их, как правило, одновременно с отбойкой руды в блоке (в отличие от воронок, которые обычно образуют заблаговременно). К траншее снизу подводят погрузочные выработки, через которые ее соединяют с доставочным или транспортным горизонтом. Затраты на образование траншей меньше, чем на образование воронок. Однако из-за прямолинейной формы и использования для отбойки более мощных скважинных зарядов их применяют, как правило, при разработке мощных залежей устойчивых руд.

При взрывной отбойке руды почти не удается избежать выхода негабаритных кусков. Поэтому очистная выемка обычно сопровождается вторичным дроблением негабарита.

Вторичное дробление осуществляют либо в очистном пространстве, если там работают люди, либо в выпускных, погрузочных или доставочных выработках.

Наиболее часто применяют взрывное дробление негабарита. При дроблении накладными зарядами их кладут на кусок негабарита и присыпают сверху забойкой (глиной с песком или мелкой породой). При взрыве накладных зарядов образуются мелкие осколки, которые могут повредить крепь, оборудование, кабели или трубы. Расход ВВ составляет при этом до 1,5 — 2 кг на 1 $м^3$ негабарита.

Шпуровые заряды позволяют лучше использовать энергию взрыва, поэтому удельный расход ВВ снижается в 3 — 4 раза по сравнению с использованием обычных накладных зарядов. Однако при этом необходимо дополнительное время на бурение шпуров.

В последние годы все более широкое применение при дроблении негабарита находят кумулятивные накладные заряды, в которых используется эффект концентрации энергии взрыва вдоль оси сферической выемки, создаваемой в заряде. Этот способ дробления негабарита обладает всеми достоинствами обоих рассмотренных выше способов и практически лишен их недостатков.

При любом варианте взрывного вторичного дробления требуется приостанавливать работы по погрузке и доставке руды для проведения взрыва и проветривания забоя. Поэтому, если есть возможность, нужно отбирать и складировать негабаритные куски и взрывать их по несколько штук (удобнее всего в конце смены, перед перерывом).

Из-за неудобств, связанных с взрывным дроблением негабарита на рудниках, все чаще применяют установки для механического дробления — гидро- или пневмоударники. Обычно они стационарные, на консоли, поэтому используются, как правило, у рудоспусков. Кроме того, выпускают образцы самоходных машин для дробления негабарита, оснащенные гидроударниками, которые могут работать непосредственно в забоях.

Ликвидация зависаний. При выпуске отбитой руды из очистного пространства в выпускных отверстиях образуются зависания — застревания крупных кусков или заклинивание нескольких мелких. Зависания возникают тем чаще, чем больше в руде негабарита. Для ликвидации зависания над выпускным отверстием под них подводят на шестах заряд ВВ — фугас массой от нескольких килограммов до десятков килограммов ВВ. При взрыве фугаса одновременно дробятся и негабариты, застрявшие в выпускном отверстии (рис. 6.49).

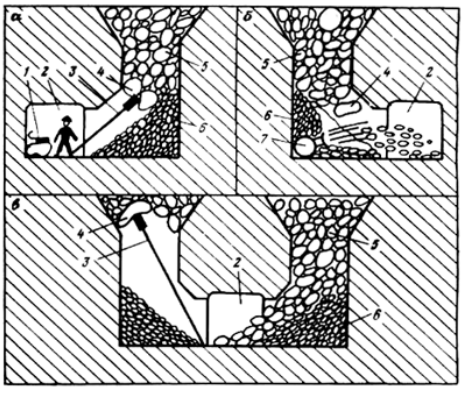


Рис. 6.49. Схемы ликвидации низкого (а), высокого (в) заторов с использованием фугасов и низкого затора с применением пневмоимпульсных устройств (б):

1 — накладной заряд; 2 — скреперный штрек; 3 — фугас на шесте; 4 — затор; 5 — горловина воронки; 6 — рудная «постель»; 7 — пневмоимпульсное устройство

Если зависание возникает в результате заклинивания кусков между лобовиной выпускного отверстия и насыпью руды под ним, то оно может быть ликвидировано как взрывным, так и безвзрывным способом. Для этого на многих рудниках цветной и черной металлургии применяют пневмоимпульсные устройства (ПУ), позволяющие разрушать зависания руды за счет энергии сжатого воздуха, подаваемого в устройство, заранее размещенное на днище выпускной выработки (рис. 6.49, б).

6.2.11.3. Доставка руды

Доставка — перемещение отбитой руды из забоя в средства подземного транспорта. На нее приходится от 30 до 50 % всех затрат на очистную выемку в блоках.

Доставку руды можно осуществлять:

- под действием собственного веса отбитой руды — самотечная;
- специальными машинами и оборудованием — механизированная;
- силой взрыва — взрывная.

В пределах очистных блоков (панелей) доставка включает в себя ряд взаимосвязанных операций (в том числе, как правило, вторичное дробление негабарита, а при донном выпуске — и ликвидацию зависаний). Причем обычно сочетается несколько способов доставки.

Самотечная доставка руды осуществляется по очистному пространству или по рудоспускам.

Самотечную доставку по очистному пространству применяют довольно широко. Так как при этом оно выполняет роль бункера для отбитой руды, то после самотечной доставки по очистному пространству следуют ее выпуск и погрузка в транспорт или механизированная доставка по почве доставочных выработок.

Самотечную доставку руды по рудоспускам применяют на многих рудниках. Длина рудоспусков меняется от нескольких до сотен метров (Тырныаузский вольфрамо-молибденовый комбинат). Для беспрепятственного движения руды по рудоспускам угол их наклона должен быть не менее 55 – 60°, а его диаметр — в 3 – 4 раза больше размера кондиционного куска.

Механизированная доставка руды. Механизированная доставка включает в себя погрузку (совмещаемую с выпуском после самотечной доставки), собственно доставку и разгрузку. Возможны случаи, когда доставка заключается только в погрузке в транспортные средства.

При механизированной доставке применяют или только погрузочные машины (погрузка в транспорт), или комплексы погрузочных и саморазгружающихся доставочных машин, или, наконец, комбинированное погрузочно-доставочное оборудование.

На рудниках, разрабатывающих металлические руды, *погрузку руды* непосредственно в транспортные средства применяют при очистной выемке довольно широко. Основным видом погрузочного оборудования при этом являются установки непрерывного дейст-вия — питатели (главным образом, вибрационные), выпускающие руду из воронок или траншей и грузящие ее в вагоны электровозного транспорта.

Широкое распространение получили на рудниках цветной металлургии *комплексы из самоходных погрузочных и доставочных машин.* Например, на рудниках Джезказганского и Ачисайского комбинатов в Казах-стане применяют комплексы экскаватор — автосамосвал, погрузочная машина с нагребающими лапами типа ПНБ — автосамосвал. А на Тырнаузском комбинате на Кавказе и на Абаканском руднике успешно используют комплекс вибропитатель – автосамосвал. Производительность этих комплексов в зависимости от длины доставки до-

стигает до 800 — 1200 т/смену. На рудниках Джезказганского ГМК при доставке в очистном пространстве хорошо зарекомендовали себя комплексы, состоящие из ковшового погрузчика с ковшом вместимостью 3 — 4 м^3 и автосамосвала. Комплексы погрузочная машина — автосамосвал применяют для доставки руды по очистному пространству высотой не менее 3 м при погрузке руды погрузочными машинами типа ПНБ и не менее 5 м при погрузке экскаваторами и ковшовыми погрузчиками. Длина доставки автосамосвалами — 400 — 1000 м.

К погрузочно-доставочному оборудованию относят скреперные установки, самоходные погрузочно-доставочные (ПД) и погрузочно-транспортные (ПТ) машины.

Скреперные установки вследствие конструктивной простоты и невысокой стоимости являются на многих, особенно небольших рудниках наиболее распространенным оборудованием для доставки руды (рис. 6.50). Их успешно применяют в узких забоях, небольшой мощности залежах и при ограниченном поперечном сечении доставочных выработок. Мощные установки обычно используют при донном выпуске в рудных телах значительной мощности. Руду скреперуют на расстояние 10 — 30 м в рудоспуск или через полок (настил с грохотом) непосредственно в вагоны. Иногда руду под уклон скреперуют мощными установками на расстояние до 150 м и более. В целом использование скреперных установок наиболее эффективно при разработке маломощных рудных тел, залежей с малыми запасами, расположенными на некотором расстоянии от основных запасов шахтного поля, а также на рудниках с невысокой годовой производительностью и при разработке неустойчивых руд, когда необходимо проведение выработок минимального поперечного сечения, в которых не может работать другое (например, самоходное) оборудование.

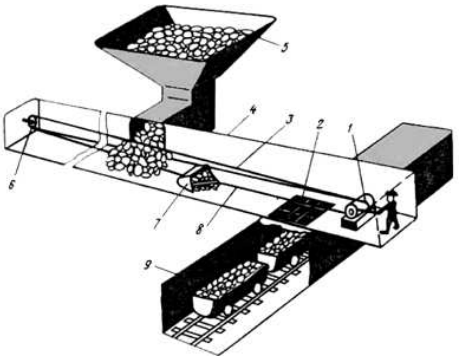


Рис. 6.50. Схема скреперной доставки и погрузки руды:

1 — скреперная лебедка; 2 — грохот; 3 — холостая ветвь каната; 4 — скреперная выработка; 5 — оронка; 6 — хвостовой блочок; 7 — скреперный ковш; 8 — рабочая ветвь каната; 9 — транспортная выработка

Наиболее универсальные виды *самоходного оборудования* для доставки руды — погрузочно-доставочные (ПД) и погрузочно-транспортные (ПТ) машины. В настоящее время выпускают несколько типоразмеров такого оборудования. Например, машины типа ПД имеют грузоподъемность от 2 до 12 т (5 типоразмеров), а машины типа ПТ — от 2,5 до 20 т (5 типоразмеров). Скорость движения машин ПД и ПТ составляет в среднем 6 — 10 км/ч из-за сложности трассы и неровности почвы доставочных выработок, которые к тому же нередко имеют уклон до 10 — 12°. Производительность ПД (рис. 6.51) и ПТ машин снижается при увеличении длины доставки. В зависимости от грузоподъемности (вместимо-

сти ковша) машин типа ПД оптимальная длина доставки изменяется от 50 — 80 до 250 — 300 м. При этом их производительность может достигать 600 — 1200 т/смену. Машины типа ПТ при одинаковой грузоподъемно-сти с машиной типа ПД имеют меньшие размеры и могут проходить по выработкам меньшего поперечного сечения. Их выгоднее применять при длине доставки от 100 до 500 м и более мелком дроблении.

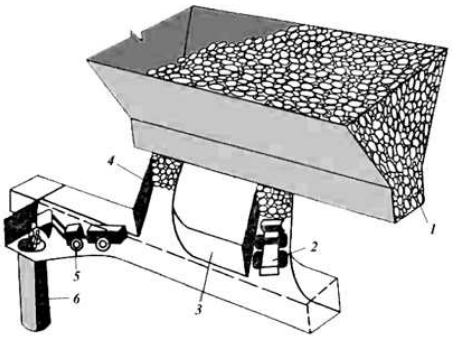


Рис. 6.51. Схема доставки руды до рудоспуска ковшовыми погрузочно-доставочными машинами типа ПД:

1 — траншея; 2 — погрузочно-доставочная машина под погрузкой; 3 — доставочная выработка; 4 — погрузочный заезд; 5 — погрузочно-доставочная машина на разгрузке у рудоспуска; 6 — рудоспуск

Взрывная доставка (рис. 6.52) была впервые применена в нашей стране в условиях, где невозможны или нецелесообразны другие ее виды (самотечная, механизированная), например, при разработке наклонных залежей с углом падения от 15 до 45°.

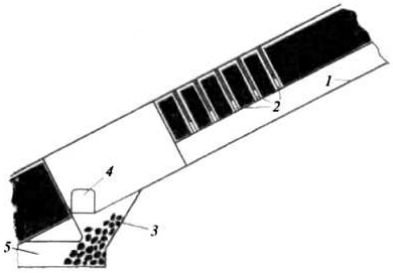


Рис. 6.52. Взрывная доставка руды:

1 — выработка для бурения скважин (буровой восстающий);
2 — скважины; 3 — выработка для приема отбитой руды;
4 — штрек для образования отрезной щели; 5 — выработка для погрузки руды

Руду отбивают веерными или параллельными скважинами в направлении падения залежи. Вследствие метательного действия взрывных газов, обладающих высоким давлением, отбитая руда отбрасывается вниз по падению залежи в воронки на расстояние от 20 до 60 м. Это расстояние тем значительнее, чем больше угол падения и мощность залежи. Часть руды падает на почву залежи на более близком расстоянии, и со временем там накапливаются довольно значительные остатки, причем они тем больше, чем меньше угол падения и больше длина доставки. Эта руда препятствует взрывной доставке, поэтому время от времени почву

очистного простран-ства зачищают от остатков руды скрепером или бульдозером, который на канате прикрепляют к лебедке, установленной на верхнем горизонте. Бульдозером управляют дистанционно из буровой выработки, т. к. вход в открытое очистное пространство запрещен.

6.2.11.4. Управление состоянием массива

Как уже отмечалось, нетронутый массив руд или пород находится в равновесном напряженном состоянии, которое нарушается после проведения в массиве горных выработок. Массив при этом обнажается, и часть его лишается естественной опоры, вследствие чего происходит *перераспределение напряжений.* Если породы или руды неустойчивы, они могут обрушиться в сторону обнажения. Если же массив сложен устойчивыми породами, то характер их поведения зависит от размеров обнажения.

При наличии опор с двух сторон обнажения породы как бы прогибаются в сторону свободного пространства. При этом испытывают растягивающие напряжения, сопротивление которым почти в 10 раз меньше, чем сопротивление пород сжимающим напряжениям. Вследствие этого начинается растрескивание массива, которое может переходить в обрушение. Обрушение обычно прекращается; когда над выработанным пространством образуется устойчивая куполообразная выемка — свод естественного равновесия. Давление налегающей толщи передается на опоры этого свода, и по бокам выработанного пространства возникают зоны повышенного опорного давления. При небольшой глубине или при значительной ширине выработанного пространства купол свода может достигать поверхности. При наличии над выработанным пространством устойчивой кровли, а также при выемке руды сплошным фронтом позади забоя образуется нависающая плита (консоль) из устойчивых пород, опорой которой служит забой. Эта плита под действием собственного веса и давления вышележащей толщи стремится опуститься в выработанное пространство, чему препятствует массив руды в забое. *Поэтому в призабойной зоне массива также возникает повышенное опорное давление* (рис. 6.53, см. вкл.).

Опорное давление может в несколько раз превышать горное давление на данной глубине в нетронутом массиве. Когда величина опорного давления становится больше сопротивления массива сжатию, он разрушается. В хрупких породах разрушение имеет взрывообразный характер и называется породным взрывом, а при больших масштабах разрушения — горным ударом. Это крайне опасное явление, приводящее к ката-строфическим последствиям.

Для избежания нежелательных или опасных по-следствий горным давлением при очистной выемке *управляют различными способами*:

— естественным поддержанием очистного пространства;
— обрушением налегающих пород;
— искусственным поддержанием очистного пространства.

Естественное поддержание очистного простран-ства заключается в предохранении от обрушения налегающей толщи с помощью целиков — участков рудного массива, выполняющих роль опор. При пологом и наклонном залегании целики имеют форму столбов квадратного, прямоугольного, круглого попереченных сечений (столбчатые целики) или сплошных стен (ленточные целики). При крутом падении целики оставляют сплошными. Размеры столбчатых целиков в плане могут изменяться от 3 до 8 м при расстоянии между их осями от 6 до 20 м. Сплошные целики при крутом падении располагают через 30 — 100 м, их поперечные размеры достигают 6 — 30 м. Естественное поддержание очистного пространства возможно при устойчивых рудах и породах и глубине разработки не более 1000 — 1500 м.

При обрушении налегающих пород целики и крепление отсутствуют, но доступ в очистное пространство невозможен и отбитую руду в основном выпускают под обрушенными породами. Это приводит к перемешиванию руды с пустыми породами, ее обеднению (разубоживанию). Его можно применять только в том случае, когда допустимо обрушение поверхности, а во вмещающих породах, находящихся в зоне обрушения, отсутствуют водоносные слои и плывуны, которые через обрушение могут прорваться в подземные выработки и затопить их. Недопустимо также, чтобы отбитая руда слеживалась или самопроизвольно возгоралась (руды с высоким содержанием серы).

Искусственное поддержание очистного пространст-ва осуществляют крепями различных конструкций или закладной. Крепь применяют для сохранения очистного пространства только на время очистной выемки. Как правило, используют деревянную крепь как самую дешевую, изредка металлическую в виде стоек и рам. При добыче руды механизированными комплексами применяют передвижную механизированную металлическую крепь. Искусственное поддержание очистного пространства крепями применяют в неустойчивых рудах и породах.

Закладка — заполнение выработанного пространства различными материалами для предотвращения его обрушения.

По виду материала, служащего для закладки, и способу его размещения в выработанном пространстве различают сухую (сыпучую), гидравлическую и твердеющую (монолитную) закладку.

6.2.11.5. Организация очистных работ

Высота этажа — это расстояние между подошвами выработок основного горизонта рассматриваемого этажа и основного горизонта вышележащего этажа по вертикали.

При разработке рудных месторождений высоту этажа принимают от 30 до 100 м, очень редко больше.

На выбор высоты этажа влияет много факторов. Наиболее важные из них следующие: мощность, длина и угол падения месторождения, физико-механическая характеристика руды и вмещающих пород, применяемая система разработки, стоимость проходки горно-капитальных и подготовительных выработок основного горизонта.

Увеличение высоты этажа позволяет сократить объем и стоимость горно-капитальных и подготовительных работ на 1 т подготовленных запасов руды. Это объясняется тем, что для подготовки этажа, независимо от его высоты, необходимо пройти одни и те же выработки основного горизонта, околоствольные выработки, квершлаги и др. Полная длина, объем и стоимость проведения этих выработок одинаковы для этажа любой высоты, между тем как запас руды в этаже растет пропорционально его высоте.

При многих системах разработки требуется оставлять на границе соседних этажей междуэтажные целики. Извлечение этих целиков сопровождается повышенными потерями руды и стоит дороже, чем отработка остальной части запасов. Так как количество руды в междуэтажных целиках при любой высоте этажа одинаково, то с увеличением высоты этажа процент потерь руды и относительный перерасход по отработке целиков уменьшаются.

Вместе с этим увеличение высоты этажа приводит к росту некоторых расходов, связанных с очистной выемкой, а также к техническим трудностям при выполнении подготовительных работ и очистной выемки. В частности, возрастают расходы по доставке материалов и оборудования в очистные забои, по про-

ходке и ремонту восстающих, соединяющих основные горизонты соседних этажей, по доставке руды от забоя до основного горизонта, подъему руды, водоотливу. Увеличиваются затраты времени рабочих на ходьбу и снижается производительность их труда, затрудняется проходка восстающих выработок.

Техническим препятствием к увеличению высоты этажа иногда является усиленное горное давление в очистном пространстве, возможность обрушения боковых пород и междукамерных целиков.

Этаж для очистной выемки, как правило, делят на блоки, которые вводят в разработку в определенном порядке.

Высота блока равна высоте этажа. Длина блока по простиранию принимается от 30 до 100 м, редко больше. В большинстве случаев восстающие располагают на флангах блока.

Длина блока зависит от многих факторов, прежде всего от системы разработки, мощности рудного тела и способа доставки добытой руды.

Известны 4 основные схемы выемки очистных блоков в этаже.

Наступающая выемка, когда очистные блоки отрабатываются от свода к границам шахтного поля. Откаточный штрек здесь проводится параллельно отработке очередного блока, с некоторым опережением.

Отступающая выемка блоков от границ поля к стволу. Порядок подвигания очистной выемки — обратный предыдущему. Откаточный штрек проводится перед началом очистной выемки до границ поля.

Выбор между наступающей и отступающей выемками зависит от применяемой системы разработки, способа вскрытия и расположения вспомогательных стволов, степени разведанности месторождения, выдержанности элементов его залегания и других факторов.

Для отступающей выемки благоприятны короткие шахтные поля, неустойчивые вмещающие породы и руды, центральное расположение вспомогательных стволов.

Комбинированная выемка представляет сочетание двух предыдущих схем. Она позволяет использовать в определенных условиях достоинства наступающей и отступающей выемок.

Наступающая выемка ведется до тех пор, пока не закончена проходка основного штрека до границ шахтного поля; после достижения штреком границ шахтного поля вместе с наступающей развивается и отступающая выемка; одно крыло шахтного поля (например, более длинное) отрабатывается в наступающем порядке, а другое (короткое или с менее устойчивыми породами) — в отступающем.

Выемка этажа одновременно по всему простиранию заключается в одновременной разработке всех блоков этажа.

Часто время начала и окончания выемки отдельных блоков не совпадает, но в стадии полного развития очи-стная выемка происходит одновременно во всех блоках этажа.

Выемка блока снизу вверх. Очистная выемка блока начинается снизу от выработок основного горизонта. Вынимаемые слои руды располагаются горизонтально или наклонно.

Различные варианты такого порядка очистной выемки имеют в практике широкое распространение.

Выемка блока сверху вниз (нисходящая выемка) осуществляется в порядке, обратном предыдущему. В этом случае очистное пространство заполняется закладкой, остается открытым либо заполняется обрушаемыми вслед за выемкой вмещающими породами.

Нисходящая выемка блока также имеет широкое распространение.

Комбинированная выемка — снизу и сверху. Блоки, обычно через один, отрабатываются снизу вверх, а расположенные в промежутках между ними — сверху вниз, во вторую стадию. Комбинированная выемка обычно применяется в мощных месторождениях.

Принято различать два способа очистной выемки руды из месторождения: валовую и раздельную.

Валовой называют совместную выемку нескольких разновидностей или сортов руды из месторождения в пределах блока. К валовой относят также совместную выемку руды и пустых пород, когда последние по горнотехническим условиям приходится неизбежно извлекать одновременно с рудой.

Раздельной называют выемку, при которой разные сорта руды или руда и прослои пустых пород в блоке извлекаются и выдаются раздельно. В очень тонких рудных телах раздельной называют отбойку и выдачу руды и породы отдельно.

Валовая выемка имеет большие преимущества перед раздельной, осуществление ее значительно проще и возможно в любых горно-геологических условиях, поэтому она имеет более широкое применение, чем раздельная.

К преимуществам валовой выемки относятся: простота производства горных работ и возможность применять более эффективные системы разработки и удешевить стоимость добычи руды; высокая интенсивность разработки; возможность применять мощные средства механизации; повышение общего количества извлекаемых из недр полезных компонентов, когда добываемые с рудой породы являются рудоносными.

Вместе с этим валовая выемка имеет и существенные недостатки, которые проявляются тем сильнее, чем больше при валовой выемке примешивается к руде пустых или имеющих непромышленное оруденение пород.

Валовая выемка вследствие пониженного содержания полезных компонентов в добытой руде часто приводит к значительному росту затрат на транспорт и переработку руды, отнесенных на весовую единицу извлеченного полезного компонента.

По этой же причине снижается коэффициент извлечения полезных компонентов при переработке.

Если производственная мощность перерабатывающих руду предприятий (обогатительной фабрики, металлургического завода) ограничена, то применение валовой выемки может привести к общему снижению выпуска и удорожанию конечной продукции.

Раздельная выемка имеет ряд серьезных достоинств. В частности, при раздельной выемке обычно требуются меньшие затраты на строительство предприятия той же производственной мощности по конечной продукции. Иногда сокращаются сроки пуска предприятия в эксплуатацию и длительность периода полного освоения проектной мощности; благодаря лучшему качеству руды понижается стоимость ее транспорта и переработки на весовую единицу извлеченного полезного компонента. В некоторых случаях благодаря раздельной выемке удается избежать обогащения добытой руды, направляя ее сразу в металлургический передел.

Очень серьезные недостатки раздельной выемки ограничивают ее применение в практике. К числу главнейших из них относится рост стоимости руды вследствие необходимости применения систем с низкой производительностью труда и меньшим размером добычи руды и полезного компонента.

Применение раздельной выемки может оказаться целесообразным только при определенных благоприятных условиях (четкие контакты руды и породы, высокое качество руды, малая мощность рудных тел и т. п.).

В некоторых случаях, особенно при валовой выемке руды на жильных месторождениях, возникает необходимость и возможность сортировки добытой рудной массы либо в забое, либо на специальных установках под землей или на поверхности.

Сортировка повышает содержание полезных компонентов в товарной руде, благодаря чему достигается экономия на транспорте и переработке руды, возрастает мощность предприятия по производству концентрата (или полезного компонента) при той же массе переработанной руды; часто снижаются потери полезного компонента в процессе переработки.

6.2.12. Системы разработки рудных месторождений в различных горно-геологических условиях

Исходя из всего сказанного, можно дать следующее полное определение понятия «система разработки».

Системой разработки рудного месторождения или его части называется порядок и технология очистной выемки руды в сочетании с определенной совокупностью конструктивных элементов выемочного участка.

Системы разработки рудных месторождений отличаются исключительным многообразием. В настоящее время насчитывается до 200 только основных видов систем.

Важное значение классификации как основы для изучения, сравнительной оценки и выбора систем разработки месторождений полезных ископаемых является общепризнанным.

Из большого числа классификаций систем разработки рудных месторождений, которые были в разное время опубликованы в отечественной и иностранной литературе, сохранили значение только две-три классификации. Все остальные существовали недолго и в настоящее время совсем не используются.

Наибольшее распространение сегодня имеет классификация академика М.И. Агошкова, в которой все системы делятся на классы по признаку — состояние выработанного пространства.

К I классу — системы с открытым очистным пространством — отнесены системы, при которых очистное пространство, образующееся в результате выемки руды, остается во время разработки выемочного участка открытым, т. е. свободным, не заполненным закладочным материалом, отбитой рудой, крепью или обрушенными породами. Стенки и кровля открытого очистного пространства поддерживаются оставляемыми в рудном теле постоянными или временными целиками руды.

Устойчивость вмещающих пород и руды является обязательным условием для применения систем этого класса.

Ко II классу — системы с магазинированием руды — отнесены системы разработки, при которых очистное пространство по мере выемки рудного массива заполняется отбитой рудой, полностью выпускаемой только по окончании отработки блока. Основным средством поддержания здесь служат, как и в системах с открытым очистным пространством, рудные целики. Замагазинированная руда способствует поддержанию вмещающих пород между целиками, но роль ее как средства поддержания является вспомогательной. Для систем с магазинированием характерны устойчивость вмещающих пород и руды и, как правило, крутое падение рудного тела.

К III классу — системы с закладкой — отнесены системы, при которых очистное пространство, образующееся по мере выемки рудного массива, заполняет-

Классы	Наименование класса	Группы	Наименование группы
I	Системы разработки с открытым очистным пространством	1	Почвоуступные системы
		2	Потолкоуступные системы
		3	Системы со сплошной выемкой
		4	Камерно-столбовые системы
		5	Системы с подэтажной выемкой
		6	Системы с камерно-этажной выемкой
II	Системы разработки с магазинированием руды в очистном пространстве	1	Системы со шпуровой отбойкой из магазина
		2	Системы с отбойкой из специальных выработок
		3	Системы с отбойкой глубокими скважинами
III	Системы разработки с закладкой очистного пространства	1	Системы разработки горизонтальными слоями с закладкой
		2	Системы разработки наклонными слоями с закладкой
		3	Потолкоуступные системы с закладкой
		4	Сплошные системы с закладкой
		5	Системы разработки полосами с закладкой
IV	Системы разработки с креплением очистного пространства	1	Системы с усиленной распорной и станковой крепью
		2	Системы с каменной и комбинированной крепью
V	Системы разработки с креплением и закладкой очистного пространства	1	Системы разработки горизонтальными слоями и уступами с креплением и закладкой
		2	Системы разработки вертикальными прирезками и короткими блоками со станковой крепью и закладкой
		3	Сплошные системы с креплением и закладкой
VI	Системы разработки с обрушением вмещающих пород	1	Системы слоевого обрушения
		2	Щитовые системы разработки
		3	Столбовые системы с обрушением кровли
VII	Системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород	1	Системы подэтажного обрушения
		2	Системы этажного самообрушения
		3	Системы этажного принудительного обрушения
VIII	Комбинированные системы разработки	1	Комбинированные системы с выемкой камер с открытым очистным пространством
		2	Комбинированные системы с выемкой камер с магазинированием руды
		3	Комбинированные системы с выемкой камер с закладкой

ся закладочным материалом. Закладка служит основным средством поддержания вмещающих пород. Крепь располагается только в рабочем призабойном пространстве и сооружается нерегулярно.

В отличие от двух первых классов системы с закладкой могут применяться в породах, которые не допускают открытых обнажений на большой площади и оказывают значительное горное давление.

Системы IV класса — с креплением очистного пространства — характеризуются наличием в очистном пространстве регулярно возводимой вслед за выемкой крепи, которая служит основным средством поддержания вмещающих пород и руды. Эти системы применяют в специфических условиях, когда вмещающие породы и руда не оказывают большого горного давления, но без крепи могут отслаиваться или обваливаться.

К V классу — системы с креплением и закладкой — отнесены системы с заполнением очистного пространст-ва по мере выемки рудного массива закладкой и регулярно возводимой крепью. Закладка и крепь выполняют равную роль в поддержании вмещающих пород и руды. Эти системы применяют в неустойчивых вмещающих породах и рудах, которые склонны к обрушению даже при небольшой площади обнажения. Ввиду очень высокой трудоемкости очистной выемки с закладкой и креплением они применяются только для разработки очень ценных руд.

Системы VI класса — с обрушением вмещающих пород — резко отличаются от систем предыдущих пяти классов заполнением очистного пространства после выемки обрушаемыми вмещающими породами. Крепью поддерживается лишь призабойное рабочее пространство небольших размеров.

В противоположность первым пяти классам си-стем, для которых неустойчивость вмещающих пород затрудняет разработку, склонность пород к самообрушению не только не препятствует применению систем этого класса, но является желательным или непременным условием.

Системы VII класса — с обрушением вмещающих пород и руды — отличаются от систем предыдущего класса тем, что кроме вмещающих пород в процессе очистной выемки подвергается обрушению также массив руды, предварительно подсеченный снизу и с боков. В результате этого очистное пространство по мере его образования заполняется раздробленной рудой и опускающейся вслед за ней обрушенной пустой породой.

К VIII классу — комбинированные системы — отнесены системы разработки мощных месторождений, при которых этаж или панель делится на регулярно чередующиеся, относительно близкие по размерам камеры и междукамерные целики, вынимаемые последовательно в две стадии разными системами. Обычно камеры вынимаются снизу вверх в первую очередь, а целики сверху вниз во вторую очередь, по окончании выемки соседних камер.

Сплошная система разработки. Основной выемочной единицей при сплошной системе разработки является панель. Сущность системы заключается в выемке руды по всей ширине панели на всю мощность рудного тела. Очистное пространство панели ограждают с четырех сторон панельными (барьерными) целиками, а кровлю поддерживают изолированными целиками, оставляемыми в очистном пространстве (рис. 6.54).

Условия применения системы следующие: устойчивые руды и породы; мощность рудного тела от 1 до 25 м; угол падения от 0 — 10° (при использовании самоходного оборудования) до 30 — 40° (при применении переносного оборудования); ценность руд средняя вследствие больших потерь в целиках, которые, как правило, не извлекают; содержание металлов в руде должно быть примерно постоянным.

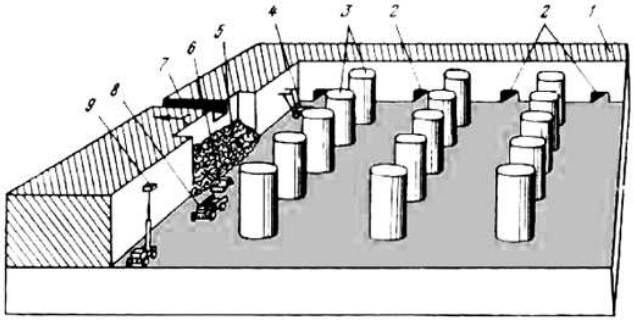


Рис. 6.54. Сплошная система разработки:

1 — панельный целик; 2 — сбойки с панельным штреком; 3 — опорные целики; 4 — самоходная бурильная установка; 5 — навал отбитой руды; 6 — экскаватор; 7 — вентиляционный панельный штрек; 8 — автосамосвал; 9 — машина для оборки и крепления кровли

Камерно-столбовая система разработки. Основной выемочной единицей при этой системе разработки также является панель, которую рядами целиков разделяют на камеры, расположенные по простиранию или падению залежи. Выемку панельных запасов руды при камерно-столбовой системе разработки осуществляют отдельными забоями в камерах. В каждой камере по-очередно выполняют все основные производственные процессы. В остальном система схожа со сплошной.

Условия применения этой системы следующие: устойчивость руд и пород может быть ниже, чем при использовании сплошной системы, из-за уменьшенных размеров камер; мощность рудного тела — от 2—3 до 12—15 м (при использовании самоходного оборудования) и до 15—20 м (в варианте системы со взрывоставкой); угол падения — до 20—25° (при применении самоходного оборудования) и до 45—50° (при использовании взрывоставки); ценность руд может быть достаточно высокой три частичном или полном извлечении целиков; качество руд (содержание металлов) может колебаться в довольно широких пределах, т. к. выемка изолированными камерами позволяет при необходимости добывать руду раздельно по сортам (рис. 6.55).

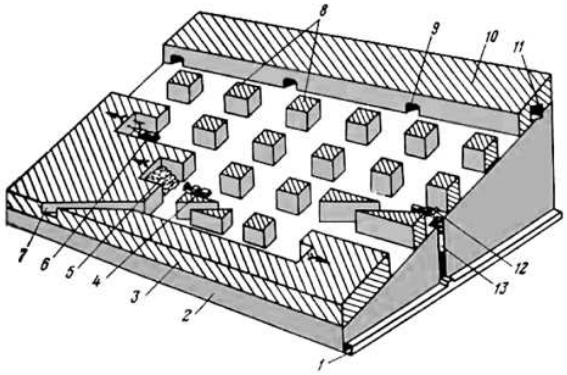


Рис. 6.55. Камерно-столбовая система разработки:

1 — погрузочный квершлаг откаточного горизонта; 2 — подстилающие породы; 3 — рудное тело; 4 — погрузочно-доставочная машина типа ПД; 5 — навал отбитой руды в камере; 6 — самоходная бурильная установка; 7 — наклонный заезд; 8 — опорные целики; 9 — сбойка с вентиляционным штреком; 10 — панельный целик; 11 — вентиляционный штрек; 12 — ПДМ на разгрузке; 13 — рудоспуск

Камерная система. Основной выемочной единицей при применении камерной системы является блок, состоящий из одной или нескольких камер, разделенных междукамерным целиком.

Выемку камерных запасов при этой системе разработки осуществляют под защитой окружающих камеру целиков. Отбитая руда по камере самотеком поступает в воронки или траншеи в основании блока, откуда ее выпускают и грузят в транспортные. Целики обычно извлекают на второй стадии отработки блока.

Камерную систему (ее называют также этажно-камерной и с подэтажной отбойкой) (рис. 6.56) применяют на рудниках цветной металлургии (Тырныаузский, Алтын-Топканский, Лениногорский, Зыряновский, Зан-гезурский комбинаты) и железорудных шахтах в Кривбассе, на Урале, на шахте им. Губкина в КМА. Условия применения камерной системы разработки следующие: устойчивые руды и породы; падение залежей крутое при малой и средней мощности и любое для мощных залежей; мощность крутых залежей не менее 3—5 м, пологих — не менее 20 м; ценность руд может быть различной; при высокой ценности руд целики извлекают после отработки и закладки камер.

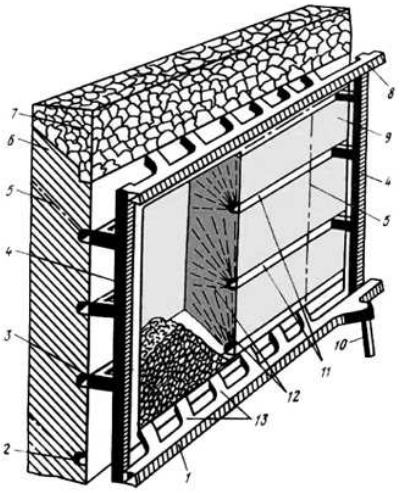


Рис. 6.56. Камерная система:

1 — доставочный штрек; 2 — траншейный штрек; 3 — сбойка восстающего с буровыми подэтажами; 4 — блоковые восстающие; 5 — границы камеры; 6 — междуэтажный целик (наклонная потолочина); 7 — обрушенная порода; 8 — вентиляционный штрек, служивший откаточным для верхнего горизонта; 9 — междукамерный целик; 10 — рудоспуск; 11 — буровые подэтажные штреки; 12 — взрывные скважины; 13 — погрузочные заезды

Система с отбойкой руды из магазина. Выемочная единица при применении системы с отбойкой руды из магазина — блок.

Выемку запасов осуществляют горизонтальными слоями снизу вверх. Люди работают в очистном пространстве под рудным массивом; помостом для них служит отбитая руда, оставляемая (магазинируемая) в выработанном пространстве. Так как руда при отбойке разрыхляется и занимает больше места, чем в нетронутом массиве, часть ее (около 30 %) выпускают после каждой отбойки через основание блока с таким расчетом, чтобы между поверхностью замагазинированной руды и рудным массивом оставалось рабочее пространство высотой около двух метров.

Система с отбойкой из магазина (рис. 6.57) может состоять из трех стадий: отбойка камерных запасов с частичным выпуском отбитой руды, массовый выпуск руды после завершения отбойки и отработка целиков. Вторую и третью стадии нередко совмещают.

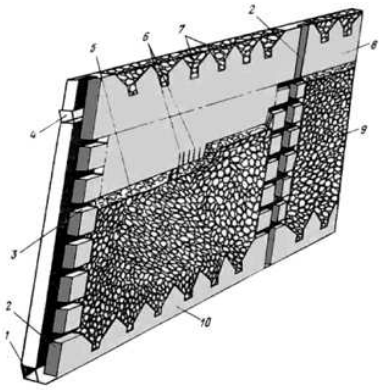


Рис. 6.57. Система с отбойкой из магазина:

1 — откаточный штрек; 2 — блоковый восстающий; 3 — сбойка с камерой; 4 — вентиляционный штрек; 5 — поверхность замагазинированной отбитой руды; 6 — шпуры, буримые телескопным перфоратором; 7 — пустая порода в воронках отработанного этажа; 8 — потолочина; 9 — отбитая руда перед массовым выпуском; 10 — днище блока

Условия применения этой системы следующие: руды устойчивые, т. к. под рудным массивом работают люди; породы могут обладать более низкой устойчивостью, по-скольку отбитая замагазинированная руда в некоторой мере предотвращает их обрушение; мощность рудных тел небольшая; руда не должна слеживаться; угол падения — не менее 55—60°, при меньших углах на лежачем боку после выпуска остается много рудной мелочи.

Система разработки горизонтальными слоями с закладкой. Выемочная единица при применении этой системы разработки — блок.

Выемку руды в блоке осуществляют горизонтальными слоями снизу вверх с использованием шпуровой отбойки. После выемки каждого слоя выработанное пространство заполняют на высоту одного слоя закладкой, которая является как бы помостом для людей и оборудования, работающих в забое. Выемку руды в слое ведут заходками шириной до 6—12 м, всплошную без целиков или по схеме камера—целик (т. е. сначала выемка в камерах, а затем в целиках между заложенными камерами).

Условия применения этой системы следующие: устойчивость руд не ниже средней, т. к. работы осуществляют под рудным массивом; устойчивость пород может быть различной; наличие необходимости сохранения поверхности или обеспечения наиболее полного извлечения руды.

Применение системы с закладкой связано со значительными затратами, поэтому ее используют в тех случаях, когда другие системы неприменимы из-за высоких потерь (при разработке ценных руд) или из-за необходимости сохранения поверхности. Основные варианты системы отличаются использованием различных видов закладки: сухой, гидравлической или твердеющей (рис. 6.58).

Нисходящая слоевая выемка с твердеющей закладкой. Выемочная единица при применении этой системы — блок. Выемку запасов блока осуществляют заходками послойно сверху вниз (в нисходящем порядке). Очистные работы ведут в заходках под защитой искусственного (закладочного) массива (рис. 6.59).

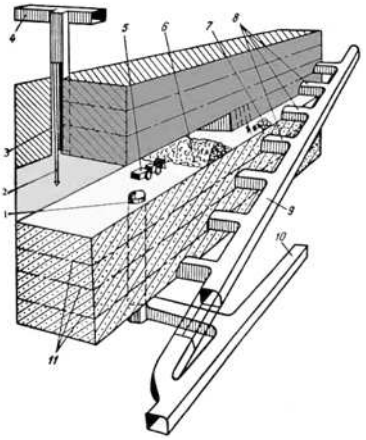


Рис. 6.58. Горизонтальные слои с закладкой:

1 — рудоспуск; 2 — трубопровод для закладки; 3 — вентиляционно-закладочный восстающий; 4 — вентиляционно-закладочный горизонт; 5 — погрузочно-доставочная машина; 6 — навал отбитой руды; 7 — бурильная установка; 8 — сбойки накладного съезда со слоями; 9 — наклонный съезд; 10 — откаточный горизонт; 11 — границы слоев

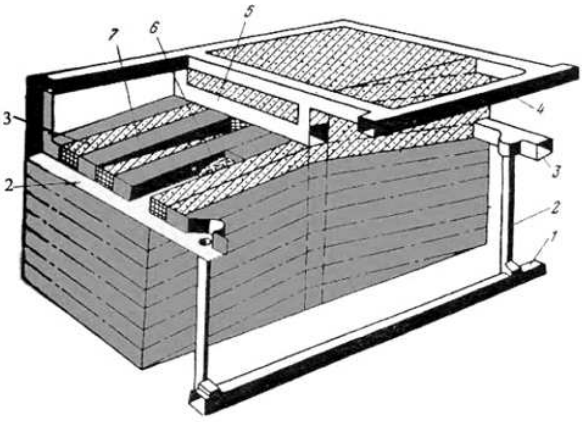


Рис. 6.59. Нисходящая слоевая выемка с твердеющей закладкой:

1 — откаточный горизонт; 2 — рудоспуск; 3 — слоевые орты; 4 — вентиляционно-закладочный горизонт; 5 — закладочный орт; 6 — заходка в стадии проведения; 7 — заходка в стадии закладки; 8 — вентиляционный восстающий; 9 — заложенная заходка

Условия применения системы следующие: наличие слабых, неустойчивых ценных руд, повышенного горного давления; необходимость сохранения налегающих пород от обрушения.

Систему применяют на рудниках Норильского ГМК, на Тишинском и ряде других рудников цветной металлургии.

Этажное принудительное обрушение. Основной выемочной единицей при применении системы этажного принудительного обрушения является блок или секция.

Обрушение руды взрывами скважинных зарядов осуществляют на всю высоту этажа. Выпуск отбитой руды ведут через выработки в основании блока.

Вмещающие породы обрушают вслед за рудой и заполняют ими выработанное пространство, поэтому выпуск руды ведут под обрушенными породами.

Условия применения этой системы следующие: наличие возможности обрушения поверхности и налегающей толщи; руды и породы устойчивые и средней устойчивости; залежи мощные, в основном крутые (возможно наклонное и пологое залегание); руды неслеживающиеся, несамовозгорающиеся; изменения содержания полезных компонентов в руде небольшие, т. к. раздельную выемку по сортам вести нельзя; ценность руд средняя из-за значительных потерь и разубоживания (рис. 6.60).

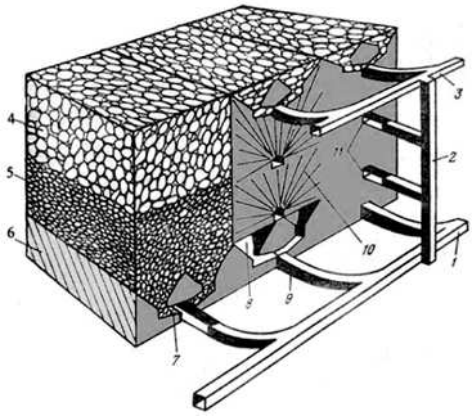


Рис. 6.60. Этажное обрушение со сплошной выемкой и отбойкой в зажиме

1 — откаточный штрек; 2 — блоковый восстающий; 3 — вентиляционный штрек; 4 — обрушенная порода; 5 — отбитая руда; 6 — днище блока; 7 — ниша вибропитателя; 8 — воронка; 9 — погрузочный орт; 10 — веер скважин; 11 — буровые

Основные варианты системы: со сплошной выемкой и отбойкой в зажиме, с отбойкой на компенсационное пространство. В первом случае залежь отрабатывают по ее длине частями (секциями). Во втором — сначала вынимают часть запасов блока. Назначение этого компенсационного пространства состоит в том, чтобы возместить увеличение объема руды при отбойке (за счет ее разрыхления). Этот вариант имеет много общего с камерной системой с обрушением целиков.

Подэтажное обрушение. Выемочной единицей при применении системы подэтажного обрушения является часть подэтажа (панель, секция). Руду обрушают на высоту подэтажа. Выпуск отбитой руды осуществляют под обрушенными породами через выработки в основании каждого подэтажа. Подэтажи отрабатывают в нисходящем порядке (рис. 6.61).

Подэтажное обрушение применяют тогда, когда невозможно или невыгодно этажное обрушение. Общим для обеих систем является наличие возможности обрушения поверхности и налегающей толщи пород. Под-этажное обрушение предпочтительнее этажного, если руды недостаточно устойчивы, и выработки для выпуска могут выйти из строя (разрушаться) раньше, чем будет выпущена вся руда из блока; мощность или угол падения неприемлемы для этажного обрушения; залежь имеет сложную форму, вследствие этого при этажной отработке возможны большие потери или чрезмерное примешивание пустых пород по контактам; в рудном теле много включений пустых пород или же руда имеет резкие колебания качества, поэтому необходима раз-дельная (селективная) выемка руды и породы.

Основные варианты системы — подэтажное обрушение с донным и торцевым выпуском руды.

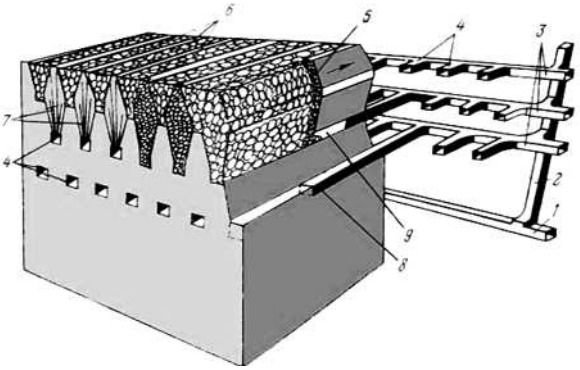


Рис. 6.61. Подэтажное обрушение с торцевым выпуском:

1 — откаточный штрек; 2 — рудоспуск; 3 — подэтажные штреки; 4 — подэтажные орты; 5 — слой отбитой руды; 6 — обрушенная порода; 7 — веера скважин; 8 — орт в процессе проведения; 9 — место выпуска отбитой руды в торце орта

Столбовая система с обрушением кровли. Выемочной единицей при применении этой системы является столб — прямоугольная в плане панель, длина которой намного больше ширины.

Выемка столба руды — сплошная заходками или лавами, перпендикулярными его длине, на всю мощность залежи. Призабойное пространство крепят, причем крепь перемещают вслед за забоем и кровля за ней обрушается (рис. 6.62).

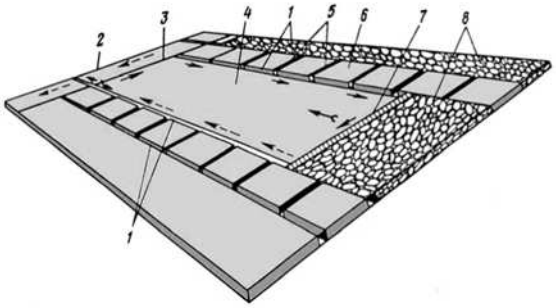


Рис. 6.62. Столбовая система с обрушением кровли:

1 — парные выемочные штреки; 2 — главный вентиляционный штрек; 3 — главный конвейерный штрек; 4 — столб; 5 — сбойки; 6 — целик; 7 — лава, оборудованная механизированным комплексом; 8 — обрушенная порода

Условия применения столбовой системы с обрушением кровли следующие: наличие горизонтальных или пологих маломощных залежей, залегающих в неустойчивых породах, и возможность обрушения налегающих пород.

Основные варианты системы: с выемкой лавами (длинными забоями на всю ширину столба) и с выемкой заходками (также по ширине столба).

Комбинированные системы разработки. К комбинированным относятся системы разработки мощных месторождений, при которых этаж делится на камеры и междукамерные целики, относительно близкие по размерам, вырабатываемые одновременно или последовательно различными системами. При разработке месторождений мощностью более 15 — 20 м камеры и целики располагаются длинной стороной вкрест простирания. Ширина камер и междукамерных целиков, вынимаемых вкрест простирания, колеблется в значительных пределах в зависимо-

сти от горно-геологических условий разработки и конструктивного оформления системы, ширина камер обычно колеблется от 8 до 15 — 20 м и междукамерных целиков — от 6 до 10 — 12 м. Толщина потолочины в камерах принимается от 0,2 — 0,3 до 0,5 — 0,6 ширины камеры в зависимости от устойчивости руды. Толщина днища камеры колеблется от 4 — 5 до 10 — 12 м в зависимости от выпуска руды через горизонт дробления, скреперования или непосредственно на откаточный горизонт. Соотношение запасов руды, вынимаемых из камер и целиков при выемке вкрест простирания, обычно колеблется от 1:1 до 2:1.

Комбинированные системы разработки следует характеризовать как в отношении выемки камер, так и в отношении выемки целиков. При выемке камер применяются следующие системы разработки: системы с магазинированием руды; системы с открытым очистным пространством; системы с закладкой очистного пространства; системы с креплением и закладкой очист-ного пространства. Применяемые системы разработки междукамерных целиков при различных системах разработки камер представлены на рис. 6.63.

Системы разработки, применяемые при выемке руды из камер	Системы разработки, применяемые при выемке руды из междукамерных целиков	Примечание
I. Системы с магазинированием руды без последующей закладки камер	1. Системы с этажным обрушением целиков (до выпуска руды из камер) 2. Системы с послойным обрушением целиков сверху вниз (в процессе выпуска руды из камер)	к п. 1: Выпуск отбитой руды из камер и целиков производится одновременно
II. Системы с открытым очистным пространством без последующей закладки камер	1. Системы с этажным обрушением целиков 2. Системы слоевого или подэтажного обрушения после обрушения потолочины камеры и прилегающих к ней пород	к п. 1: Применяются при весьма бедной руде и при добыче закладки
III. Системы с магазинированием руды или с открытым очистным пространством с последующей закладкой камер	1. Системы с креплением и закладкой короткими блоками или вертикальными прирезками 2. Системы слоевого или подэтажного обрушения	к п. 1: Применяются при невозможности обрушения поверхности и вмещающих пород
IV. Системы с закладкой очистного пространства	1.Системы слоевого обрушения 2. Системы с креплением и закладкой короткими блоками или вертикальными прирезками	к п. 2: При невозможности обрушения поверхности и вмещающих пород
V. Системы с креплением и закладкой (с выемкой руды по всей ширине и длине камеры слоями снизу вверх)	1. Системы с креплением и закладкой короткими блоками или вертикальными прирезками 2. Системы с креплением и закладкой (с выемкой руды по всей ширине и длине целика слоями сверху вниз)	к п. 2: При невозможности обрушения поверхности и вмещающих пород

Рис. 6.63. Системы разработки камер и целиков при комбинированных системах разработки

При наименовании комбинированных систем разработки должны быть отражены способы выемки целиков и камер (например: «Система разработки с магазинированием руды камерами вкрест простирания и последующей закладкой камер и выемкой целиков слоевым обрушением»). На практике комбинированные системы имеют наименования, характеризующие лишь системы выемки камер. Такие наименования неполны и требуют дополнительных разъяснений, касающихся выемки целиков.

Конструктивное оформление системы должно производиться с учетом наилучшего использования горных выработок как при выемке камер, так и при выемки целиков. Для того чтобы получить наибольший эффект выемки камеры и целика, т. е. в целом всего блока, надо принимать целесообразные размеры ширины камер и целиков.

Выше были приведены общие сведения, касающиеся комбинированных систем разработки. Каждая из систем, входящая в ту или иную комбинацию, была подробно рассмотрена в одном из предыдущих классов систем. Описанные выше в различных классах системы разработки камерами вкрест простирания являются, по существу, системами разработки камер при применение тех или иных комбинированных систем. В качестве примера на рис. 6.64 (см. вкл.)показана комбинированная система разработки с магазинированием руды камерами вкрест простирания с выемкой целиков подэтажным обрушением одновременно с выпуском руды из камер.

При выборе комбинированной системы разработки следует учитывать, что устойчивость массива руды междукамерного целика после выемки камер обычно понижена.

К комбинированной системе разработки предъявляются те же требования, что и к любой из рассмотренных выше систем (она должна быть эффективной и отвечать требованиям безопасности, экономичности и производительности).

Технико-экономические показатели комбинированных систем разработки должны определиться с учетом удельного веса отдельных систем и их показателей.

Выбор наиболее эффективной системы разработки, отвечающей основным требованиям — безопасно-сти, экономичности и производительности, является одним из важнейших вопросов при разработке рудных месторождений. Порядок выбора системы разработки может быть следующий: в первую очередь следует производить отбор возможных систем, исходя из горногеологических и горнотехнических факторов. Отбор рекомендуется делать по таблице, в которой должны быть перечислены основные факторы, их характеристики и возможные системы разработки.

Для правильного выбора систем целесообразно вначале отобрать возможные для применения классы систем разработки, после чего перейти к выбору возможных систем разработки, относящихся к отобранным классам.

Учет конструктивных элементов системы (уменьшение ширины камер, увеличение ширины или толщины целиков или составление предохранительных толщ у обнаженных контактов рудного тела) позволяет в ряде случаев выбирать системы с магазинированием руды или с открытым очистным пространством при пониженной устойчивости руды и вмещающих пород.

Окончательно выбирают наиболее эффективную систему по технико-экономическим показателям. Выбранная система должна удовлетворять всем требованиям безопасности.

Технико-экономическое сравнение отобранных систем разработки можно производить по их рентабельности. Рентабельность следует устанавливать исходя из стоимости извлекаемых полезных компонентов по рыночным ценам и технологических затрат на добычу и переработку руды. Необходимо иметь в виду, что показатели обогащения и металлургического передела часто зависят от показателей работы рудника. Так, невыполнение требований технологии, предъявляемых к качеству добываемой руды (руда сильно засорена пустой породой, не разделена на сорта и классы), может резко понизить извлечение полезных компонентов и значительно увеличить затраты по переработке и транспорту.

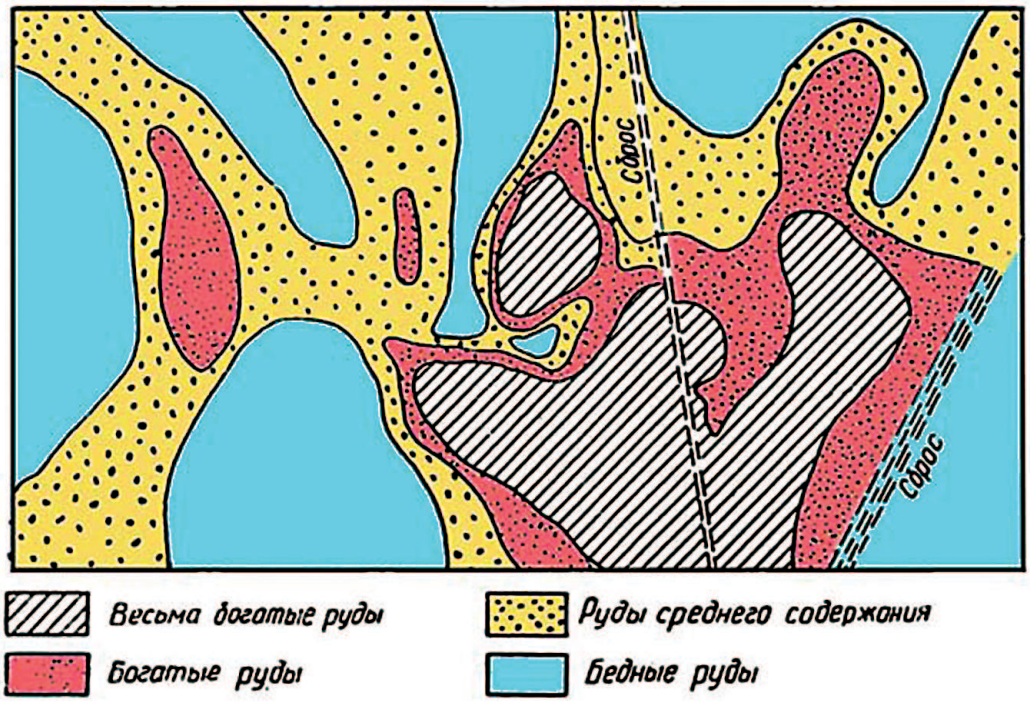


Рис. 6.72. Распределение золота в жиле (разрез в плоскости жилы)

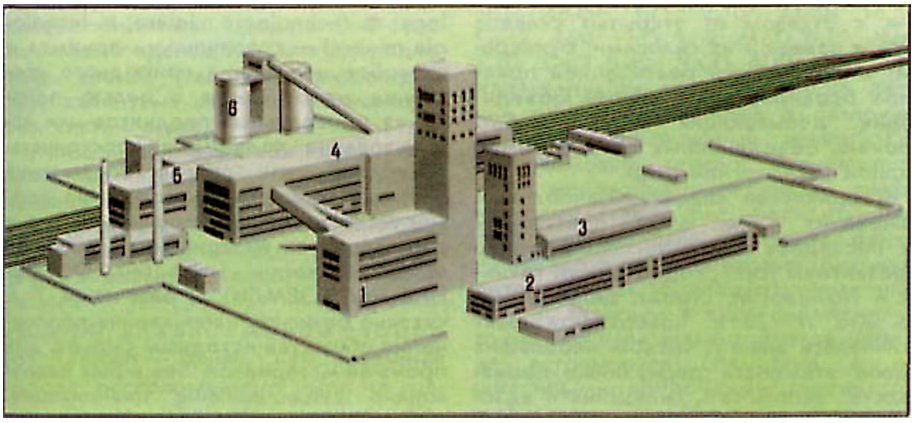


Рис. 6.83. Общий вид шахтной поверхности со сблокированными зданиями и сооружениями:

1 — блок главного ствола; 2 — административно-бытовой комбинат; 3 — блок вспомогательного ствола; 4 — главный корпус обогатительной фабрики; 5 — корпус сортировки и погрузки угля; 6 — склад щебня

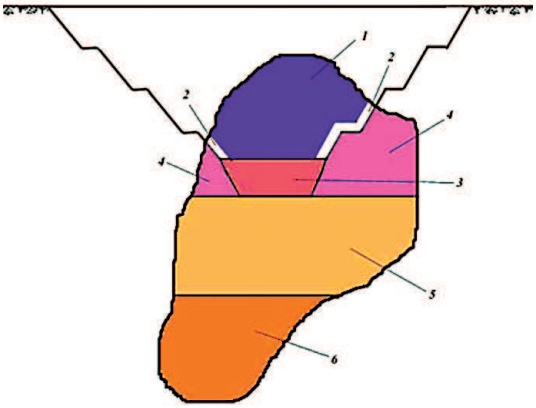


Рис. 7.3. Схема к классификации запасов месторождений, осваиваемых комбинированной технологией:

1 — карьерные запасы, удаленные от предельного контура; 2 — карьерные приконтурные запасы; 3 — открыто-подземные запасы; 4 — шахтные прибортовые; 5 — шахтные подкарьерные; 6 — шахтные, удаленные от контура карьера

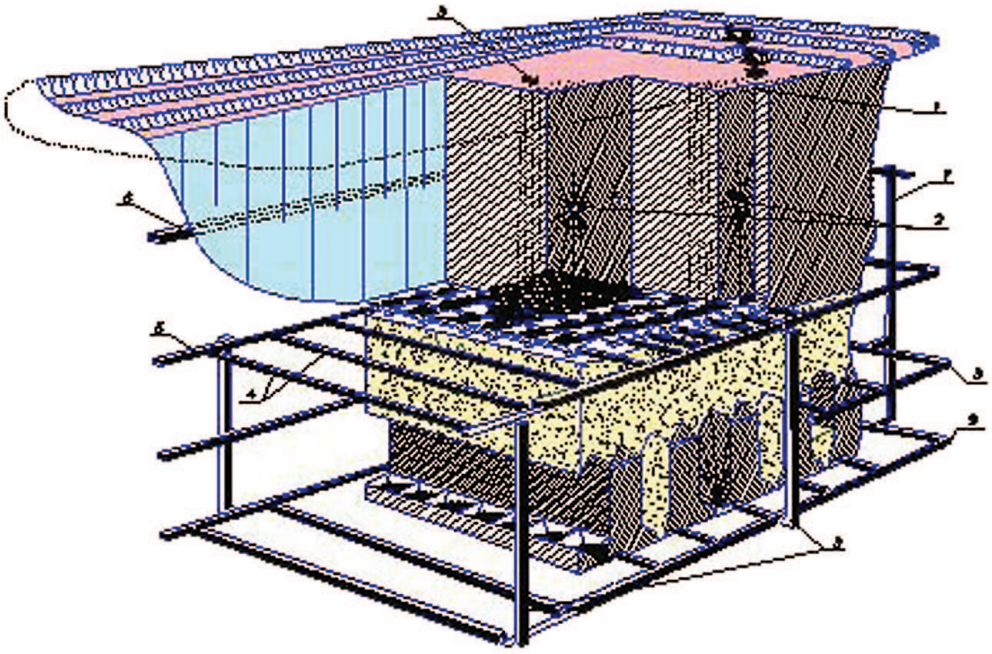


Рис. 7.4. Комбинированная разработка с открытым очистным пространством в переходной зоне и закладкой на подземном руднике:

1 — отрезная щель; 2 — буровые орты; 3 — рудоспуски; 4 — доставочный орт; 5 — откаточный горизонт; 6 — подэтажный штрек; 7 — вентиляционно-ходовой восстающий; 8 — буровой станок на дистанционном управлении

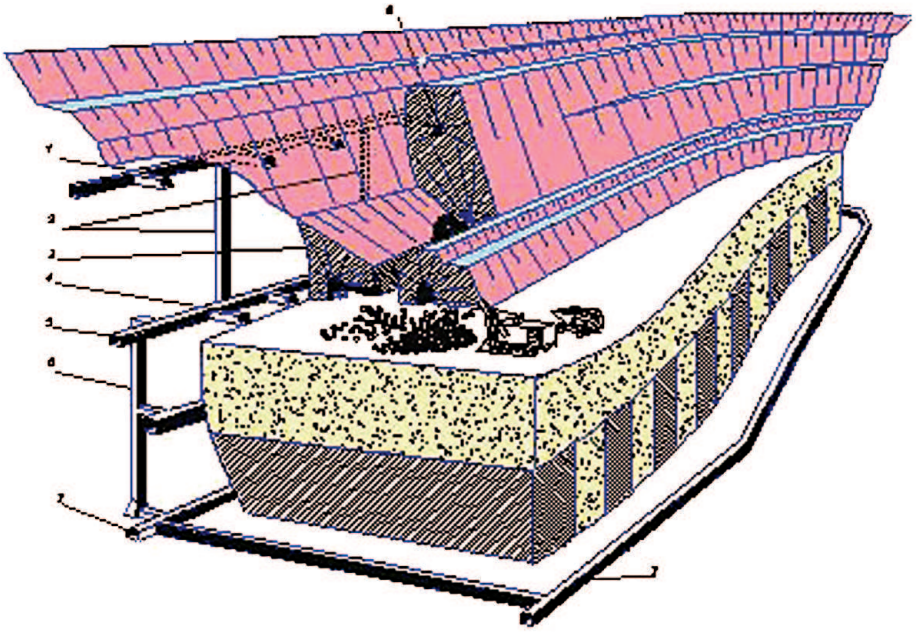


Рис. 7.5. Комбинированная разработка с закладкой на подземном руднике и последующей отработкой прибортовых запасов взрыванием вееров скважин:

1 — вентиляционный штрек; 2 — вентиляционно-ходовой восстающий; 3 — рудоприемная траншея; 4 — заезды; 5 — доставочный штрек; 6 — рудоспуск; 7 — кольцевой откаточный штрек; 8 — буровые выработки

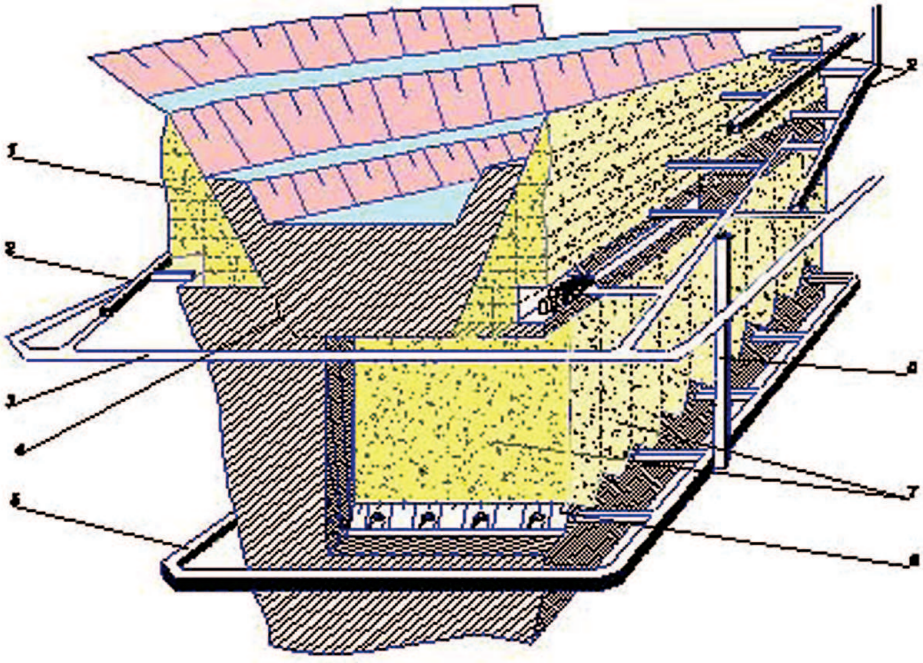


Рис. 7.6. Комбинированная разработка с опережающей отработкой прибортовых запасов с закладкой:

1 — подпорные стенки; 2 — наклонный съезд; 3 — вентиляционно-закладочный горизонт; 4 — предельный контур карьера; 5 — доставочный горизонт; 6 — рудоприемная траншея; 7 — камера; 8 — рудоспуск

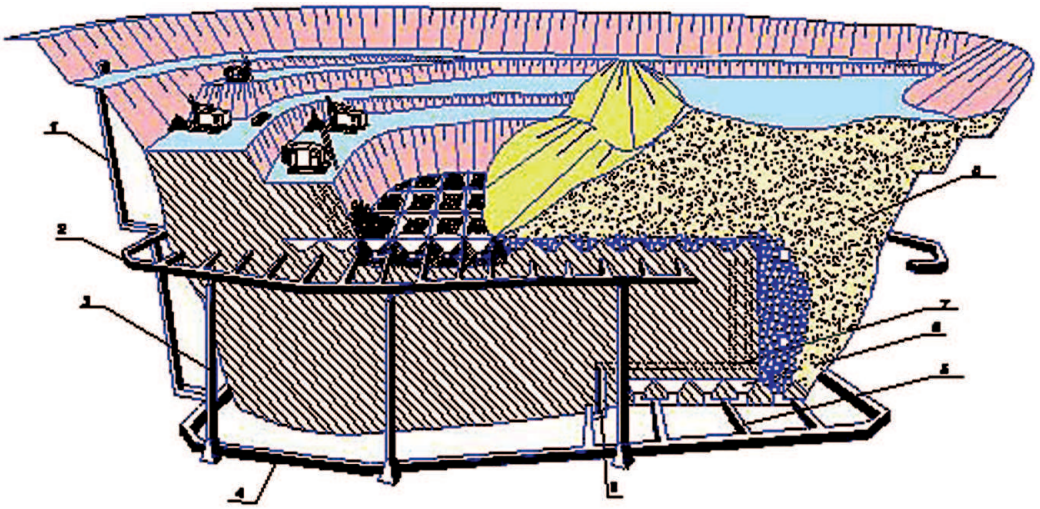


Рис. 7.7. Комбинированная разработка с обрушением и площадным выпуском:
1 — вентиляционно-ходовой восстающей; 2 — кольцевой доставочный штрек ОПЯ; 3 — рудоспуск; 4 — кольцевой откаточный штрек; 5 — заезды; 6 — рудоприемные воронки; 7 — буровой штрек; 8 — внутренний отвал; 9 — восстающий

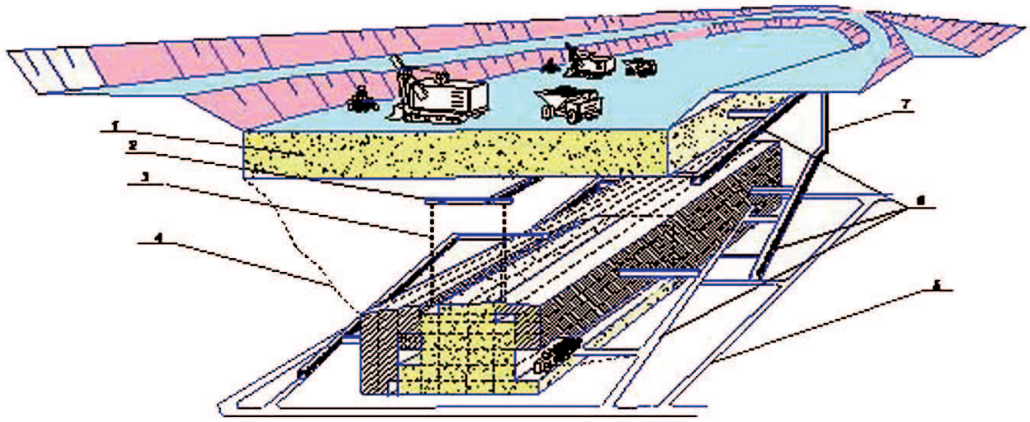


Рис. 7.8. Комбинированная разработка с отработкой горизонтальными слоями с закладкой в переходной зоне и подземного рудника:
1 — искусственная потолочина; 2 — вентиляционно-закладочный горизонт; 3 — закладочные скважины; 4 — контур рудного тела; 5 — откаточный горизонт; 6 — наклонный съезд

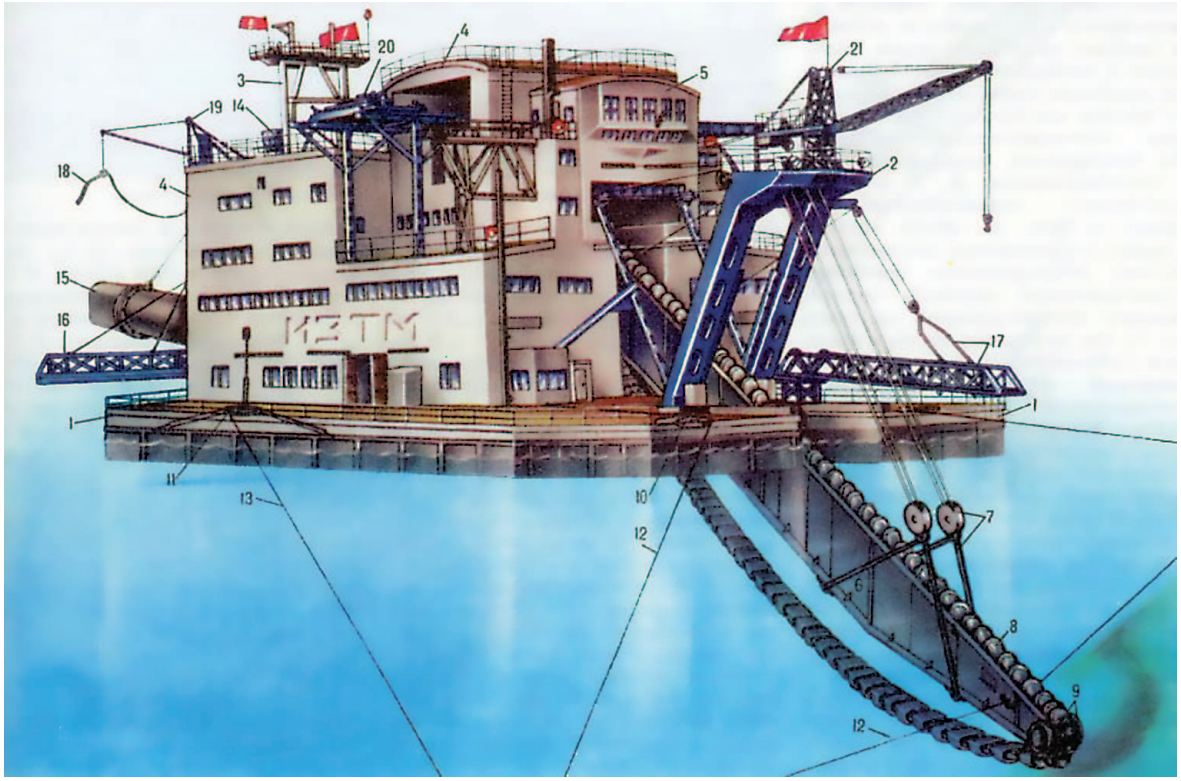


Рис. 8.2. Общий вид электрической драги модели 250Д (250л):

1 — понтон; 2, 3 — соответственно передняя и задняя мачты; 4 — надстройка; 5 — драгерское помещение; 6 — черпаковая рама; 7 — подвес черпаковой рамы; 8 — черпаковая цепь; 9 — нижний черпаковый барабан; 10, 11 — соответственно ведущие ролики носовых (12) и кормовых (13) маневровых канатов; 14 — свая; 15 — отвалообразователь (стакер); 16 — хвостовые колоды; 17 — береговой мостик (трап); 18 — силовой (береговой) кабель; 19 — консоль для подвески силового кабеля; 20 — мостовой кран; 21 — вспомогательный кран на передней мачте



Рис. 8.1. Общий вид драги

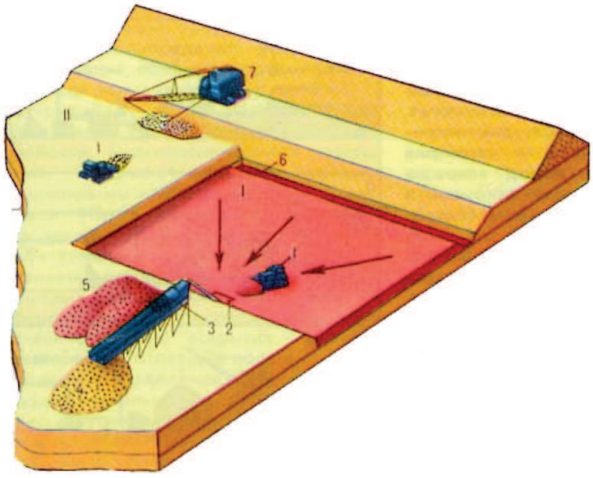


Рис. 8.3. Участок открытой разработки россыпи:
I — полигон добычных работ;
II — полигон вскрышных работ;
1 — бульдозер; 2 — бункер;
3 — промывочная установка;
4 и 5 — отвалы хвостов промывки;
6 — разрезная канава;
7 — экскаватор

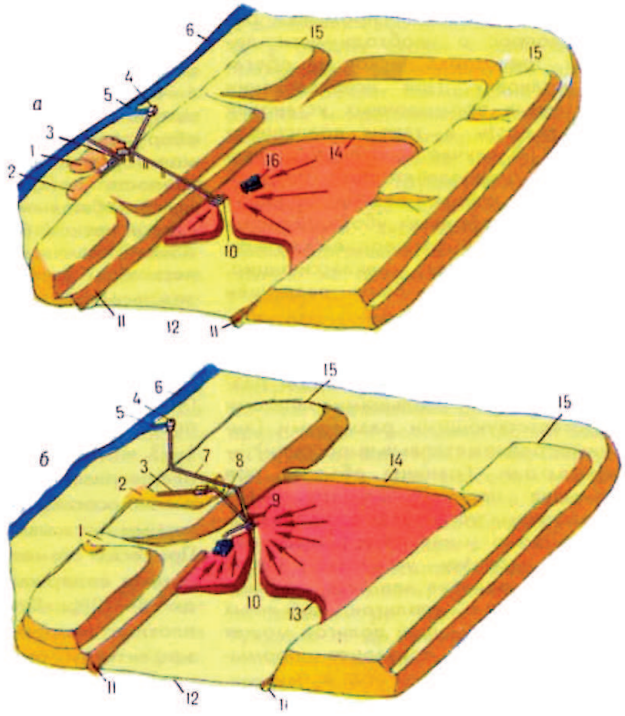


Рис. 8.4. Технологическая схема бульдозерно-скреперной разработки россыпи с промывкой песков на переставных промывочных установках с конвейерным (а) и гидравлическим (б) подъемом песков:

1 — хвосты от гидровашгерда; 2 — хвосты от шлюза; 3 — шлюз; 4 — насосный агрегат; 5 — водозаводная канава; 6 — нагорная канава; 7 — водовод; 8 — пульпопровод; 9 — гидромонитор; 10 — бункер; 11 — разрезная канава; 12 — плотик; 13 — пески; 14 — торфа; 15 — отвал торфов; 16 — бульдозер

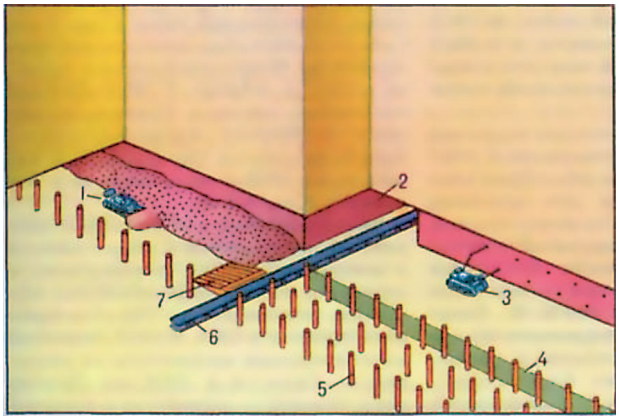


Рис. 8.5. Схема отработки мерзлой россыпи комплексно-механизированными лавами при сплошной системе разработки

1 — электробульдозер на доставке взорванных песков:; 2 — транспортный штрек; 3 — буровая каретка на обуривании плоскости забоя лавы; 4 — экран для предотвращения разлета песков; 5 — крепежные стойки; 6 — ленточный конвейер; 7 — перегрузочный полок

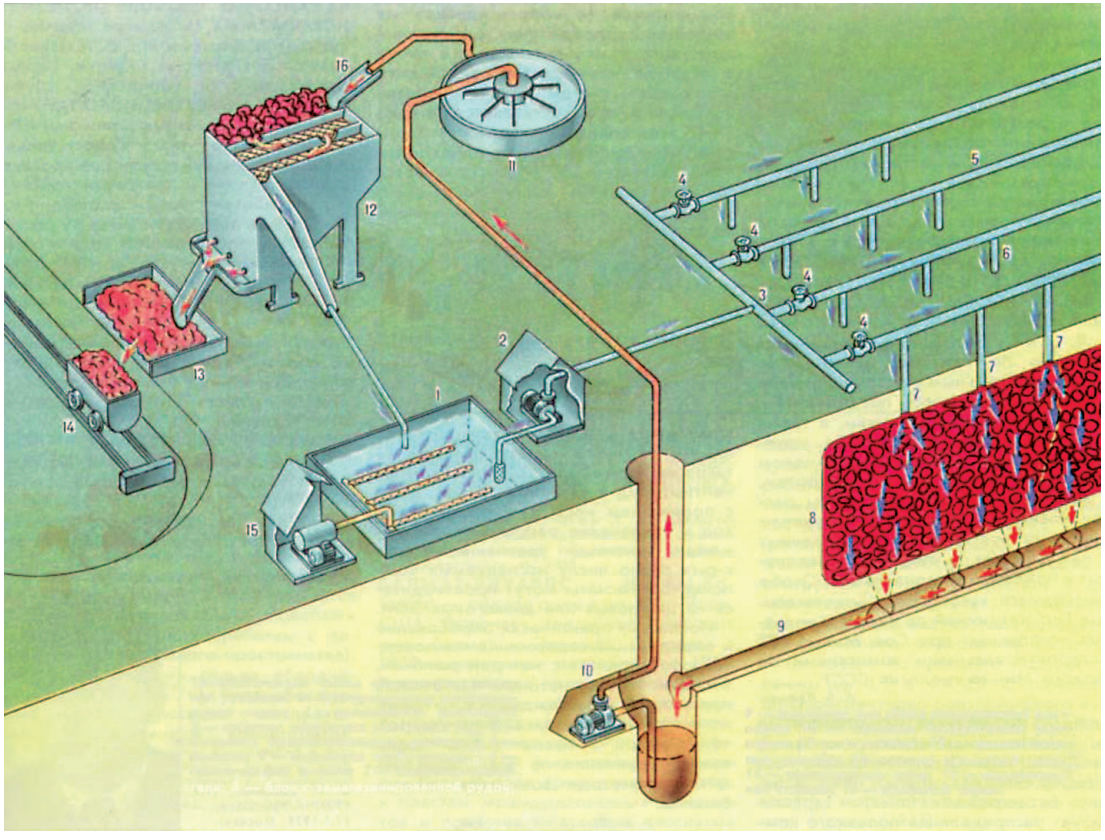


Рис. 8.6. Технологическая схема опытно-промышленной установки по выщелачиванию меди:

1 — регенератор растворов; 2 — насосная оборотных растворов; 3 — трубопровод выщелачивающего раствора; 4 — вентили; 5 — подающие трубопроводы; 6 — оросительные шланги; 7 — скважины-оросители; 8 — блок с замагазинированной рудой; 9 — выработка для сбора продуктивных растворов; 10 — насосная продуктивных растворов; 11 — сгуститель; 12 — цементационные желоба; 13 — сушка цементной меди; 14 — транспортные пути; 15 — компрессорная станция; 16 — железный скрап

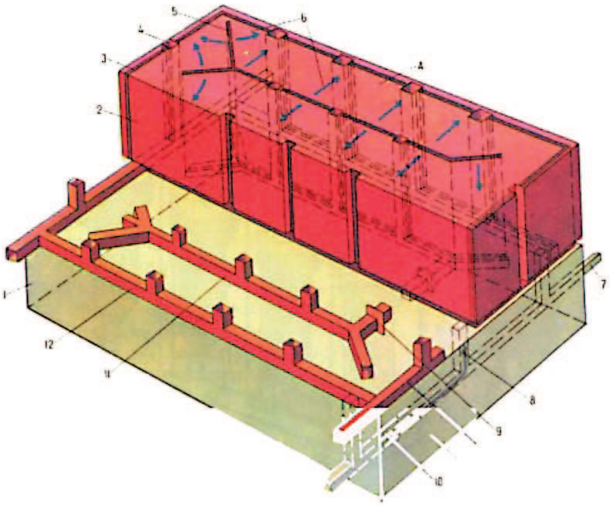


Рис. 8.7. Шахтная система выщелачивания металла фильтрационным потоком реагента из руд с естественной проницаемостью, с контурным расположением дренажных горных выработок:

А — эксплуатируемый блок, Б — нижняя часть подготавливаемого блока; 1 — подстилающие водоупорные безрудные породы; 2 — проницаемые рудоносные породы; 3 — дренажная контурная щель; 4 — компенсационный восстающий для проходки дренажной щели; 5 — нагнетательная (раствороподающая) щель; 6 — линии тока выщелачивающего реагента через рудоносный массив; 7 — полевой квершлаг; 8 — восстающий на рудный горизонт; 9 — растворонепроницаемая перемычка; 10 — трубопровод для подачи в блоки выщелачивающего реагента; 11 — нагнетательный орт; 12 — подготовительный (дренажный) штрек

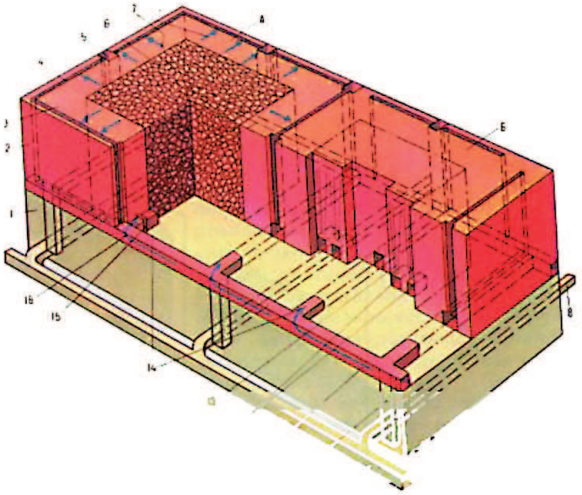


Рис. 8.8. Шахтная система выщелачивания металла фильтрационным потоком реагента с отбойкой и магазинированием руды в обособленных закрытых камерах, оконтуренных слабофильтрующими целиками:

А — эксплуатируемый блок; Б — подготавливаемый блок; 1 — подстилающие водоупорные безрудные породы; 2 — слабопроницаемые рудоносные породы; 3 — фильтрующий целик; 4 — дренажная контурная щель; 5 — компенсационный восстающий для проходки дренажной щели; 6 — камера с замагазинированной в зажатой среде рудой; 7 — линии тока выщелачивающего реагента через фильтрующий целик; 8 — полевой квершлаг; 9 — полевой откаточный штрек; 10 — восстающий на рудный горизонт; 11 — подготовительный рудный штрек; 12 — выпускные орты; 13 — скважины для отбойки руды в камере; 14 — нагнетательные (раствороподающие) орты; 15 — растворонепроницаемая перемычка; 16 — трубопровод для подачи в камеру выщелачивающего реагента

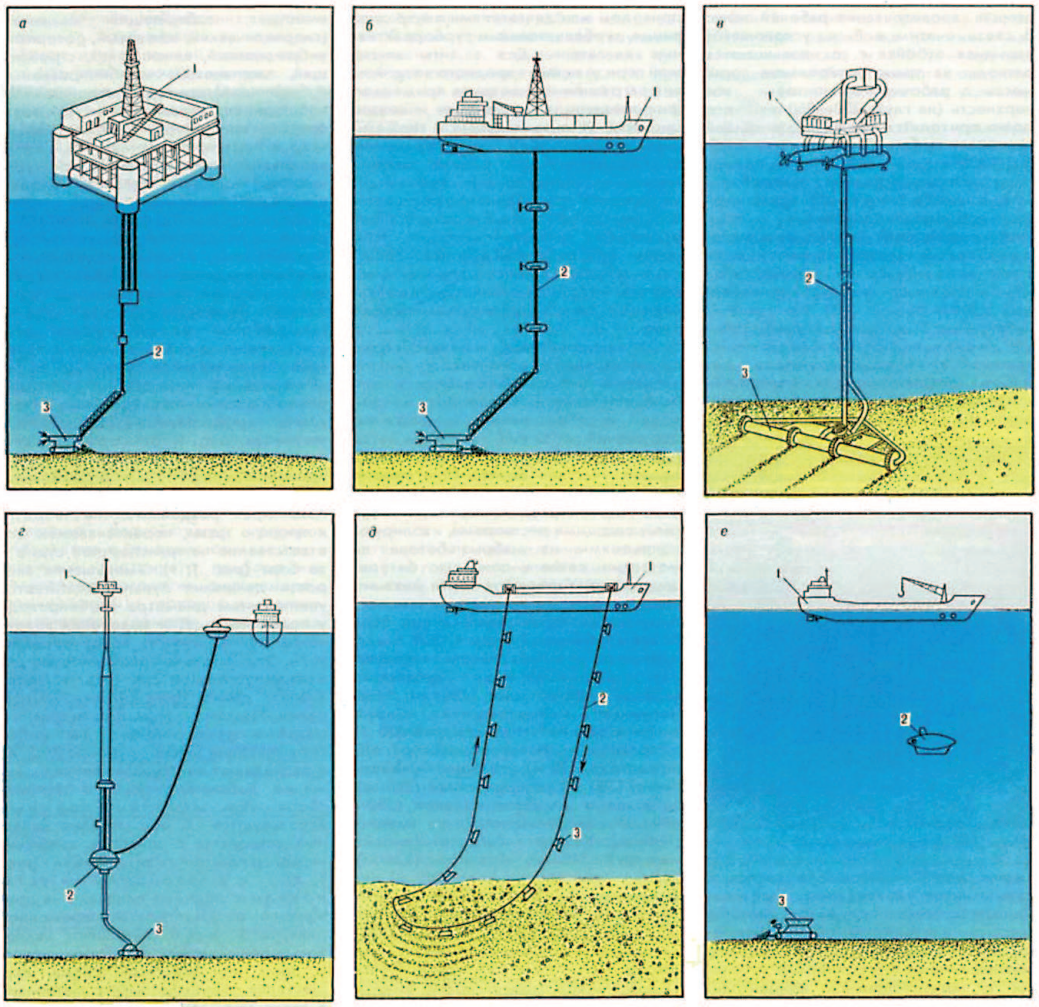


Рис. 8.10. Предлагаемые схемы глубоководной добычи твердых полезных ископаемых:
Типы установок: а — эрлифтная; б — с перекачивающими насосами; в — трубопроводно-контейнерная; г — с подводной камерой; д — канатно-скиповая; е — автономная;
1 — плавсредство; 2 — установка подъема; 3 — агрегат сбора

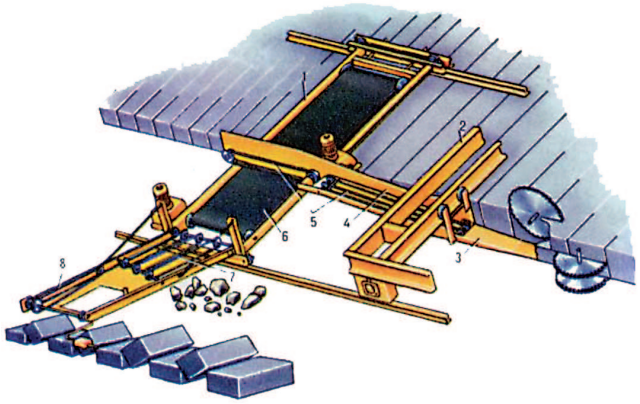


Рис. 9.1. Камнеуборочная машина в забое карьера:
1 — рама камнеуборочной машины; 2, 3, 4 — соответственно рама, отжимной клин и направляющий борт камнерезной машины; 5 и 7 — цепные конвейеры камнеуборочной машины; 6 — ленточный конвейер; 8 — цепь поворота блоков

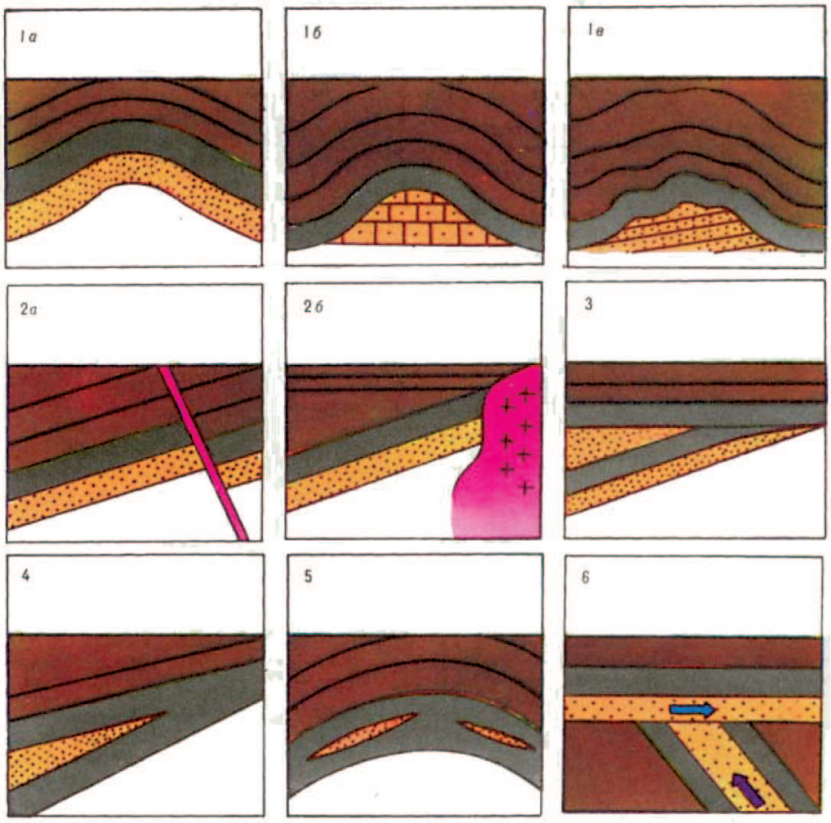


Рис. 10.1. Типы ловушек нефти и газа:

1 — сводовые (а — в антиклиналях; б — в рифовом массиве; в — в эрозионном выступе); 2 — тектонически экранированные (а — экранированные сбросом; б — экранированные боковой поверхностью соляного массива, глиняного диапира, жерла грязевого вулкана или интрузивного массива); 3 — стратиграфически экранированные; 4 — литологически экранированные; 5 — линзообразные (литологически ограниченные); 6 — гидродинамические

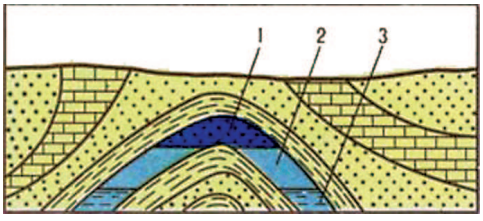


Рис. 10.2. Схема нефтяной залежи с газовой шапкой:

1 — газовая шапка; 2 — нефть; 3 — вода

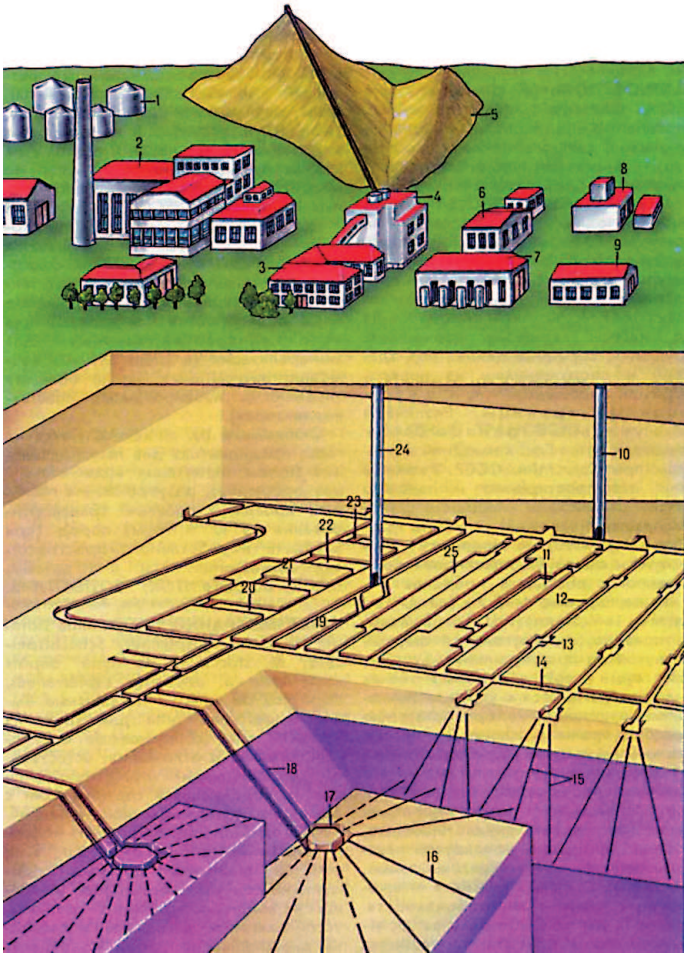


Рис. 10.3. Схема нефтяной шахты:

1 — товарный парк; 2 — котельная; 3 — административно-бытовой корпус; 4 — надшахтное здание подъемного ствола; 5 — отвал горных пород; 6 — здание подъемной установки; 7 — компрессорная; 8 — вентиляторная; 9 — ремонтно-механическая мастерская; 10 — вентиляционный ствол; 11 — камера-склад взрывчатых веществ; 12 — полевой штрек; 13 — буровая камера; 14 — капитальная горная выработка; 15 — подземные наклонные и вертикальные скважины; 16 — подземные горизонтальные и пологонаклонные (пологовосстающие) скважины; 17 — добывающая галерея; 18 — наклонные горные выработки; 19 — грузовая и порожняковые выработки; 20 — камера центральной нефтеперекачивающей станции; 21 — камера центральной насосной станции водоотлива; 22 — камера центральной нефтеловушки с емкостями для сбора добываемой жидкости и насосной станцией; 23 — отстойник для сбора механических примесей; 24 — подъемный ствол; 25 — электровозное депо

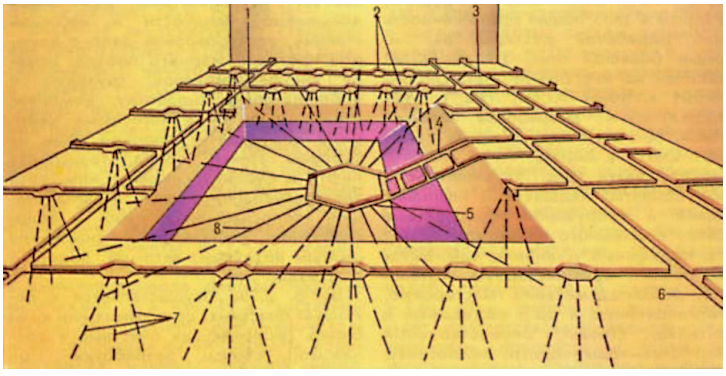


Рис. 10.4. Двухгоризонтная система шахтной добычи нефти:

1 — этажный промежуточный штрек; 2 — полевые штреки; 3 — этажный вентиляционный штрек; 4 — уклон; 5 — эксплуатационная галерея; 6 — этажный откаточный штрек; 7 — нагнетательные скважины; 8 — добывающие скважины

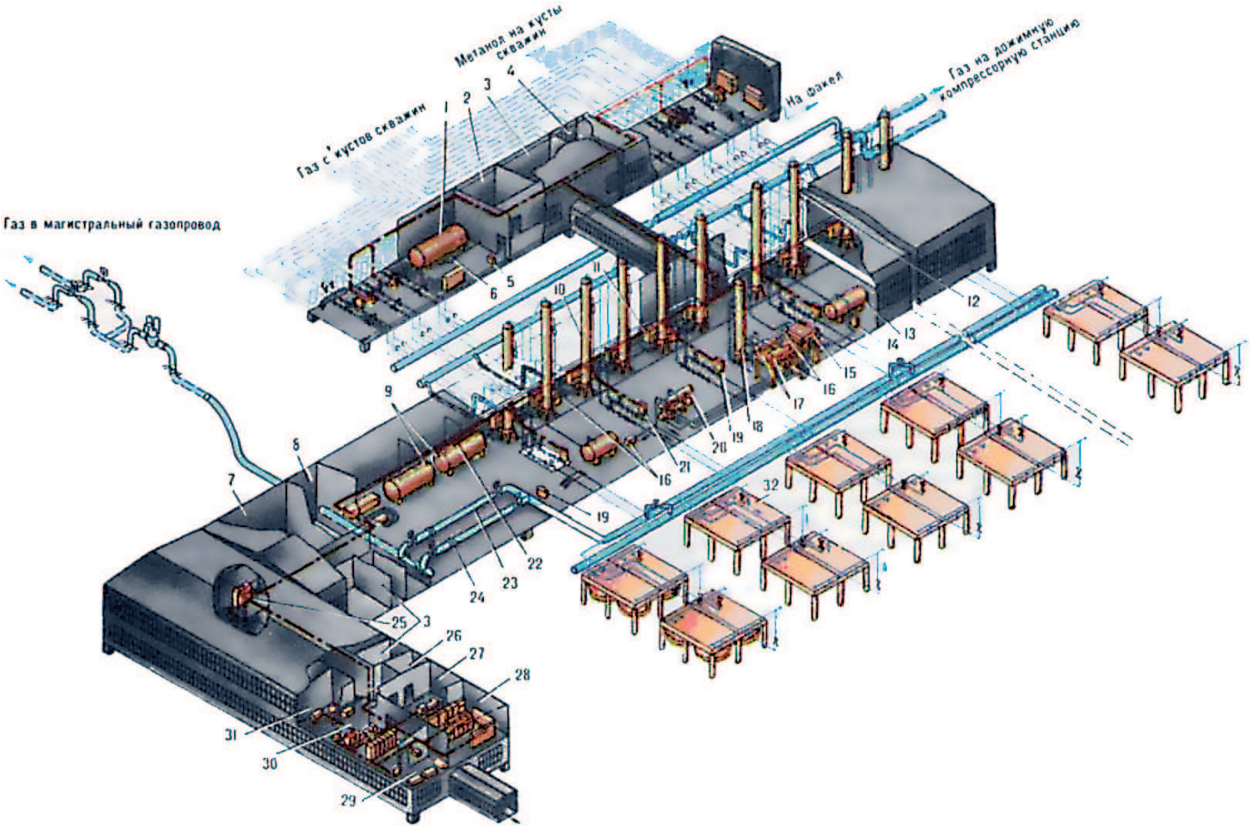


Рис. 10.5. Схема обустройства газового промысла:

1 — сепаратор замерный; 2 — электрощитовые и контрольно-измерительные приборы; 3 — вентиляционная камера; 4 — помещение газа собственных нужд; 5 — концентратомер регенерированного метанола; 6 — счетчик жидкости; 7 — воздушная компрессорная; 8 — маслохозяйство; 9 — разделительная емкость; 10 — адсорбер; 11 — блок арматурный по жидкости; 12 — расходомер диэтиленгликоля; 13 — емкость регенерированного диэтиленгликоля; 14 — концентратомер регенерированного диэтиленгликоля; 15 — автомат воздушного охлаждения диэтиленгликоля; 16 — блок насоса; 17 — испарители; 18 — десорбер; 19 — измеритель влажности газа; 20 — теплообменник; 21 — стойка контрольно-измерительных приборов и аппаратуры; 22 — абсорбент; 23 — узел хозрасчетного замера газа; 24 — быстросъемные диафрагмы; 25 — кабельная шахта; 26 — помещение оператора; 27 — операторная; 28 — аппаратная; 29 — помещение технического обслуживания; 30 — машинный зал; 31 — насосная метанола и диэтиленгликоля; 32 — аппарат воздушного охлаждения

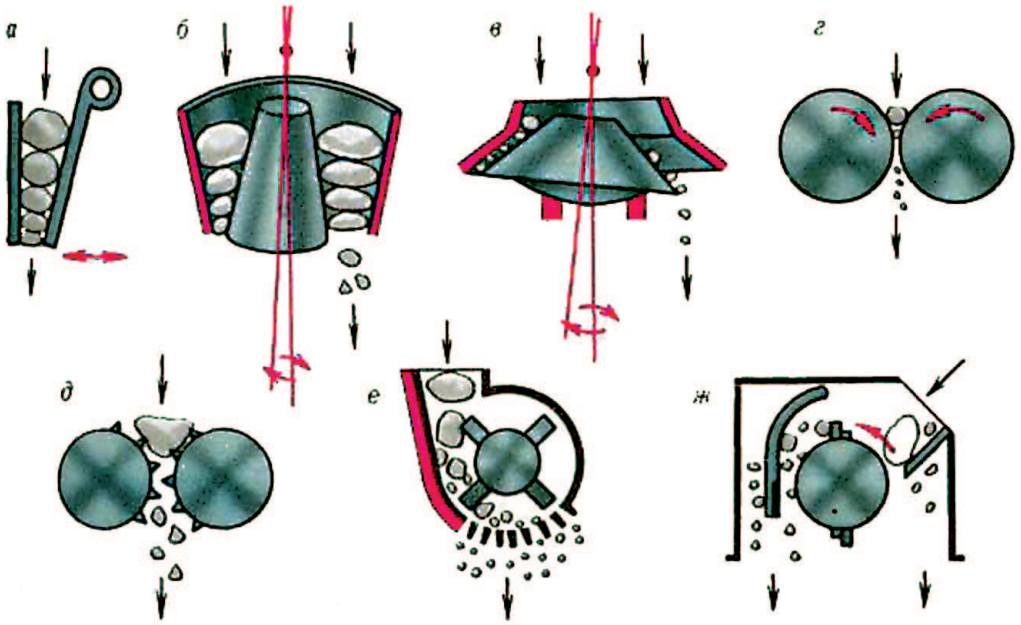


Рис. 12.1. Принципиальные схемы дробилок:
а — щековая; б — конусная крупного дробления; в — конусная среднего и мелкого дробления; г — валковая; д — валковая зубчатая; е — молотковая; ж — роторная

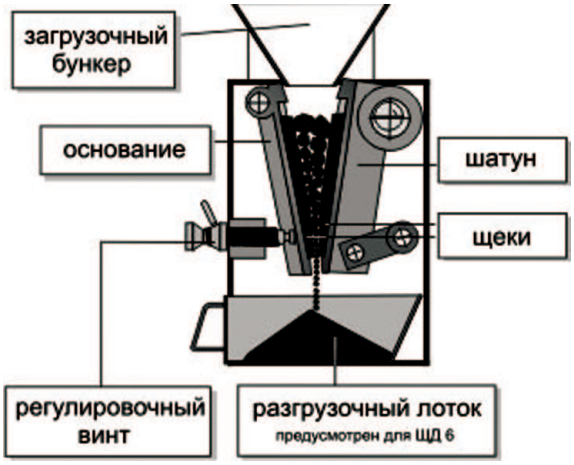


Рис. 12.2. Схемы щековой дробилки ЩД 10

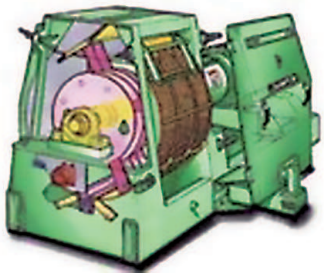
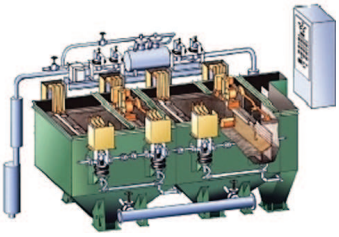


Рис. 12.3. Молотковая дробилка





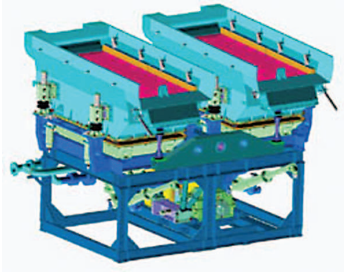


Рис. 12.4. Отсадочные машины:
а — с подвижным решетом; б — диафрагмовая с подвижным решетом; в — диафрагмовая с неподвижным решетом

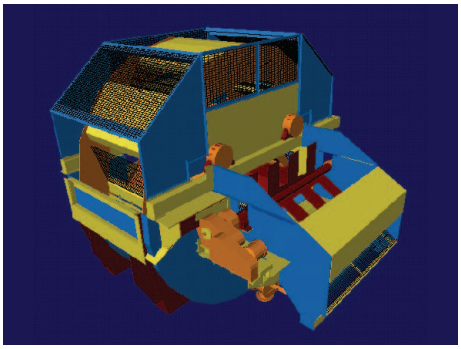


Рис. 12.5. Колесный сепаратор с вертикальным элеваторным кольцом

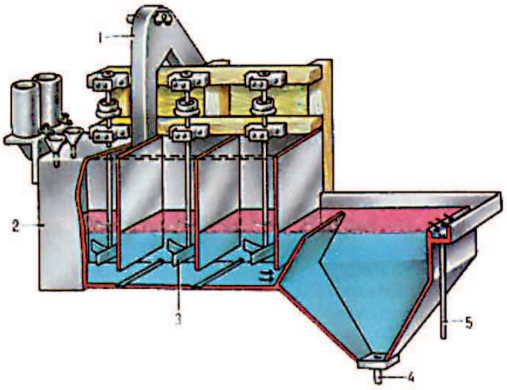


Рис. 12.6. Флотационная машина механического типа:
1 — элеватор для подачи пульпы; 2 — агитационная камера, разделенная на три части; 3 — импеллеры; 4 — выпускная труба для хвостов; 5 — труба для отвода концентрата

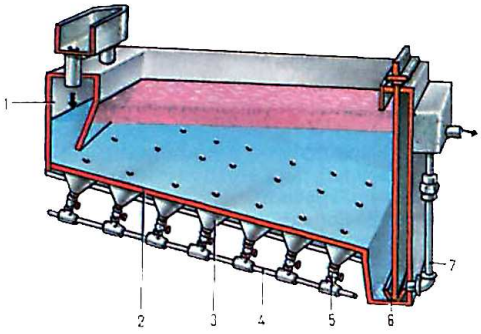


Рис. 12.7. Флотационная машина пневматического типа:
1 — камера питания; 2 — аэратор (пористая ткань); 3 — воздушная камера; 4 — воздуховод; 5 — вентиль регулировки расхода воздуха; 6 — резервный клапан разгрузки машины; 7 — хвостовая труба

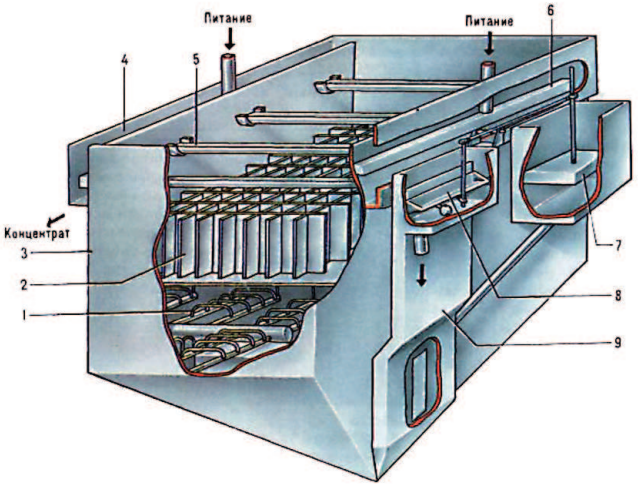


Рис. 12.8. Колонная флотационная машина:
1 — диспергаторы воздуха; 2 — успокоительные решетки; 3 — камера; 4 — приемник пенного продукта; 5, 6 — распределители питания; 7 — поплавок; 8 — шиберная заслонка; 9 — шиберный карман

Технико-экономическое сравнение систем разработки только по показателям работы рудника или шахты неполно. Достаточным оно может быть лишь в том случае, если полезное ископаемое, добываемое рудником или шахтой, является конечной продукцией, по-ступающей непосредственно к потребителю.

Рентабельность системы разработки определяется по основной формуле

$$D = V - U,$$

где D — рентабельность, руб.; V — стоимость извлекаемого полезного компонента из балансовых запасов руды в массиве по государственной оптовой цене; U — все технологические затраты, относящиеся к запасам руды в массиве, руб.

Ниже приведены упрощенные формулы, позволяющие определить сравнительную рентабельность промышленного использования руды, добываемой различными системами разработки (с допустимой степенью точности):

$$V = \frac{a_м\, \varepsilon_д\, \varepsilon_п\, Q}{100^2 a_п} \cdot P,$$

где $a_м$ — среднее содержание полезного компонента в руде в массиве, %; $\varepsilon_д$ — извлечение полезного компонента при добыче, %; $\varepsilon_п$ — извлечение полезного компонента при технологическом процессе, %;

$$\varepsilon_п = \frac{\varepsilon_о \varepsilon_м}{100},$$

где $\varepsilon_о$ — извлечение полезного компонента при обогащении, %; $\varepsilon_м$ — извлечение полезного компонента при металлургическом переделе, %; $a_п$ — содержание полезного компонента готовой продукции (например, содержание чистой меди в черновой меди), %; Q — балансовый запас руды в массиве, т; P — стоимость единицы выпускаемой готовой продукции по рыночной цене, руб.;

$$U = U_1 + U_2,$$

где U_1 — затраты по добыче, обогащению и транспорту до фабрики, отнесенные к балансовым запасам руды в массиве с учетом потерь и разубоживания; U_2 — затраты по металлургическому переделу, отнесенные к балансовым запасам руды в массиве с учетом потерь;

$$U_1 = \frac{(U_Д + U_o + U_{ТР}) \cdot Q \cdot K_И}{(1 - K_Р)}, \text{ руб.},$$

где $U_д$ — себестоимость добычи 1 т руды франко-бункер на поверхности, руб.; $U_о$ — себестоимость обогащения 1 т руды, руб.; $U_{тр}$ — себестоимость транспорта 1 т руды от рудника до фабрики, руб.; $K_и$ — коэффициент извлечения руды при добыче (в долях единицы); $K_р$ — коэффициент разубоживания руды при добыче (в долях единицы);

$$U_2 = \frac{a_М \cdot \varepsilon_Д \cdot \varepsilon_О \cdot Q \cdot (U_М + U_{ТР \cdot К})}{100^2 a_К}, \text{ руб.},$$

где $a_к$ — содержание полезного компонента в концентрате, %; $U_м$ — себестоимость металлургического передела на 1 т концентрата, руб.; $U_{тр.к}$ — себестоимость транспорта 1 т концентрата от фабрики до завода, руб.

При расчете отдельные показатели могут быть взяты из практики работы соответствующих предприятий или определены ориентировочно. Ориентировочное определение показателей в ряде случаев вполне допустимо, например, при оценке разведываемых месторождений, поскольку исходные данные для сравнения (за-

пасы, качество руды, горно-геологическая характери-стика) являются неточными. Более точное сравнение возможных систем разработки может и должно быть сделано позже проектными организациями на основе уточненных данных.

6.3. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

6.3.1. Особенности строения, вскрытия, подготовительных работ и типы геотехнологий

Рудными жилами принято называть рудные тела, у которых два геометрических измерения (обычно размеры по линии падения и по линии простирания) намного больше третьего (размер вкрест простирания, именуемый мощностью жилы).

Рудные жилы по генетическому признаку можно разделить на две основные группы:

1) жилы выполнения, образовавшиеся путем заполнения («выполнения») трещинной полости в горных породах минеральным веществом;

2) жилы замещения, образовавшиеся в основном путем метасоматического замещения горных пород минеральным веществом вдоль трещин, по которым циркулировали рудоносные растворы.

Нередко при образовании жил происходили одновременно процессы выполнения и замещения.

Рудные жилы магматогенного происхождения как первой, так и второй группы образуются в процессе кристаллизации рудных и сопровождающих их жильных минералов из горячих водных растворов, минерализованных газов и рудоносных расплавов, поднимающихся вдоль трещин и разломов в горных породах. Гидротермальные месторождения (жилы) поэтому почти всегда приурочены к таким местным геологическим структурам, с которыми связаны трещины и разломы (к сводовым частям и внутрипластовым трещинам антиклинальных складок, к трещинам в изверженных горных породах и т. д.).

Второстепенное практическое значение имеют гипергенные рудные жилы, образовавшиеся путем кристаллизации минералов из поверхностных растворов, которые опускаются по трещинам. Обогащение раст-воров металлами происходит в этом случае за счет ранее сформированных рудных жил или выщелачивания вмещающих пород.

По форме жилы делятся на простые и сложные. Простую форму обычно имеют жилы выполнения. Контакты простых жил с вмещающими горными породами обычно более или менее отчетливы и правильны. В жилах так называемого поясового, симметричного или несимметричного строения с неравномерным выполнением рудного тела различным минеральным веществом контакты обычно сложены иными породами, чем центральная часть.

Сложные жилы состоят из ряда тонких жил и множества прожилков, которые возникают вслед-ствие разветвления главной трещины на сеть более тонких трещин, служащих путями для движения рудоносных растворов. Сложные жилы с обеих сторон не имеют четко выраженных контактов с боковыми породами.

Среди простых и сложных жил, в свою очередь, можно выделить ряд морфологических разновидностей: плитообразные, гребенчатые, рубцовые, четковидные, камерные, линзообразные, чечевицеобразные, сетчатые, лестничные, ступенчатые, седловидные, кулисообразные, минерализованные зоны разломов, зоны вкрапления, зоны разлистования, штокверки и др.

Некоторые из этих наименований в практике употребляются очень редко или даже совсем не употребляются. В чрезмерном дроблении жил на морфологические типы для изучения систем разработки жильных месторождений нет необходимости, оно может привести к путанице и усложнению терминологии.

Достаточно в группе простых жил различать плитообразные, рубцовые, камерные и линзообразные, а в группе сложных жил — сетчатые, ветвящиеся, лестничные, седловидные, рудные зоны и штокверки.

Плитообразные жилы имеют довольно постоянную, чаще небольшую мощность и обычно значительные размеры по простиранию и падению.

Рубцовыми называют жилы, в которых утолщения (раздувы) разной длины чередуются с участками пониженной мощности (рис. 6.65). Если раздувы в жиле находятся очень близко друг от друга, то такие жилы иногда называют четковидными. Выделять последние особо от рубцовых жил не имеет смысла, потому что между ними нельзя провести какой-то определенной границы.

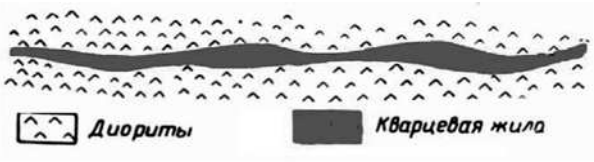


Рис. 6.65. Рубцовая жила (рудник «Дарасун»)

Камерные жилы (рис. 6.66) по существу также представляют разновидность рубцовых, но их особенно-стью является наличие очень мощных, отчетливо выраженных раздувов, имеющих форму «камер».



Рис. 6.66. Камерная жила (рудник «Дарасун»)

Линзообразные жилы характеризуются чередованием значительной длины по простиранию и падению линзообразных раздувов жилы и полных выклиниваний ее также на более или менее значительном протяжении.

Сетчатые жилы (рис. 6.67) состоят из большого количества сближенных жил и прожилков, пересекающихся в различных направлениях и в своей совокупности образующих промышленное рудное тело с более или менее постоянной мощностью.

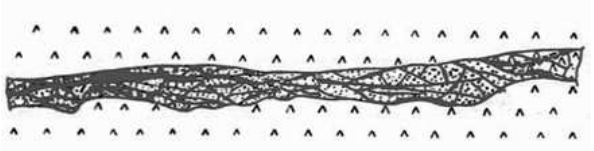


Рис. 6.67. Сетчатая жила (рудник «Дарасун»)

Ветвящиеся жилы отличаются от сетчатых тем, что слагающие их основные ветви жилы и прожилки не секут друг друга в различных направлениях, а распо-

лагаются более или менее согласно в пределах зоны разлистования (рис. 6.68) или вдоль трещин (зон) разлома. Иногда основная жила местами бывает выражена отчетливо, но затем расщепляется (ветвится) на ряд более тонких жил и прожилков (рис. 6.69), которые снова соединяются и т. д. Следует отметить, что между сетчатыми и ветвящимися жилами имеются переходные разновидности.

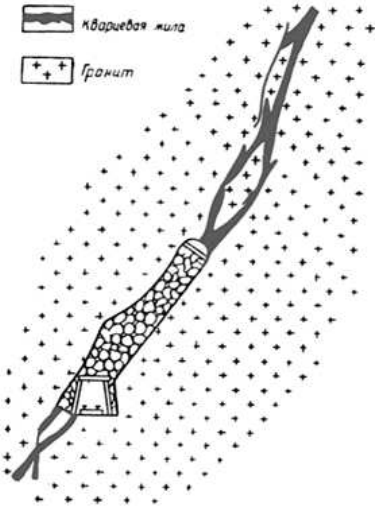


Рис. 6.68. Ветвящаяся жила в зоне разлистования

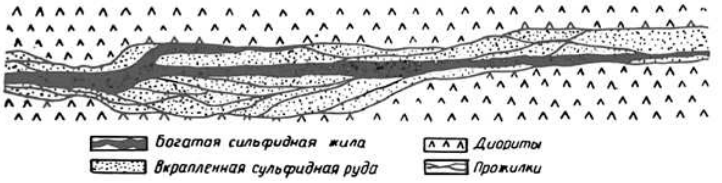


Рис. 6.69. Ветвящаяся жила (рудник «Дарасун»)

Лестничные жилы (рис. 6.70) состоят из серии коротких жил и прожилков, располагающихся в дайках перпендикулярно или диагонально их мощности.

Седловидные жилы образуются в сводах антиклинальных складок (рис. 6.71).

Морфология жил оказывает очень большое влияние на выбор систем разработки и технологию очистной выемки.

По отношению к вмещающим породам жилы можно разделить на секущие и согласные.

Секущие жилы рассекают вмещающие породы под углом; элементы их залегания не связаны с напластованием, слоистостью, чередованием состава вмещающих пород.

Согласные жилы располагаются согласно простиранию и падению вмещающих пород или вдоль поверхности контактов изверженных пород с осадочными и метаморфическими. Частный случай согласных жил — седловидные жилы.

Химический состав и физические свойства вмещающих пород оказывают влияние на формирование жильных месторождений как в момент образования рудоносных растворов, так и в процессе отложения руд во время циркуляции растворов по трещинам. Известен ряд пород (известняки, доломиты, мергели, конгломераты с известковым цементом), химический состав которых весьма благоприятен для их метасоматического замещения. Но и в этом случае замещение может

не произойти, если породы не обладают свойствами проницаемости, т. е. не имеют трещин, пористости, сланцеватости, являющихся необходимыми факторами для локализации оруднения.

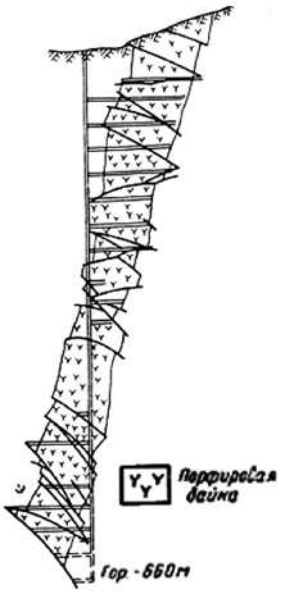


Рис 6.70. Лестничные жилы на руднике «Монинг Стар» (Западная Австралия)

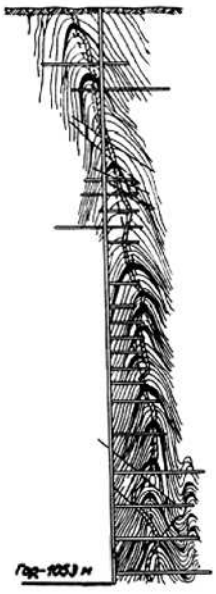


Рис. 6.71. Седловидные жилы

Часто в результате прохождения рудоносных раст-воров по трещинам происходит околорудное изменение пород, выражающееся в их окварцевании, серицитизации, пиритизации, хлоритизации, турмалинизации и др. В некоторых случаях околорудноизмененные породы содержат вкрапленное оруднение, которое является кондиционной рудой.

При установлении области применения систем с раздельной и валовой выемкой и особенно при выборе систем разработки жильных месторождений важен характер контактов рудного тела с вмещающими породами. В литературе этот вопрос освещен очень слабо, поэтому остановимся специально на характеристике контактов жил и вмещающих пород.

По времени образования контакты можно разделить на сингенетические и эпигенетические, а по отношению к тектоническим нарушениям на нормальные и тектонические.

Сингенетические контакты характерны для рудных тел, которые образуются одновременно с вмещающей их горной породой, в противоположность эпигенетическим, появляющимся при выполнении жильным веществом ранее существовавших открытых трещин.

Нормальные контакты — это контакты, возникшие при образовании жилы и не нарушенные послерудными смещениями. Переход от руды к вмещающей породе в данном случае может быть как постепенным, так и резким.

Тектонические контакты обычно возникают вследствие послерудных смещений. Для них характерна резкая граница между рудой и породой, наличие плоскостей скольжения, глинистых, тонких слюдяных и других оторочек, обусловливающих легкую отделяемость руды от вмещающих пород.

Контакты могут быть четкими и неясными. Четкие контакты обычно наблюдаются в жильных телах выполнения открытых трещин. Для месторождений с четкими контактами характерно различие в вещественном составе рудного тела и вмещающих пород, что позволяет на глаз легко определить контур рудного тела. Неясные контакты, характеризующиеся постепенным переходом от рудного тела к вмещающей породе, чаще всего наблюдаются в жилах метасоматического замещения. Иногда переход от руды к вмещающей породе настолько постепенен и незаметен, что уловить границу можно только путем тщательного опробования.

По форме контактовые поверхности можно разделить на ровные и извилистые. *При ровных контактах* не наблюдается ответвлений жилы, апофиз, оруднения вмещающих пород. *Извилистые контакты* характеризуются наличием апофиз, ветвлением самой жилы, а также метасоматическим замещением рудным веществом вмещающей породы.

По степени отделяемости контакты различают на прочные и слабые. *При прочных контактах* сопротивление при отделении руды от породы по контакту очень велико. Часто такие контакты грейзенизированы, скарнированы, окварцованы. В этом случае жильную массу невозможно чисто отделить от вмещающей породы; она отбивается вместе с породой в виде сростков, вследствие чего увеличивается разубоживание руды. *При слабых контактах,* наоборот, жильная масса не связана прочно с вмещающей породой, имеются прослойки из более мягкой породы (глина, слюда, охра и др.) или тектонические трещины, способствующие хорошей отделяемости жильной массы от боковой породы. При отбойке сростки жильной массы с породой, как правило, отсутствуют, и расход взрывчатых веществ по сравнению с отбойкой при прочных контактах резко уменьшается.

По сочетанию проведенных выше наиболее важных признаков — четкости, прочности и морфологии — можно выделить четыре основных типа контактов, встречающихся в жильных месторождениях.

Тип	**Характер контактов**
I	Ровные, четкие, слабые
II	Ровные, четкие, прочные
III	Извилистые, четкие, прочные
IV	Извилистые, неясные, прочные

Другие типы контактов, как правило, не встречаются или встречаются редко.

Для разделения рудных тел *по мощности* пользуются различными классификациями. Применительно к жилам целесообразно следующие разделения их по мощности: весьма тонкие (мощность до 0,7 м), тонкие (от 0,7 до 2 м), средней мощности (от 2 до 4 — 5 м) и мощные (свыше 5 м).

Угол падения жильных месторождений бывает от 0 до 90°. Наиболее распространены крутопадающие жилы с углом падения свыше 45°, на долю которых приходится более 70 % общей добычи руды из жильных месторождений. Жилы с углом падения от 15 — 20 до 45° встречаются реже, еще более редки жилы с углом падения меньше 15 — 20°.

Угол падения жилы не всегда постоянен по ее длине и по падению. В одних случаях он с глубиной выполаживается, иногда (реже) становится круче. На ряде месторождений встречаются одновременно пологопадающие и крутопадающие жилы.

Распределение рудных минералов в жилах может быть самым разнообразным. Довольно редко встречаются месторождения с более или менее равномерной концентрацией рудных минералов по всей мощности жилы по простиранию и по падению. Чаще рудные минералы распределяются в жиле неравномерно (рис. 6.72, см. вкл.).

Иногда они заполняют внутрирудные трещины, а также дробленые участки жильной породы. В таких участках образуются руды полосчатой и брекчиевой текстур. Значительно реже рудные тела сложены сплошными массами рудных минералов — сульфидов (свинцово-цинковые, медно-никелевые жилы).

Нередко рудные минералы, помимо основной жилы, включены во вмещающих породах в виде вкрапленности или прожилков.

Оруденение в жилах может быть мономинеральным, содержащим только один металл (золото, олово, вольфрам и др.), или полиминеральным, содержащим несколько металлов, как, например, свинец с цинком, медь, никель с кобальтом; вольфрам с молибденом; сурьма с ртутью и др.

Знание закономерности распределения полезных компонентов в рудном теле имеет большее значение, т. к. в зависимости от характера распределения рудных минералов применяются различные системы разработки.

6.3.2. Системы разработки жил, их классификация

Ввиду наличия многих специфических особенно-стей жильных месторождений для описания и анализа систем их разработки целесообразно иметь особую классификацию этих систем.

В предлагаемой классификации систем разработки жильных месторождений в качестве первичного признака их разделения на классы принято, как и в общей классификации систем разработки рудных месторождений, состояние очистного пространства. Для классификации систем внутри выделенных классов на группы использованы различные признаки, наи-более характерные для данного класса. Также по различным признакам в группах систем выделены и типы (рис. 6.73).

В классификации по возможности сохранены распространенные в практике наименования систем. Однако местные или не вполне правильные наименования в ряде случаев заменены новыми.

I класс. Системы с открытым очистным пространством.

Основная отличительная особенность систем этого класса — оставление очистного пространства в период разработки блока (панели, участка) открытым, т. е. свободным, не заполненным закладкой, отбитой рудой или обрушенными породами. Бока и кровля открытого очистного пространства поддерживаются оставляемыми временно или постоянно рудными целиками.

Обязательное условие применения систем с открытым очистным пространством — устойчивость вмещающих пород и руды. Но и при соблюдении этого условия в промежутке между целиками для поддержания отдель-ных заколов, отслоений и пр. нередко приходится сооружать искусственную крепь (чаще распорки); ее в таких случаях ставят нерегулярно, и она играет вспомогательную роль в поддержании. Часто крепь в открытом очистном пространстве сооружают не с целью поддер-жания вмещающих пород, а лишь в качестве платформы для людей, занятых на очистной выемке.

II класс. Системы с магазинированием руды (рис. 6.74, 6.75).

Главная отличительная особенность систем II класса — заполнение очистного пространства в блоке (под-этажа, слоя, его части) по мере выемки жилы отбитой рудой, полностью выпускаемой только после окончания отработки данного блока (подэтажа, слоя). Как и при системах с открытым очистным пространством, здесь основным средством поддержания вмещающих пород служат обычно междуэтажные и междукамерные рудные целики. Замагазинированная руда лишь в некоторой степени способствует поддержанию вмещающих пород, основное же ее назначение — служить платформой для работающих на очистной выемке людей.

Класс	Группа	Тип
I. Системы с открытым очистным пространством	1. Сплошные системы разработки	1. С выемкой по простиранию 2. С выемкой по восстанию 3. С выемкой по падению 4. С радиальной выемкой
	2. Потолкоуступные системы разработки	1. С выемкой короткими уступами 2. С выемкой длинными уступами 3. С выемкой высокими уступами
	3. Почвоуступная система разработки	Не разделяется на типы
	4. Подэтажные системы разработки	1. С выемкой по простиранию 2. С выемкой по падению
	5. Камерно-столбовые системы разработки	1. С выемкой по восстанию 2. С выемкой по падению 3. С выемкой по простиранию
II. Системы с магазинированием руды в очистном пространстве	1. Системы с полным магазинированием руды	1. Блоковое магазинирование 2. Непрерывное магазинирование
	2. Системы с частичным магазинированием руды	1. Слоевое магазинирование 2. Подэтажное магазинирование 3. Кучное магазинирование
III. Системы с креплением очистного пространства	1. Сплошные системы разработки	1. С усиленной распорной, станковой и костровой крепью 2. С каменной крепью 3. С комбинированной крепью
	2. Потолкоуступные системы разработки	1. С усиленной распорной, станковой и костровой крепью 2. С каменной крепью 3. С комбинированной крепью
	3. Системы разработки слоями и полосами	1. С усиленной распорной, станковой и костровой крепью 2. С каменной крепью 3. С комбинированной крепью
IV. Системы с закладкой очистного пространства	1. Системы с закладкой, получаемой попутно с очистной выемкой	1. Со сплошной выемкой 2. С выемкой слоями полосами 3. С потолкоуступной выемкой
	2. Системы с закладкой из внешних источников	1. Со сплошной выемкой 2. С выемкой слоями полосами 3. С потолкоуступной выемкой
V. Системы с креплением и закладкой очистного пространства	1. Сплошные системы разработки	1. С выемкой по восстанию 2. С выемкой по падению 3. С выемкой по простиранию
	2. Системы разработки слоями и полосами	1. С выемкой по восстанию 2. С выемкой по падению 3. С выемкой по простиранию
	3. Потолкоуступные системы разработки	1. С усиленной распорной, станковой и костровой крепью 2. С болтовой (анкерной) крепью 3. С комбинированной крепью
VI. Системы с обрушением вмещающих пород	1. Системы слоевого обрушения	1. С аккумулирующими выработками 2. Без аккумулирующих выработок
	2. Сплошные системы с обрушением кровли	1. С выемкой по простиранию 2. С выемкой по падению
	3. Столбовые системы с обрушением кровли	1. Со сплошной выемкой 2. С выемкой широкими заходками 3. С выемкой узкими заходками

Рис. 6.73. Классификация систем разработки жильных месторождений

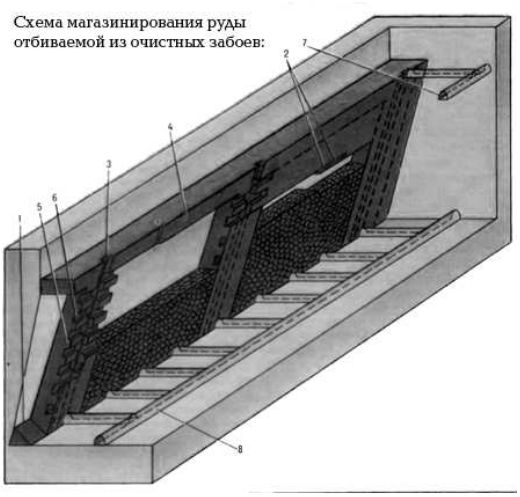


Рис. 6.74. Система блокового магазинирования руды со сплошной выемкой по восстанию:
1 — массив руды; 2 — шпуры; 3 — восстающий; 4 — потолочина; 5 — целик; 6 — ходок; 7 — вентиляционный штрек; 8 — откаточный штрек

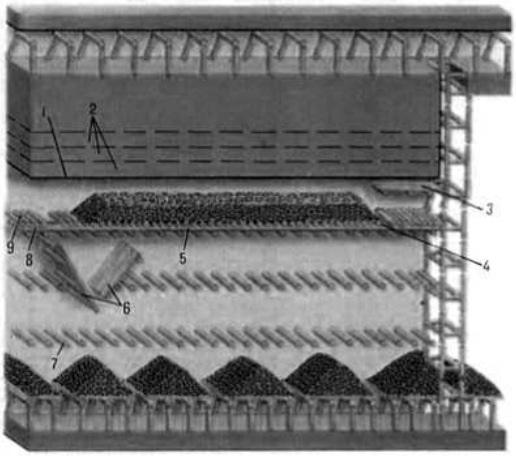


Рис. 6.75. Разработка залежи с частичным (слоевым) магазинированием полезного ископаемого:
1 — потолочина; 2 — слои полезного ископаемого; 3 — временный полок; 4 — выпускные окна; 5 — настил; 6 — отбойные решетаки; 7 — распорки; 8 — прогоны; 9 — накатник

Чтобы воспрепятствовать обрушению вмещающих пород или предотвратить развитие значительного горного давления при отработке жилы (или группы жил) на большой площади, выработанное пространство после выпуска замагазинированной руды иногда заполняют закладочным материалом. В других случаях после выпуска руды и выемки целиков вмещающие породы самообрушаются или их обрушают принудительно. Выработанное пространство при этом заполняется обрушенной породой.

III класс. Системы с креплением очистного пространства.

Этот класс систем применительно к жильным месторождениям характеризуется использованием в качестве основного средства поддержания очистного про-

странства различных видов крепи. Крепь одновременно может служить в качестве платформы для работающих.

Следует отметить, что существуют отдельные переходные разновидности систем с креплением, которые почти в одинаковой мере можно отнести к классу систем с открытым очистным пространством, т. к. здесь для поддержания вмещающих пород используются одновременно и играют почти равную роль как крепь, так и рудные целики (рис. 6.76). Условимся относить такие системы преимущественно к классу систем с креплением, имея в виду, что в этом случае очистное пространство в значительной степени заполнено крепью, а не является открытым.

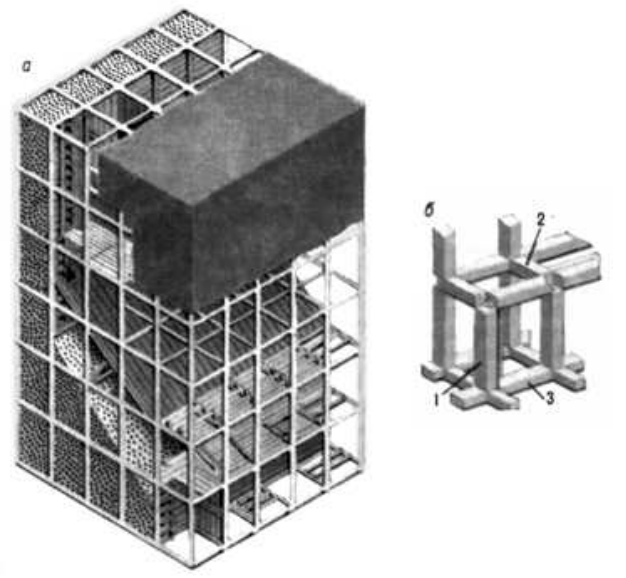


Рис. 6.76. Станковая крепь:

а — крепь в выработанном пространстве, заполняемом твердеющей закладкой;
б — станок крепи; 1 — стойка; 2 — верхняк; 3 — распорка

IV класс. Системы с закладкой очистного пространства.

Основной признак, характеризующий системы IV класса, — заполнение очистного пространства по мере выемки руды закладочным материалом; закладочный массив в данном случае является основным средством поддержания вмещающих пород. Крепь в виде стоек, распорок, крепежных рам, костров сооружается в призабойном пространстве и используется в качестве вспомогательного, обычно временного средства поддержания. В необходимых случаях оставляют междуэтажные (подштрековые, надштрековые) и междублоковые целики.

V класс. Системы с креплением и закладкой очистного пространства.

В системах V класса объединяются характерные признаки двух предыдущих классов — с креплением и с закладкой очистного пространства. В отличие от систем с закладкой здесь роль крепи как средства поддер-жания не является второстепенной; крепь сооружается регулярно и часто имеет сложную конструкцию. В зависимости от способа очистной выемки системы разделены на три группы: 1) сплошные, 2) слоевые и 3) потолкоуступные, а по направлению очистной выемки каждая группа делится на типы.

Системы с креплением и закладкой при разработке жильных месторождений применяют еще реже, чем системы с креплением или системы с закладкой,

т. к. они чрезвычайно трудоемки и отличаются самой низкой производительностью труда забойного рабочего. Их используют только в особо тяжелых горно-геологических условиях — при весьма неустойчивой руде и вмещающих породах и необходимости предотвратить обрушение последних.

VI класс. Системы с обрушением вмещающих пород (рис. 6.77).

Системы VI класса отличаются от всех предыдущих классов тем, что очистное пространство по мере его образования вслед за выемкой заполняется обрушенными вмещающими породами. Вмещающие породы поддерживаются при помощи крепи обычно только у призабойного пространства.

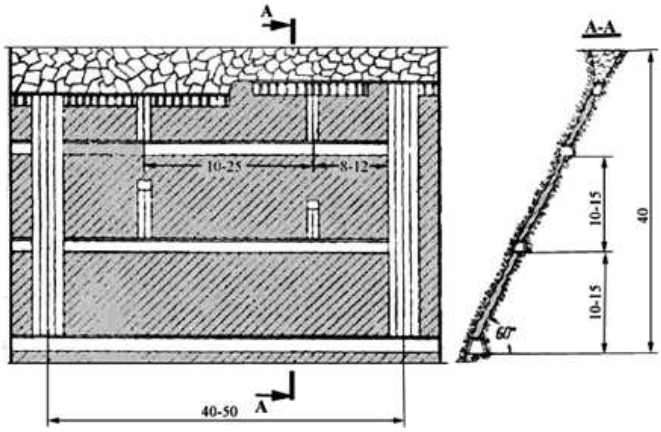


Рис. 6.77. Система разработки слоевым обрушением

Эти системы имеют большее распространение при разработке пологопадающих пластов и жил. При крутом падении их применяют реже.

Это системы имеют большое распространение при разработке пологопадающих пластов и жил. При крутом падении их применяют реже.

Системы данного класса разделены на три группы: 1) системы слоевого обрушения; 2) сплошные системы с обрушением кровли и 3) столбовые системы с обрушением кровли.

В каждой из этих групп типы систем выделяются по различным признакам: в первой — два типа систем по способу подготовки блока (наличию аккумулирующих выработок), который оказывает большое влияние на условия доставки руды и организацию очистной выемки; во второй группе — два типа по направлению очистной выемки и в третьей — три типа по способу выемки столба.

6.3.3. Очистные работы, технологические процессы и перспективные технологии

В состав очистных работ на жильных месторождениях входят обычно технологические процессы отбойки руды, ее доставки и крепления выработанного пространства.

Малая мощность рудных тел на жильных месторождениях предопределила доминирующее применение мелкошпуровой отработки руды, в состав которой включают операции бурения шпуров, их заряжения и взрывания, а также проветривание очистного забоя.

Доставка руды на крутопадающих месторождениях осуществляется за счет гравитационных сил (самотеком), а на пологих и наклонных для этого применяют скреперные установки или малогабаритные погрузодоставочные машины. Заряжание и взрывание шпуров осуществляется вручную (при использовании

патронированных ВВ или специальными зарядными установками (при использовании гранулированных ВВ). Проветривание очистных забоев осуществляется за счет общешахтной депрессии; как правило, принудительное проветривание здесь запрещено. Развитие технологии очистной выемки в последние годы привело к созданию высокоэффективных вариантов отбойки руды скважинами из нарезных выработок. Здесь обозначились два принципиальных направления развития геотехнологии с выемкой руды прирезками по простиранию и горизонтальными сква-жинами из вертикальных:

— с отбойкой буровых выработок монорельсовыми очистными комплексами КОВ-25 (рис. 6.78);

— с отбойкой вертикальными скважинами из горизонтальных буровых выработок (подэтажей) самоходными буровыми установками различных конструкций (рис. 6.79).

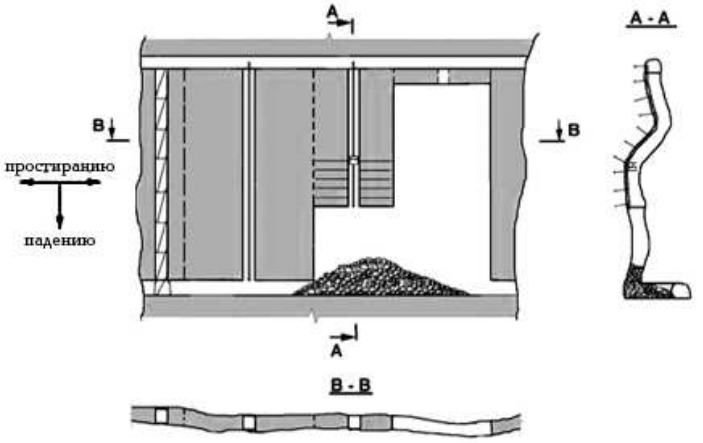


Рис. 6.78. Система с открытым очистным пространством и выемкой руды прирезками по простиранию из вертикальных буровых выработок

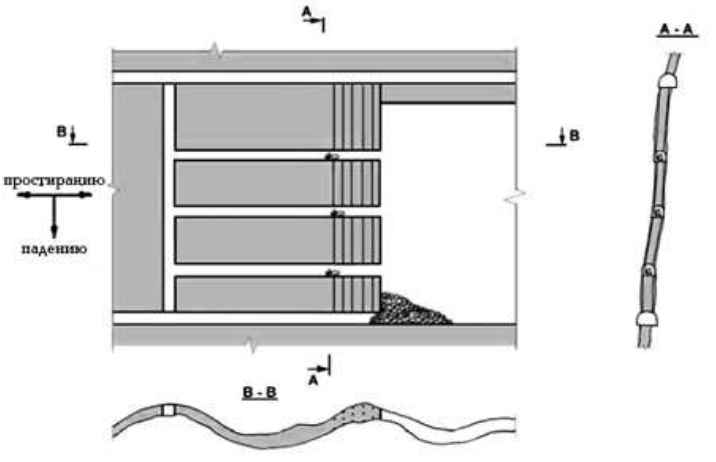


Рис. 6.79. Система разработки с открытым очистным пространством и отбойкой руды из горизонтальных буровых выработок

6.4. ПОДЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ И ПОДЪЕМ

Все процессы перемещения руды из очистных блоков к месту ее отгрузки потребителю на поверхности образуют в совокупности единую систему транспортирования. Звенья этой системы — подземное транспортирование и подъем, связанные друг с другом через перегрузочные комплексы околоствольных дворов.

Подземное транспортирование руды представляет собой перемещение ее от пунктов выгрузки из очистных блоков до рудничного подъема. Подземный транспорт используют для своевременного и бесперебойного снабжения добычных участков материалами, инструментом, оборудованием и при необходимости для перевозки людей к месту работы и обратно.

На рудниках, добывающих металлические руды, используют следующий подземный транспорт:

— периодического действия (рельсовый или безрельсовый, самоходное оборудование на пневмошинном ходу);

— непрерывного действия (конвейерный).

Наибольшее распространение на подземных рудниках получил рельсовый транспорт. Это обусловлено тем, что руда представляет собой обычно крупнокусковой материал, обладающий большим удельным весом, крепостью и абразивностью.

Безрельсовое транспортирование с использованием самоходного оборудования применяется пока редко. Основной вид транспорта — автосамосвалы типа МоАЗ грузоподъемностью 20 — 22 т.

Ленточные конвейеры применяют только для транспортирования мелкокусковых мягких руд, например, на марганцевых шахтах. При этом нередко для вспомогательных целей приходится использовать рельсовый или автомобильный транспорт. Разработаны и проходят испытания конвейеры типа КЛТ, в которых лента уложена на лотки колесных тележек, перемещающихся по раме конвейера. Эти конвейеры могут транспортировать крупнокусковую (до 1,2 м) руду.

Рудничный подъем — выдача руды и породы на поверхность с подземных горизонтов. Он необходим только при вскрытии стволами.

По типу оборудования рудничный подъем разделяют на клетевой, скиповой, конвейерный, автомобильный, а по назначению — на главный (для выдачи руды) и вспомогательный.

Подъем руды вагонетками в одно- и двухэтажных клетях применяют на небольших рудниках с производительностью 0,3 — 0,7 млн т/год, а при малой глубине разработки (300 — 400 м) — до 1 — 1,5 млн т/год. Вместимость поднимаемых вагонеток при этом не превышает 4,5 м^3. При клетевом подъеме требуется меньший объем проходки околоствольных выработок, чем при скиповом.

На рудниках с производительностью более 0,7 — 1 млн т/год и при значительной глубине разработки используют, как правило, скиповой подъем руды. Высокая производительность скипов объясняется их большей вместимостью (до 22 м^3), скоростью движения (до 20 м/с и более, тогда как клети движутся со скоростью не более 8 м/с), а также полной автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций и подъема — спуска скипов.

Конвейерный подъем применяют на сравнительно неглубоких рудниках (до 400 — 600 м) большой производительности (свыше 4 — 5 млн т/год), а при глубине разработки до 100 — 150 м — на рудниках с производительностью более 1 — 1,5 млн т/год. Как правило, применяют мощные ленточные конвейеры. Для использования конвейерного подъема необходимо сравнительно мелкое дробление руды на куски размерами не более 0,1 — 0,15 м. Угол наклона ствола не должен превышать 16 — 18°.

Автомобильный подъем руды целесообразен при глубине разработки до 150—200 м и производительно-сти рудника 0,5—1 млн т/год. Поэтому он применяется в нашей стране в единичных случаях. Угол наклона автомобильных стволов 6—8°.

Для вспомогательного подъема по вертикальным стволам используют то же оборудование, что и для главного. Его назначение заключается в выдаче на поверхность породы (вагонами в клетях или скипами); спуске — подъеме людей (в клетях), спуске в шахту материалов, инструмента (в клетях), спуске рабочего и подъеме неисправного оборудования (малогабаритное — в клетях; крупногабаритное — на подвеске под клетями, целиком или частями, либо на специальных грузовых платформах в неразобранном виде по отдельным стволам).

6.5. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В подземных рудниках для привода горных машин используют два вида энергии: электрическую и пневматическую (сжатый воздух). Кроме того, для самоходного оборудования все шире применяют двигатели внутреннего сгорания, главным образом дизельные, топливо для которых при больших расходах может подаваться под землю с поверхности по трубам. Электроэнергию используют для освещения подземных выработок, зданий, сооружений на поверхности, а также для получения сжатого воздуха (рис. 6.80, 6.81).

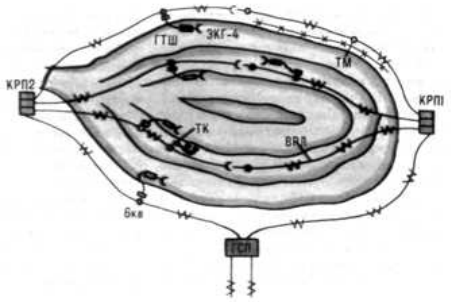


Рис. 6.80. Продольная схема электроснабжения карьера

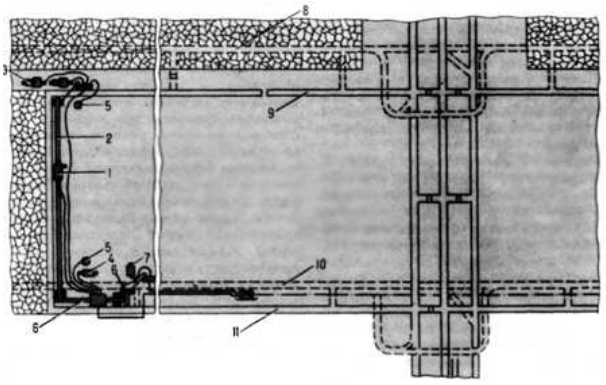


Рис. 6.81. Схема электроснабжения лавы при разработке длинными столбами:

1 — комбайн; 2 — забойный конвейер; 3 — маслостанция; 4 — насос орошения; 5 — ручное электросверло; 6 — перегружатель; 7 — погрузочный пункт; 8 — целевой вентиляционный штрек; 9 — вентиляционный просек; 10 — полевой откаточный штрек; 11 — конвейерный просек

Подземные рудники при высоком уровне механизации трудоемких производственных процессов являются крупными потребителями энергии, в первую очередь электрической.

На каждый участок электроэнергию подают по отдельному кабелю — фидеру. В начале фидера для защиты шахтной электросети устанавливают автоматический фидерный выключатель, срабатывающий и отключающий участок при длительных перегрузках или коротких замыканиях. Подключение горных машин к фидеру осуществляют через рудничные пускатели. Аппаратуру, оболочки кабелей, трубы, рельсы и т. п. необходимо заземлять.

Осветительную сеть питают электроэнергией через специальные аппараты, понижающие напряжение до 220/127 В для постоянного освещения и до 36 В для переносных светильников.

6.6. РУДНИЧНЫЙ ВОДООТЛИВ

Водоотлив — удаление на поверхность шахтных вод из подземных выработок. Если месторождение вскрыто стволами, то водоотлив осуществляют посредством подъема воды по трубам. При вскрытии штольнями воду удаляют из рудника самотеком по канавкам.

Источники поступления шахтных вод: водоотдача насыщенных водой горных пород, фильтрация воды по трещинам из вышележащих подземных водоносных горизонтов или заполненных водой подземных пустот, фильтрация по трещинам или через зоны обрушения воды из поверхностных водоемов (рек, озер, болот и т. п.) и от атмосферных осадков.

Способы борьбы с водопритоками:

- ограждение шахтного поля от поверхностных вод;
- осушение пород, вмещающих месторождение;
- собственно водоотлив из подземных выработок;
- защита подземных выработок от затопления.

6.7. ВЕНТИЛЯЦИЯ

Рудничную вентиляцию, или проветривание шахт, применяют для создания в подземных выработках нормальных атмосферах условий. Она должна исключить вредное воздействие на человека ядовитых газов, содержащихся в рудничном воздухе, высоких и низких температур, а также предотвратить опасные скопления вредных газов.

Рудничный воздух — смесь атмосферного воздуха и других газов, образующихся в подземных выработках или выделяющихся в них из массива.

Как известно, атмосферный воздух, окружающий земную поверхность, состоит из газов и паров. В нем на уровне моря содержится около 78,08 % азота, 20,95 % кислорода, 0,93 % аргона, 0,03 % углекислого газа и 0,01 % таких газов, как гелий, неон, криптон, озон, радон, водород и аммиак.

При прохождении по подземным горным выработкам состав атмосферного воздуха изменяется, т. к. содержание кислорода уменьшается, а углекислого газа и азота увеличивается. Кроме того, к нему примешиваются различные газы (вредные примеси), выделяющиеся в выработки из горных пород (метан, водород и др.) или появляющиеся вследствие производства взрывов, работы дизельных машин, гниения деревянной крепи и т. д.

Для получения информации о составе и состоянии рудничной атмосферы на рудниках осуществляют систематический анализ газового состава рудничного воздуха, его запыленности и температуры.

Анализ газового состава может быть оперативным и лабораторным. Оперативный анализ газового состава рудничной атмосферы выполняют с применением переносных газоанализаторов в забоях, выработках и камерах. При этом устанавливают, как правило, содержание какого-либо одного вредного газа (иногда двух-трех), наиболее опасного в условиях данного рудника. На многих рудниках ведут также систематический оперативный контроль стационарными автоматическими газоанализаторами, устанавливаемыми, например, на струе загрязненного воздуха, отводимого после проветривания из шахты. Лабораторный контроль полного газового состава осуществляют периодически на основе анализа проб шахтного воздуха, взятых в подземных выработках.

Контроль запыленности воздуха в подземных выработках ведут, используя переносные пылемеры, которые позволяют установить массовую концентрацию пыли в шахтном воздухе.

Основная мера борьбы с примесями вредных газов — разжижение их свежим воздухом до предельно допустимых концентраций, т. е. подача в забои дополнительного количества свежего воздуха.

Для борьбы с запыленностью шахтного воздуха применяют специальный комплекс мер, среди которых наиболее распространено гидрообеспыливание.

Расход рудничного воздуха, являющегося единственным источником дыхания для всех работающих под землей, ограничивается объемом подземных выработок. Так как кислород рудничного воздуха расходуется на дыхание людей, работу горных машин, окисление руд и т. д., необходимо его постоянное пополнение за счет притока свежего воздуха с поверхности.

Расход воздуха, необходимый для проветривания горных выработок, определяют по нескольким факторам.

Во-первых, по разжижению газообразных продуктов взрыва ВВ (в первую очередь CO) до безопасного содержания (0,008 %). Как уже отмечалось, при взрыве 1 кг ВВ выделяется от 700 до 1000 л различных газов.

Во-вторых, расход воздуха определяют по максимальному числу людей в выработке, исходя из нормы 6 $м^3$/мин на одного человека.

В-третьих, учитывают суммарную мощность работающих в выработке дизельных машин. Для разжижения выхлопных газов, содержащих вредные примеси (например, угарный газ), полагается подавать 6,8 $м^3$ воздуха в минуту на 1 кВт мощности дизельных двигателей.

В-четвертых, расход воздуха, необходимый для проветривания, определяют по пылевому фактору (по выносу пыли из забоев).

Для эффективного выноса пыли из забоя скорость воздуха должна быть не менее 0,3 м/с.

Схема проветривания — порядок распределения и движения воздуха по выработкам. Воздух подают в шахту по одним выработкам, а отводят на поверхность по другим.

На подземных рудниках наиболее часто применяют диагональные схемы проветривания, являющиеся прямоточными. При размещении вскрывающих выработок на флангах месторождения свежий воздух подают по клетевому стволу, по которому осуществляют спуск— подъем людей, или специальному воздухоподающему стволу, а загрязненный отводят на поверхность по вентиляционному стволу на другом фланге месторождения.

Все выработки и очистные забои проветривают, как правило, за счет общешахтной струи при сквозном движении воздуха. Однако тупиковые проходческие и очистные забои таким образом проветривать не удается. Если они имеют длину менее 10 м, то их проветривание осуществляют за счет диффузии (постепенного проникновения свежего воздуха в тупиковый забой). При большей длине тупикового забоя такое проветривание как неэффективное запрещено Правилами безопасности. Для подачи свежего воздуха в протяженные тупиковые забои применяют нагнетательный, всасывающий и комбинированный способ местного проветривания посредством специальных переносных вентиляторов и вентиляционных труб.

Для подачи свежего воздуха в шахту используют вентиляторные установки главного проветривания. Они располагаются на поверхности вблизи герметически закрытых устьев стволов или штолен и обеспечивают проветривание подземных выработок шахты. Установки включают в себя рабочий и резервный вентиляторы, помещенные в специальном здании, связанном со стволом или штольней вентиляционным каналом, а также устройства для реверсирования (изменения направления) воздушной струи, необходимого при авариях под землей, и устройства для подогрева (калориферы) или охлаждения (кондиционеры) воздуха, подаваемого в шахту.

6.8. СНАБЖЕНИЕ РУДНИКОВ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Сжатый воздух как источник энергии широко используют для привода бурильных машин, некоторых типов погрузочно-доставочного оборудования, различных лебедок вспомогательного назначения, забойных насосов, а также для продувки шпуров и скважин перед заряжанием, для их пневмозаряжания, подчистки почвы выработок у проходческих забоев и т. п. Общий расход сжатого воздуха в руднике может достигать нескольких тысяч кубических метров в минуту. Рабочее давление сжатого воздуха для большинства горных машин составляет 0,4 — 0,6 МПа. Сжатый воздух для нужд рудника получают при использовании компрессоров, которые устанавливают, как правило, на поверхности вблизи главных стволов в помещении компрессорных станций. На крупных рудниках применяют мощные турбокомпрессоры с подачей 250 — 1290 м^3/мин с электродвигателями мощностью 100 — 900 кВт. На средних и мелких рудниках используют поршневые компрессоры с подачей до 100 м^3 /мин при мощности двигателя до 630 кВт. Подачу сжатого воздуха от компрессорных установок в забои осуществляют по трубопроводам диаметром до 0,4 м, которые опускают под землю по стволам и далее разводят по подземным выработкам. Для сглаживания пульсации давления сжатого воздуха, поступающего после компрессоров (особенно поршневых), в начале трубопровода устанавливают воздухосборники (ресиверы) — металлические баки вместимостью до 25 м^3.

6.9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПОВЕРХНОСТИ РУДНИКОВ

Рудничная поверхность, или промплощадка рудника, — спланированная и благоустроенная часть земной поверхности, на которой расположены комплекс зданий и сооружений, железные и автомобильные дороги, сети электро- и водоснабжения, канализации и т. п., необходимые для обеспечения производственной дея-тельности рудника (рис. 6.82, 6.83 (см. вкл.)).

Промплощадку разделяют на зоны основного производства, транспортно-складскую, вспомогательных производств и административно-общественную. Кроме того, предусматривают резервные участки для расширения предприятия.

Застройку промплощадки можно осуществлять по блокированной и рассредоточенной схемам. Блокированная схема застройки отличается компактным размещением сооружений в одном или нескольких крупных зданиях.

Рассредоточенная схема застройки промплощадки, как правило, вынужденная, например, при размещении объектов рудничной поверхности в узких горных долинах или на крутых склонах.

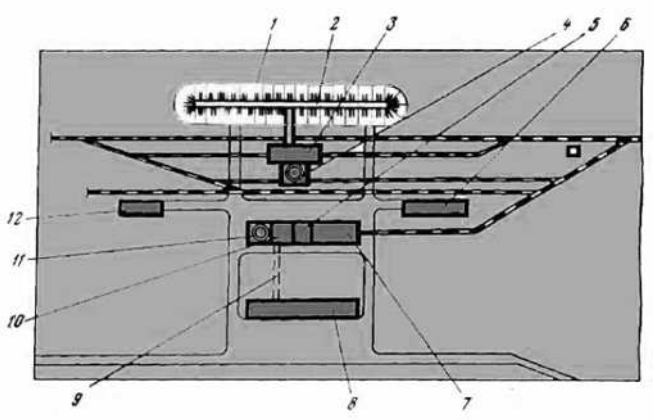


Рис. 6.82. План промплощадки подземного рудника:

1 — резервный склад руды; 2 — конвейерная галерея; 3 — бункер для погрузки руды в железнодорожный транспорт; 4 — башенный копер скипового ствола; 5 — главная вентиляторная установка; 6 — склады; 7 — мастерские; 8 — административно-бытовой комбинат (АБК); 9 — подземный переход к клетевому стволу от АБК; 10 — компрессорная; 11 — башенный копер клетевого ствола; 12 — электроподстанция

6.10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЕ ДЕЛО, ОСВЕЩЕНИЕ ВЫРАБОТОК

Подземная разработка месторождений, в том числе рудных, относится к производствам с повышенной опасностью для работающих. Поэтому здесь действуют весьма строгие Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом (ЕПБ). Неукоснительное со-блюдение этих правил — залог безопасной работы. Для осуществления спасательных и аварийных работ в подземных выработках созданы Военизированные горно-спасательные части (ВГСЧ), которые дислоцируются на всех добывающих предприятиях.

Подземные выработки, в которых осуществляют транспортирование руды, породы или других грузов, передвижение людей, погрузочно-разгрузочные работы, а также выработки и камеры околоствольных дворов необходимо освещать в соответствии с нормами освещенности, установленными Правилами безопасности. Для освещения используют стационарные светильники, переносные прожекторы, питающиеся от шахтной сети и имеющие защитное исполнение (пылевлагонепроницаемое или взрывобезопасное).

Шахтное самоходное оборудование оснащено прожекторами и фарами для местного освещения, питающимися от силового электрического кабеля, контактного провода или аккумулятора самой машины. Кроме того, каждый рабочий обязан иметь переносной индивидуальный светильник.

Глава 7

КОМБИНИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Вследствие многообразия схем комбинированной разработки, обусловленного различными возможными во времени и в пространстве комбинациями вариантов технологии открытых и подземных горных работ и физико-химических методов добычи, они трактуются в горнотехнической литературе неоднозначно, в том числе по-разному рассматривается и само определение комбинированного способа разработки. В историческом аспекте под комбинированной разработкой понималось любое сочетание открытого и подземного способов добычи при разработке одного и того же месторождения. При разделении способов разработки месторождений на открытый, подземный, комбинированный, повторный, а также геотехнологический (специальные методы добычи) из всех возможных вариантов комбинированной разработки особо выделялась совместная разработка — выемка запасов руд в пределах одного месторождения одновременно открытым и подземным способами. Было предложено понятие «повторная разработка» как добыча ранее потерянных руд подземным, открытым или физико-химическим способом. При этом в результате рассмотрения возможных комбинаций одновременного выполнения открытых и подземных работ в пределах одного карьерного (или шахтного) поля были выделены следующие варианты способов освоения месторождения:

1) совместная разработка, при которой верхнюю часть месторождения до определенной (технико-экономически обоснованной) глубины отрабатывают открытым способом, нижнюю часть — подземным, и горные работы в обеих частях ведут одновременно;

2) комбинированная разработка с первоначальной отработкой верхней части открытыми работами, а после их окончания — подземными;

3) повторная разработка месторождения после подземных работ подземным или открытым способом.

В соответствии с принятой классификацией горных наук и по аналогии с определением комбинированных систем подземной разработки рудных месторождений, сущность которых заключается в том, что часть залежи, подготовленная по единой схеме, делится на выемочные участки, отрабатываемые различными системами разработки, комбинированная технология предполагает освоение запасов месторождения различными способами при единой схеме вскрытия и подготовки.

Классификация возможных способов освоения запасов месторождения приведена на рис. 7.1. Комбинированная технология может быть представлена совокупностью процессов физико-технических и физико-химических технологий при различных сочетаниях во времени и пространстве открытых и подземных работ. При этом обязательное условие обеспечения эффективного применения комбинированной технологии — формирование единой схемы вскрытия и подготовки запасов на весь период эксплуатации месторождения при временной и пространственной увязке различных технологий в едином проекте освоения запасов.

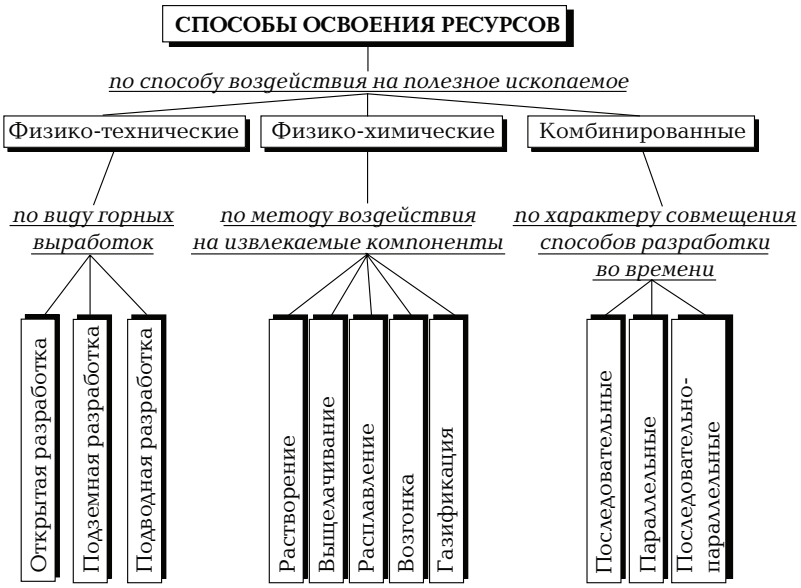


Рис. 7.1. Классификация способов освоения георесурсов

Внедрение комбинированной технологии освоения запасов при единой схеме вскрытия и подготовки с размещением основных вскрывающих выработок с учетом перспективы развития горных работ позволит существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты предприятий. При этом карьерные транспортные съезды и сам карьер следует рассматривать как вскрывающие выработки. Такой опыт имеется как в отечественной, так и в зарубежной практике. Известен также положительный опыт использования подземных выработок для вскрытия глубоких горизонтов карьера.

Очевидно, что отказ от двух самостоятельных схем вскрытия шахтного и карьерного полей путем применения единой схемы с комплексной увязкой технологий открытых и подземных работ, а в ряде случаев и физико-химических технологий в едином плане горных работ по освоению запасов месторождения, расширит область эффективного применения комбинированной технологии и позволит избежать негативных последствий перио-да перехода с одного вида горных работ на другой при рассмотрении их в раздельных проектах. Кроме того, при последовательной открыто-подземной технологии, а также при параллельной разработке запасов открытым и подземным способами имеется возможность отработки части запасов, расположенных в переходной зоне на границе карьерного и шахтного полей, комбинированным способом. В этом случае горные работы на выемочном участке ведут единым фронтом очистных работ по единой технологической схеме, предполагающей комбинацию элементов различных физико-технических и физико-химических технологий.

Анализ отечественного и зарубежного опыта освоения месторождений комбинированным способом показал, что объектами комбинированных технологий являются месторождения, обладающие определенным комплексом горно-геологических и экономических параметров: глубина распространения рудных тел; морфология, угол падения и мощность залежей; величина запасов; состояние поверхности; минеральный состав полезных ископаемых; ценность полезных компонентов и их содержание; экологическая ситуация на территориях, примыкающих к будущему горному производству; прогнозная степень загрязнения под-

земных и поверхностных вод, почвы, атмосферы; нарушения сложившегося гидробаланса; стоимость земель, подлежащих изъятию; возможность использования формируемых полостей в горном массиве в качестве емко-стей для складирования отходов; конъюнктура современного рынка и на перспективу.

Все месторождения по горно-геологическим условиям и эффективности способов их разработки можно разделить на три группы, для которых:

— выемка всех запасов открытым способом экономически нецелесообразна из-за превышения граничного коэффициента вскрыши;

— комбинированная разработка позволяет увеличить годовые объемы добычи;

— комбинированная разработка дает возможность снизить удельные затраты на добычу.

К первой группе относятся месторождения весьма ценного дефицитного сырья, потребности в котором неограниченны. Цены значительно превосходят удельные затраты на добычу как открытым, так и подземным способами, а возможности компенсации производ-ственных мощностей практически отсутствуют. Основным требованием к освоению таких месторождений является обеспечение максимальных объемов добычи при минимуме потерь. К этой группе относятся месторождения драгоценных камней и металлов, редких земель, некоторых цветных металлов. Данная группа месторождений, связанная с дефицитом предмета труда, ограниченными природными ресурсами, измеряемыми объемом запасов и величиной рудной площади, является определяющей при выборе комбинированного способа разработки на относительно небольших рудных площадях, что характерно главным образом для крутопадающих рудных месторождений.

Вторая группа включает месторождения распространенного сырья, спрос на которое определяется текущими нуждами потребителей. Цены превышают затраты на открытую разработку, но находятся в диапазоне изменения затрат при подземной добыче. Имеются возможности компенсации дефицита добычных мощностей, главным образом за счет подземной разработки. В этом случае необходимо обеспечить максимальный объем добычи при минимальных затратах. К данной группе относятся месторождения черных и некоторых цветных металлов. Дефицит имеющихся средств на разработку месторождений и размер капвложений играют определяющую роль при проектировании разработки таких месторождений в условиях больших рудных площадей или «неограниченных» запасов, что характерно для пологопадающих залежей.

Третья группа представлена месторождениями весьма распространенных полезных ископаемых, потребности в которых ограничены, например, региональными нуждами. Цены находятся в диапазоне изменения затрат при открытой добыче. Имеются возможности компенсации недостающих производственных мощностей за счет открытых работ. Основные требования к освоению таких месторождений сводятся к обеспечению заданных объемов добычи при минимальных затратах. Основную массу месторождений этой группы составляют месторождения строительных материалов. Для месторождений третьей группы наиболее перспективным вариантом является последовательная разработка, причем объектом непосредственного проектирования является карьер, а вопросы, связанные с подземной добычей, могут рассматриваться в период затухания открытых работ или после их окончания. В этом случае особенности, обусловленные ведением открытых работ, учитывают в виде исходных данных при проектировании подземного рудника.

Учитывая существенное влияние на выбор способа освоения участков месторождения качественного состава и горно-геологических условий залегания, а также

месторасположения запасов относительно контура карьера и необходимость учета последнего фактора при расчете параметров элементов систем разработки в соответствии с горным терминологическим словарем, целесообразно все запасы, осваиваемые комбинированной технологией, разделить на четыре группы (рис. 7.2 и 7.3): карьерные, расположенные в пределах карьерного поля, ограниченные предельным контуром карьера; открыто-подземные, осваиваемые комбинацией технологических процессов открытых и подземных горных работ и непосредственно выходящие в предельный контур карьера; шахтные, расположенные в пределах шахтного поля и осваиваемые подземной технологией; забалансовые — некондиционные руды, отработка которых экономически нецелесообразна.



Рис. 7.2. Классификация запасов месторождений, осваиваемых комбинированной технологией

При выемке карьерных и открыто-подземных запасов формируется единое карьерное пространство, ограниченное новым положением предельного контура карьера, имеющего более крутые углы в основании. Последнее обеспечивается технологическими и техническими особенностями взаимно благоприятного влияния совместного применения в переходной зоне технологических процессов открытых и подземных работ.

Шахтные запасы, расположенные в пределах шахтного поля, делятся по положению относительно контура карьерного пространства на прикарьерные *4*, *5* и удаленные от карьера *6* (рис. 7.3, см. вкл.). Выемка удаленных от карьера запасов не требует корректировки технологиче-ских решений, принимаемых при подземной отработке запасов. Отработка прикарьерных запасов осуществляется в зоне влияния карьера на напряженно-деформированное состояние массива, может сопровождаться выходом подземных блоков в карьерное пространство и приводить к возникновению гидро- и аэродинамиче-ских связей подземных выработок с атмосферой карьера. При обосновании параметров отработки указанных запасов следует учитывать эти особенности.

Прикарьерные запасы по положению относительно контура карьерного пространства делятся на прибортовые *4*, расположенные в бортах, и подкарьерные *5*, находящиеся ниже уровня предельного положения дна карьера.

Карьерные, открыто-подземные и шахтные запасы по возможности освоения физико-техническими методами делятся на извлекаемые и неизвлекаемые (проектные потери и эксплуатационные потери отбитой руды).

Проектные и эксплуатационные потери совместно с некондиционными рудами, которые либо отличаются низким содержанием полезных компонентов, либо расположены в неблагоприятных для отработки физико-техническими технологиями зонах, — маломощные участки (выклинки) или руды, залегающие в неблагоприятных горно-геологических условиях, образуют запасы, являющиеся объектом освоения комбинированной физико-химической технологией, предусматривающей изменение агрегатного состояния полезных компонентов и выдачу их по трубам или скважинам на поверхность для последующей переработки.

Комплексный открыто-подземный способ разработки предполагает два этапа развития открытых работ. На первом этапе открытая разработка начинается на одном из флангов месторождения и осуществляется утлубочной поперечной однобортовой системой с внеш-ним отвалообразованием. После достижения карьером заданной глубины на этом фланге рудного тела открытые работы переходят на поперечную однобортовую систему с постоянной рабочей зоной и внутренним отвалообразованием и развиваются в дальнейшем в горизонтальном направлении. Фронт горных работ в карьере перемещается от одного фланга к другому по простиранию залежи. После подвигания рабочего борта на 150 — 200 м у нижней границы карьера в торцовой части нерабочего борта проходят восстающий, который соединяет дно карьера, и подземный концентрационный горизонт, предварительно сформированный в его основании. Сериями вертикальных скважин восстающий расширяют в отрезную щель, ориентированную вкрест простирания рудного тела на всю его мощность. Далее рудную толщу, расположенную между дном карьера и подземным концентрационным горизонтом, обуривают на всю высоту с применением карьерной буровой техники. Осуществляется одностадийная выемка полезного ископаемого, включающая взрывание рудной толщи на всю высоту, выпуск и транспортирование руды через подземные выработки к рудовыдачным стволам. В результате образуется уступ открыто-подземного яруса (ОПЯ), который отрабатывают вслед за подвиганием фронта открытых горных работ с заданным отставанием в плане.

Запасы, расположенные ниже ОПЯ, отрабатывают подземным способом. При этом образуется единое выработанное пространство карьера, ОПЯ и подземных очистных работ. Оно используется в качестве емкости для складирования пород вскрыши, поступающих из карьера. Такая технология горных работ позволяет отработать переходную зону, разделяющую карьер и подземный рудник, одним уступом большой высоты с минимальным объемом вскрышных работ. Обеспечивается возможность наиболее эффективно использовать карьерную буровую технику и подземный транспорт при отработке запасов ОПЯ. Подземный концентрационный горизонт может быть использован для выдачи руды, по-ступающей с нижних горизонтов карьера.

После отработки переходной зоны и размещения пород вскрыши в едином выработанном пространстве создаются условия для применения на подземных работах систем с обрушением руды. При этом выпуск руды осуществляется под налегающими породами внутреннего отвала.

Таким образом, комплексный открыто-подземный способ добычи заключается в разработке месторождения по глубине тремя ярусами: первый отрабатывается открытыми работами до их проектной глубины; второй (ОПЯ) — одним высоким уступом без разноса бортов карьера с использованием карьерной и подземной буровой техники и выпуском руды в подземные выработки; третий — подземными работами. Между карьером и подземными работами образуется по вер-

тикали единое выработанное пространство. Размещение в образующемся едином выработанном пространстве карьера ОПЯ и подземных горных работ внутреннего отвала вскрышных пород повышает устойчивость массива за счет пригрузки бортов выработанного пространства (рис. 7.4—7.8, см. вкл.).

Характерными особенностями комплексного открыто-подземного способа, которые необходимо учитывать при проектном обосновании параметров разработки крутопадающих залежей, являются: наличие единого выработанного пространства, обеспечивающего размещение вскрышных пород во внутренних отвалах; отработка переходной зоны от открытых работ к подземным горным работам одним уступом большой высоты с использованием карьерной и подземной буровой и транспортной техники; рациональная взаимоувязка технологических схем открытого и подземного способов добычи в процессе разработки месторождения.

Глава 8

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

8.1. РАЗРАБОТКА РОССЫПЕЙ

Россыпи представляют собой отложения обломочных пород, содержащих какой-либо полезный минерал, которые образовались в результате разрушения коренных рудных месторождений. Продукты разрушения оставались на месте (элювиальные и делювиальные россыпи) или переносились водными потоками на значительные расстояния (аллювиальные россыпи). Основное промышленное значение имеют аллювиальные россыпи, которые обычно располагаются в долинах рек и перекрыты наносами, называемыми торфами (от 1,5 до 20—30 м и более). Породы, подстилающие россыпь, называют плотиком, а металлосодержащий слой — песками. Мощность песков колеблется от 0,5 до 3 м, составляя иногда 10—15 м. Длина россыпей достигает нескольких километров при ширине, измеряемой сотнями метров. Россыпи обычно содержат следующие полезные ископаемые: золото, платину, алмазы, касситерит, шеелит и некоторые другие минералы.

Разработке россыпей предшествует разведка, которая осуществляется проведением шурфов и бурением. Шурфы и скважины располагаются линиями через определенное расстояние в зависимости от характера россыпи и категории разведываемых запасов. Для выбора способа разработки и составления проекта необходимы следующие данные:

— общие экономические и географические сведения о месторождении и прилегающем районе, путях сообщения, водоснабжении и электроснабжении;

— краткая геологическая характеристика россыпей;

— разрезы по шурфам и скважинам с данными о мощности пересекаемых пород, содержании полезных компонентов, крепости и вязкости пород, включении твердых пород, коэффициенте разрыхления и удельном весе пород; ситовый анализ отдельных пород;

— характеристика плотика (рельеф поверхности, крепость, степень и глубина разрушенности).

Общий порядок работ по вскрыше аналогичен порядку работ в карьерах. Часто работы по вскрыше торфов проводят в зимний период, когда добыча мерзлых песков не производится вследствие значительных затруднений, возникающих при промывке. Пески обычно разрабатывают одним уступом из-за их незначительной мощности. Наибольшее развитие работы по добыче песков имеют в теплое время года, когда производительно работают золотопромывочные устройства. Россыпи при открытой добыче разрабатывают экскаваторами, драгами, гидравлическими установками, скреперами-бульдозерами. Экскаваторный способ

открытой разработки был рассмотрен выше. Кратко рассмотрим последние три способа разработки россыпей.

Драга представляет собой плавучий землечерпательный снаряд, предназначенный для добычи песков из россыпей с промышленным содержанием полезного компонента и промывки этих песков для отделения металлов или минералов (рис. 8.1, 8.2, см. вкл.). Главнейшие части драги — понтон, драгирующий (черпающий) аппарат, сооружения для поддержания оборудования, обогатительные (промывочные) устройства и двигатели. В зависимости от устройства добывающего аппарата драги подразделяются на непрерывно действующие (многоковшовые) и периодически действующие (одноковшовые). Одноковшовые драги не получили распространения. По роду энергии наиболее часто применяются драги электрические и дизельные. По конструкции драгирующего аппарата, представляющего в основном черпаковую цепь с черпаками, многоковшовые драги разделяются на два типа. В драге первого типа черпаки соединяются непосредственно, образуя сплошную цепь, тогда как в драге второго типа между отдельными черпаками вставляются холостые звенья цепи. Драги первого типа применяются при различных условиях работы и поэтому используются чаще.

Драги при работе перемещают с использованием свай или канатов. Свайные драги во время работы удерживаются тяжелыми и прочными сваями, расположенными в кормовой части. Сваи представляют собой железные клепаные балки, которые поднимаются полиспастами, укрепленными на задней мачте. Нижняя часть сваи снабжается литым из стали башмаком, которым она врезается в дно водоема. При работе в забое драга опирается на одну из свай, вращаясь вокруг нее при помощи боковых канатов. Вторая свая в это время поднята. После полной отработки заходки и зачистки плотика производится подшагивание драги.

Сущность гидравлической разработки заключается в отделении горной породы (песков, торфов) от общего массива сильной струей воды с последующим перемещением разрушенной породы потоком воды до места переработки или складирования.

При гидравлическом способе разработки россыпей промывка песков на промывных приборах и удаление хвостов после промывки осуществляются также силой водного потока. Вода при гидравлическом способе разработки подводится по трубам к гидромонитору. Скорость истечения воды из насадки забоя достигает 20 — 50 м/с. В случае отсутствия необходимого для отвода песков уклона долины применяются гидравлические элеваторы или землесосы, которыми пески предварительно поднимаются на необходимую высоту.

Основными условиями применения гидравличе-ской разработки россыпей являются:

— наличие большого количества воды. (Расход воды колеблется в пределах 8 — 60 $м^3$ на 1 $м^3$ разрабатываемых песков.);

— возможность создания естественного или искусственного напора воды в 2 — 18 атм.;

— возможность беспрепятственного отвода продуктов промывки — хвостов.

Гидравлический способ размыва песков был впервые применен в России при разработке золотых россыпей на Урале в 1830 г.

В настоящее время эта технология, наряду с дражной, является одной из основных при разработке россыпей. Кроме разработки россыпей гидравлическая разработка широко применяется при съемке наносов пород в карьерах, при строительстве плотин, выемке котлованов и при других строительных работах.

При использовании скреперно-бульдозерной технологии торфа и пески при этой геотехнологии вынимают бульдозерами и колесными скреперами.

Бульдозеры чаще применяются с тракторами С-100 и Т-140. Скреперы обычно применяются с емкостью ковша 6 — 10 м^3 с тракторами тех же марок.

Скреперно-бульдозерные работы в основном применяются при разработке вечномерзлых россыпей глубиной до 12 — 14 м. В Магадане и Якутии этим способом добывается до 50 % всего металла.

Широкое применение скреперно-бульдозерных работ при добыче мерзлых песков объясняется тем, что в этом случае выемка песков производится слоями по мере оттайки их без затрат на рыхление. Бульдозеры применяют при перемещении пород на расстояние не более 100 — 170 м при общей глубине выемки до 2 — 2,5 м. Удельное давление машины на почву составляет около 0,5 кг/см^2. Скреперы применяют при перемещении пород на расстояние 150 — 600 м при общей глубине выемки до 6 — 8 м. Удельное давление машины на почву составляет до 2 кг/см^2 (рис. 8.3, 8.4, см. вкл.).

Для увеличения производительности машин, создания для них лучших условий работы и уменьшения потерь при выемке россыпь необходимо предварительно осушить путем отведения воды из разреза. Осушение производится (как и при гидравлическом способе разработки) с помощью руслоотводных, нагорных и капитальных канав.

При большой глубине залегания россыпи могут отрабатываться и подземным способом. На практике так отрабатывают чаще всего россыпи в зоне вечной мерзлоты.

Системы разработки россыпей не отличаются многообразием и в соответствии с классификацией относятся к шестому классу систем с обрушением вмещающих пород.

Не останавливаясь на столбовых системах разработки россыпей с выемкой столбов заходками и забоем-лавой, рассмотрим сплошные системы (рис. 8.5, см. вкл.), применяющиеся при разработке россыпей в районах вечной мерзлоты при отсутствии или небольшом притоке воды через обрушенное пространство. Глубина залегания песков не должна быть менее 8 — 10 м, т. к. при меньшей мощности покрывающих пород может наблюдаться преждевременное обрушение кровли вблизи забоя.

Подготовка шахтного поля к очистной выемке состоит в проведении от ствола шахты откаточного штрека и поперечного штрека. Вдоль границ россыпи проводят бортовые вентиляционные штреки, одновременно служащие запасными выходами из забоя. На границах шахтного поля проходят вентиляционные шурфы. Очистную выемку начинают от разрезных штреков, ограничивающих шахтное поле по падению и восстанию долины.

Пески отбивают мелкошпуровым способом. Шпуры глубиной 1,2 — 1,5 м бурят перфораторами или электросверлами. В зависимости от высоты забоя применяют двухрядное или трехрядное расположение шпуров (симметричное или в шахматном порядке). Отбитые пески доставляют до откаточного штрека скреперами, а по откаточному штреку до ствола шахты — в вагонетках. Конструкция системы позволяет применять конвейерный транспорт: пески грузят на забойный конвейер, с которого они поступают на главный конвейер *6* в откаточном штреке.

Для поддержания выработанного пространства вдоль забоя устанавливают ряд стоек с расстоянием между ними 1,5 — 2 м и два-три ряда костровой крепи. По мере подвигания забоя через каждые 8 — 10 м крепь переносят ближе к забою, а выработанное простран-ство за кострами обрушают. В редких случаях отбойку песков ведут ручным инструментом, предварительно оттаивая пески паром. Добытые пески складируют до начала лета в отвалы. С наступлением тепла и по-

явлением воды пески из отвалов по мере их оттаивания подают на промывочные приборы.

Создание высокопроизводительных драг, экскаваторов и бульдозеров непрерывно расширяет область применения открытого способа разработки россыпей, поэтому подземная разработка остается целесообразной только для глубоко залегающих россыпей.

8.2. ДОБЫЧА МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Добыча полезных ископаемых методом «растворения» известна давно и применяется в широких промышленных масштабах при разработке месторождений каменной соли, серы, каолина и др.

Для всех этих ископаемых растворителем является вода, однако физико-химическая сущность процесса «растворения» для них неодинакова. Так, каменная соль действительно переходит в водный раствор, каолин же по существу не растворяется водой, а образует в ней взвешенную пульпу; сера в перегретой воде (до температуры 135°) образует тяжелую жидкость с удельным весом 2,0.

Во всех этих случаях, т. е. при растворении в воде, переходе во взвешенное состояние или из твердого состояния в жидкое, завершающим процессом извлечения ископаемого служит обратный процесс — выпаривание (соль), осаждение (каолин), охлаждение (сера).

Извлечение металлов из руд методом выщелачивания также не ново. Начало его относится еще к XVI столетию, когда было установлено, что медь, содержащаяся в кислых рудничных водах, может быть легко осаждена из раствора железом. В настоящее время в эксплуатации находятся крупные установки по извлечению меди из рудничных вод. Так как содержание меди в рудничных водах (в виде $CuSO_4$) достигает довольно значительной концентрации — до 3 — 5 г/л, а в среднем составляет не меньше 1 — 2 г/л, то при большой водообильности рудника количество содержащейся в воде меди, безвозвратно и бесполезно теряемой многими рудниками, достигает многих тысяч тонн в год.

Между тем процесс извлечения (цементации) сернокислой меди из водных растворов чрезвычайно прост и дешев.

Медь осаждается из раствора железом по реакции

$$CuSO_4 + Fe = FeSO_4 + Cu$$

в виде так называемой «цементной» меди.

Процесс осаждения производится в особых желобах, по которым рудничная вода, содержащая соли меди, протекает, непрерывно соприкасаясь с железом, или в чанах, наполнение и слив которых происходит периодически.

Наилучшим осадителем меди — «скрапом» считаются губчатое железо, обрезь трансформаторного железа и стружка. Реакция вытеснения меди из раствора железом происходит сравнительно медленно, поэтому чем длиннее путь, который проходит раствор в желобах, соприкасаясь с железом, или чем продолжительнее время реакции в чанах, тем полнее извлечение меди.

Выгрузка цементной меди из желобов или чанов производится систематически, через определенные промежутки времени. В зависимости от качества скрапа, состава рудничных вод и постановки процесса цементации в целом цементационная медь содержит в среднем от 50 до 70 % чистой меди и 30 — 50 % железа, ила и других примесей. Извлечение меди из раствора составляет при правильной постановке работ не менее 90 % и достигает при хороших условиях 99 %. После высуши-

вания цементационная медь переплавляется на заводе. Особенно вредны, снижают извлечение и ухудшают качество цементной меди илистость воды и наличие в ней сульфата окиси железа $Fe_2(SO_4)_3$ (рис. 8.6, см. вкл.).

Расход скрапа составляет в среднем 1,2 кг железа на 1 кг извлеченной меди.

Простота и экономичность добычи меди из рудничных вод послужили толчком к применению выщелачивания в качестве специального способа разработки месторождений медных руд.

Для разработки рудных месторождений методом выщелачивания необходимы следующие условия:

1) растворимость рудного минерала или соли металла в воде или слабом растворе серной кислоты;

2) проницаемость рудной массы для растворителя — наличие трещин, раздробленность рудной массы и возможность равномерного ее омывания растворителем;

3) отсутствие (или возможность устранения) каналов, позволяющих растворителю протекать по произвольному руслу, не омывая всей рудной массы;

4) желательно, чтобы раствор от места растворения до места осаждения металла протекал самотеком и самотеком же удалялись отработанные воды, из которых металл извлечен.

Из металлов только медь удовлетворяет первому условию и может извлекаться из руды выщелачиванием в промышленном масштабе. Руды других металлов (как, например, свинца, цинка, никеля и др.) обладают недостаточной растворимостью в слабом растворе серной кислоты, и вопрос о возможности их разработки методом выщелачивания находится пока в стадии изучения.

В качестве объектов для разработки выщелачиванием могут быть использованы: а) самостоятельно медные месторождения, не пригодные для обычных методов разработки вследствие слишком бедного содержания металла или неблагоприятных естественных условий; б) аварийные участки с невыпущенной, но раздробленной рудой; в) участки, заброшенные вследствие происходящего в них горения руды; г) участки с оставленными рудными целиками, которые нельзя отработать обычными методами; д) старые выработанные рудники с неполно извлеченной рудой; е) отвалы медьсодержащих пород на поверхности.

Опишем один из примеров успешного применения метода выщелачивания при разработке медного месторождения.

Месторождение представляет пластообразную залежь с мощностью до 100 м и углом падения 50°. Рудные минералы — пирит и халькозин; содержание меди в руде от 0,8 до 1 %.

До глубины 335 м от поверхности месторождение вскрыто штольней и разрабатывалось системой этажного обрушения; содержание металла в руде оказалось недостаточным, и рудник был закрыт. За время работ очень много руды было обрушено, но она осталась невыпущенной. Общий запас оставшейся руды оценивался примерно до 40 млн т при среднем содержании меди 0,88 %.

На поверхность обрушенного участка подавалось около 6 $м^3$ воды в минуту, откуда она, омывая рудный массив и старые выработки и обогащаясь медью в виде $CuSO_4$, спускалась на штольню. В штольне было установлено два желоба сечением 800 800 мм, длиной около 0,5 км с уклоном в сторону устья 0,5 %. Желоба имели двойное дно; верхнее «ложное» дно располагалось на 425 мм над основным и состояло из секций деревянных решеток с квадратными отверстиями размером 6 мм. Скрап укладывался на «ложное» дно.

Осажденная цементная медь собиралась на нижнем дне и выгружалась 1 — 5 раз в месяц.

Содержание меди в воде 0,2 %; извлечение достигло 97 %. Содержание металлической меди в «цементной меди» до 80 — 90 %. Расход железного скрапа составил 1 кг на килограмм извлеченной меди. Годовая добыча составила до 3000 т металлической меди. Полная стоимость 1 кг меди в несколько раз ниже, чем при обычных методах разработки и плавки.

Высокий экономический эффект выщелачивания на данном руднике объясняется особо благоприятными условиями, хорошей раздробленностью руды, растворимостью меди и, что не менее важно, наличием естественного стока воды и отсутствием расходов по ее откачке на поверхность.

На другом руднике применение метода выщелачивания было вызвано обеднением части рудного тела в верхних горизонтах и оставленным там большим количеством руды с содержанием меди 0,6 — 1 %.

Для подготовки к выщелачиванию были проведены значительные подземные работы — сеть горных выработок и водоудерживающих сооружений.

Вода на обрушенную руду подавалась равномерно по трубам, проложенным в штреках, и стекала на основной горизонт, откуда перекачивалась двумя насосами производительностью 75 $м^3$/ч на поверхность.

Наблюдением было установлено, что через некоторое время в руде начинали образовываться каналы, по которым вся вода спускалась вниз, не омывая или слабо омывая массив. Система оросительных труб была тогда перенесена на новое место, и орошение оставленного участка возобновлено только спустя два месяца. Содержание меди в растворе резко повысилось, а затем, в результате образования обособленных каналов, снова упало.

На основании этого был разработан определенный режим орошения: орошение участка продолжалось всегда до тех пор, пока содержание меди в воде не падало ниже 0,4 %; после этого оросительную систему переносили на новый участок. В перерывах между орошениями каналы закрывались сами собой.

Осаждение меди из воды производилось в специальной установке, состоящей из двух секций нескольких коротких желобов.

Были достигнуты следующие показатели: содержание меди в воде 0,923 %, извлечение меди при цементации 99,14 %, расход скрапа на 1 кг меди 1,15 кг, содержание меди в осадке 87,26 %.

Наиболее широкое применение технология выщелачивания находит при разработке месторождений урана. В последние десятилетия этот метод начал широко использоваться при освоении россыпных месторождений золота.

Способ подземного выщелачивания позволяет исключить целый ряд дорогостоящих и трудоемких процессов: вскрытие и подготовку при скважинных системах, очистную выемку и транспортировку руды на значительные расстояния, обогащение ее на фабриках, хранение отходов производства в специальных шламохранилищах и т. п. Кроме того, он частично или полностью избавляет человека от тяжелого труда под землей и представляет собой технологический процесс с высокой культурой производства.

При подземном выщелачивании (ПВ) металлов из пористых рудоносных пород (водопроницаемых, но не растворимых) необходимо обеспечить движение реагента непосредственно по трещинам, порам и капиллярам рудоносных пород. В этом случае извлечение металла, содержание которого составляет доли процента общего количества породы, происходит не путем его простого растворения (как при геотехнологической разработке соляных месторождений), а в результате химических реакций ионного обмена в процессе управляемого движения реагента через массив с естественной проницаемостью или предварительно разрушенную различными способами, отбитую и замагазинированную руду в недрах. В ре-

зультате выщелачивания во многих случаях практически не происходит изменения структуры металлосодержащих пород, которые остаются на месте залегания.

В настоящее время используются скважинные, подземные и комбинированные системы разработки урановых месторождений выщелачиванием.

По характеру движения растворов реагента при выщелачивании металлов выделяют три гидродинамические схемы: фильтрационная, инфильтрационная и пульсационно-статическая.

Фильтрационная схема ПВ металлов основана на использовании постоянного или периодически дей-ствующего потока раствора реагента, заполняющего все трещины и открытые поры руд. Движение (фильтрация) раствора происходит за счет разности напоров у раствороподающих (закачных) и раствороприемных (откачных, дренажных) устройств.

Инфильтрационная схема основана на использовании инфильтрационного потока раствора реагента, движение которого по рудному телу (отбитой и замагазинированной руде) происходит под действием сил гравитации от оросительных устройств к дренажным. Эта схема применима только при выщелачивании металлов из равномерно водопроницаемых руд. Поэтому она получила наибольшее распространение при подземном выщелачивании предварительно отбитых и замагазинированных руд в камерах, а также при кучном выщелачивании. При этом раствор не заполняет полностью пустоты в отбитой руде, как при выщелачивании по фильтрационной схеме, а лишь смачивает и покрывает тонкой пленкой поверхность отдельных кусков и заполняет капилляры. Только в нижней части камер формируются фильтрационные зоны.

Пульсационно-статическая схема заключается в периодическом затоплении (заполнении) выщелачивающим реагентом руд в естественном залегании, отработанных пространств в рудниках или специально подготовленных камер с замагазинированной рудой с по-следующим сбором продукционных растворов. Такой способ в практике обогащения руд известен под названием иммерсионного.

Как указывалось, одной из важнейших предпосылок при организации разработки месторождений способом ПВ является присутствие полезного компонента в рудах в легкорастворимой форме, способной переходить в слабые растворы минеральных или органиче-ских кислот, соды, солей. С этой точки зрения все урановые руды условно можно подразделить на три основные минеральные группы:

1) руды, из которых извлечение урана при ПВ в раствор без применения окислителей затруднительно. В таких рудах уран находится в основном в восстановленной (четырехвалентной) форме в виде окислов UO_{2+x}, имеющих кубическую решетку, хорошо раскристаллизованных (уранинит), колломорфных (урановая смолка, или настуран), а также в виде кристаллического силиката — коффинита $U(SiO_4)_{1-4}(OH)_4$ и др.;

2) руды, в которых уран находится в основном в шестивалентном состоянии и при ПВ легко переходит в кислотные и щелочные растворы. Это руды, содержащие гидроокислы [скупит $UO_2(OH)_2H_2O$ и др.], окисленные соединения [минералы уранила; ванадаты — карнотит $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \quad 3H_2O$, тюямунит $Ca(UO_2)_2(VO_4) \quad 8H_2O$ и др., фосфаты — отенит $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \quad 10H_2O$, торбернит $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \quad 12H_2O$ и др., силикаты — уранофан $Ca(UO_2)_2(Si_2O_7) \quad 6H_2O$ и др.]. К группе легковыщелачивающих минералов относится урановая чернь, представляющая собой порошковатую тонкозернистую разновидность нестехиометрических окислов урана UO_{2+X}, обладающих кубической решеткой. Процесс перехода урана из урановой черни в раствор происходит достаточно быстро, как и из любых порошковатых, тонкоизмельченных продуктов. К этой же группе относится порошковатая разновидность коффинита;

3) руды, содержащие практически не растворимые в кислотах и щелочах урановые минералы: давидит $(Fe^{2+}, Fe^{3+}, U, Ce, La)_2(Ti, Fe^{3+}, Cr, V)_SO_{12}$, браннерит $(U^{4+}, Ca, Th, V)[(Ti, Fe)_2O_6]$ nH_2O и др.

Для процессов ПВ наиболее благоприятны условия, когда урановые минералы заполняют поры и трещины пород, образуя большие скопления с различной концентрацией и конфигурацией (сосредоточенная рудная минерализация). При этом содержание в руде урана не имеет такого значения, как при очистной выемке. Это объясняется тем, что способ ПВ позволяет вовлекать в рентабельную разработку даже небольшие рудные залежи с бедным и забалансовым для обычных способов разработки содержанием урана.

В настоящее время способом ПВ разрабатываются месторождения урана различных генетических типов. При этом в зависимости от природного состояния рудного массива (водопроницаемости и физико-механических свойств руд, мощности и элементов залегания рудных тел и др.) даже на месторождении одного генетического типа могут применяться различные способы подготовки руд к выщелачиванию и различные системы разработки.

Применительно к подземным системам выщелачивания урана руды различного генезиса по степени водопроницаемости и пористости с учетом растворимости урановых минералов, а также существующих и возможных (развивающихся) средств разрушения массива можно разделить на три основные группы.

Первая группа — руды с поровой и порово-трещинной водопроницаемостью, имеющие коэффициент фильтрации 0,05 — 10 м/сут и эффективную пористость более 5 — 8 %. К ним относятся руды, приуроченные к пескам и песчаникам многих пластовых гидрогенных месторождений урана, а также руды, локализованные в зонах интенсивной трещиноватости метаморфогенно-осадочных и магматических пород. Главная особенность руд первой группы в том, что они не требуют специальной горной подготовки (разрушения массива, отбойки и магазинирования). Высокие пористость и водопроницаемость позволяют осуществить процесс ПВ в массиве естественного залегания.

Вторая группа — руды в основном слабоводопроницаемые, с коэффициентом фильтрации в пределах 0,05 — 0,005 м/сут и эффективной пористостью в пределах 3 — 5 %. Они приурочены обычно к тонкозернистым глинистым песчаникам, алевролитам, конгломератам, сланцам и т. п.

В этих рудах процесс ПВ в массиве естественного залегания протекает весьма медленно, неэффективно. Кроме того, руды второй группы, как правило, обладают неоднородными фильтрационными свойствами. Это приводит к неравномерному во времени выщелачиванию отдельных участков рудных тел и затрудняет получение кондиционных продукционных растворов в течение всего периода процесса.

Третья группа — руды весьма слабоводопроницаемые, с коэффициентом фильтрации менее 0,005 м/сут и эффективной пористостью менее 3 %. Они могут быть приурочены к плотным осадочным, метаморфогенно-осадочным и магматическим породам. При этом иногда рудный массив может быть осложнен послойными и секущими разрывными тектоническими нарушениями с оперяющими трещинами, скорость фильтрации растворов реагента по которым может достигать нескольких десятков метров в сутки.

Соответственно с этим особенностями геологиче-ского строения месторождений выбирают одну из трех приведенных выше гидродинамических схем (фильтрационную, инфильтрационную или пульсационно-статическую).

Фильтрационная схема нашла применение при разработке рудных тел различной мощности, представленных пористыми и трещиноватыми, однородными и

неоднородными, обводненными и необводненными породами с различными элементами залегания.

При выщелачивании используют фильтрационный поток реагента, подаваемого в нагнетательную выработку или скважины под напором. Это обеспечивает полное закисление и выщелачивание руд, заключенных в блоке, на всем пути фильтрации раствора реагента от нагнетательных устройств к дренажным.

С учетом особенностей строения рудного массива, фильтрации растворов и расположения в разрабатываемом блоке нагнетательных и дренажных горных выработок (скважин) в этой группе можно выделить три технологические схемы:

1) с линейным расположением нагнетательных и дренажных горных выработок (скважин);

2) с контурным расположением дренажных горных выработок (скважин) (рис. 8.7, см. вкл.);

3) с секционной подачей и приемом растворов в щели (пучки, веера скважин).

Инфильтрационная схема ПВ получила самое широкое распространение и отличается большим разнообразием вариантов. По характеру горноподготовительных и буровзрывных работ, способам подачи и приема растворов можно выделить варианты:

1) с отбойкой и магазинированием руд в обособленных открытых камерах;

2) с посекционной отбойкой при сплошном магазинировании руд в открытых камерах;

3) с отбойкой и магазинированием руд в обособленных закрытых камерах (рис. 8.8, см. вкл.);

4) с посекционной отбойкой при сплошном магазинировании руд в закрытых камерах.

Пульсационно-статическую схему подземного выщелачивания урана из отбитых руд в камерах применяют в тех случаях, когда вмещающие породы являются весьма слабоводопроницаемыми, практиче-ски водонепроницаемыми или есть возможность исключить утечки растворов с помощью искусственных противофильтрационных завес. Иногда в таких камерах вместо пульсационно-статического режима используют фильтрационный режим выщелачивания. Для этого камеры по периметру или на отдель-ных участках (в зависимости от конкретных условий) оборудуют дренажными скважинами. Размеры блоков выбирают с таким расчетом, чтобы, во-первых, запасы руды в оставляемых оконтуривающих целиках были невысокими и, во-вторых, имелась возможность быстро заполнить и разгрузить их от растворов. Мощность магазинируемых руд в блоках, как правило, не превышает 8—10 м; при большей мощности обычно применяют инфильтрационную схему выщелачивания.

В зависимости от физико-механических свойств, элементов залегания руд и способа горной подготовки блоков можно использовать несколько вариантов выщелачивания в обособленных камерах, оконтуренных слабофильтрующими целиками.

8.3. ГИДРОДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Одним из направлений развития способов разрушения горных пород является использование энергии водяной струи большого давления и скорости.

Исследования последних лет показывают, что породы практически любой крепости можно разрушать гидромониторными струями. Однако в настоящее время гидравлическое разрушение применяется в основном для разработки рыхлых по-

род и руд (пески, супеси, суглинки, глины, алевролиты и т. д.) и несколько реже — при разработке слабых скальных пород и руд (мергели, сланцы, известковистые песчаники, угли и т. д.).

Механизм разрушения зависит от физико-механических свойств горных пород и параметров струи и обусловлен одновременным проявлением различных сил (динамическое давление, удар, фильтрационные силы и др.). В результате воздействия струи на слабосвязанные или уже отбитые руды нарушается связь между отдельными частицами, происходит смачивание и водонасыщение пород, что в свою очередь приводит к изменению сил сцепления.

Ослабление структурных связей, облегчение деформации и понижение прочности может быть достигнуто введением в рабочую жидкость поверхностно-активных веществ (ПАВ). Слои молекул или ионов жидкости с высокой энергией смачивания проникают в микротрещины и препятствуют смыканию поверхностей, что способствует снижению величины работы, необходимой для разрушения.

В ряде случаев эффективное разрушение структуры песчаных руд может быть достигнуто кислотной обработкой, разрушающей цементирующее вещество. Цементирующее вещество может быть разложено при соответствующих условиях микроорганизмами, выделяющими продукты жизнедеятельности, придающие пласту повышенную подвижность.

Структура рыхлых водонасыщенных руд может быть разрушена фильтрационным потоком. Плывунное состояние полезного ископаемого создает наилучшие предпосылки для его добычи. Плывунность не является свойством какого-нибудь определенного типа пород. При создании соответствующих условий в плывунное состояние могут переходить горные породы любого гранулометрического состава.

Из всех вышеуказанных способов разрушения горных пород и руд для образования гидросмеси наибольшее применение нашло разрушение напорными гидромониторными струями, иногда в сочетании с другими способами (взрывным, механическим). Этот способ нашел довольно широкое применение на открытых горных работах для производства вскрыши и на добыче, на подземных горных работах при добыче угля. Исследования показывают, что способ гидродобычи через скважины, позволяющий не производить дорогостоящих вскрышных работ, а также освободить человека от участия в тяжелом и опасном подземном процессе добычи, может уже в ближайшие годы найти промышленное применение на ряде месторождений нашей страны.

Сущность способа гидродобычи через скважины (СГД) с разрушением пластов, содержащих полезное ископаемое, гидромониторными струями состоит в следующем: в пробуренную скважину опускается добычный снаряд, оборудованный гидромонитором и выданным устройством; руда, размываемая струей воды при соответствующем давлении, в виде пульпы выдается на поверхность. В качестве выдачного устройства могут использоваться гидроэлеваторы, эрлифты, скважинные насосы или их комбинации. Возможна также отработка через скважины, буримые из горных выработок, пройденных под рудным телом. При этом рудная пульпа самотеком через скважину подается на обогащение или выдается на поверхность. Объем добычи одной скважины определяется параметрами кратковременной устойчивости кровли рудного тела.

В Институте гидродинамики СО АН СССР было предложено осуществлять бесшахтную добычу погребенных россыпей, базирующуюся на свойстве песков-плывунов при выемке их через скважины заполнять освободившееся пространство в забое скважины новой порцией горной массы. Технологический процесс

добычи состоит в следующем. В пробуренную и обсаженную скважину опускаются два соосных трубопровода с гидроэлеватором на конце. От насоса к гидроэлеватору по межтрубному пространству подается под напором вода, а по центральной трубе выводится наверх пульпа. Расчеты показали, что одна скважина в условиях плывуна с дебитом 20 м^3/ч может работать на добыче песка несколько лет. Однако при проведении опытных работ после откачки около 1000 м^3 песков произошел обвал налегающих пород, и приток песка к скважине прекратился.

В США разработан способ, основанный на использовании устройства, позволяющего вести добычу полезного ископаемого под землей через скважину с помощью напорных струй воды и осуществляющего подъем образующейся пульпы эжекторным устройством.

Разработка ведется через 16-дюймовые скважины (40,6 см) и сочетает гидравлическую отбойку, вынос пульпы и вращательное бурение. Скважина бурится с поверхности и крепится до верхней части разрабатываемой зоны. Горный инструмент для разработки через скважину состоит из многочисленных секций бурильных труб разного диаметра, расположенных соосно, и эжекторного агрегата. Эжекторный агрегат содержит боковые насадки, струйный насос со всасывающей сеткой и трехшарошечное долото. Под давлением до 6 МПа жидкость подводится к боковым насадкам, к насадке струйного насоса и трехшарошечному долоту. Жидкость, выходящая из промывочных отверстий, очищает коронку и взбалтывает буровой шлам. Вращательное движение бурового инструмента заставляет буровую коронку измельчать негабаритный материал до такой степени, чтобы он смог пройти через всасывающую сетку. Давление жидкости, выходящей из насадки струйного насоса, обеспечивает поднятие пульпы к поверхности с глубины до 150 м. Пульпа разгружается в отстойники, где шлам осаждается, а очищенная жидкость возвращается к насосу высокого давления. При таком способе разработки производительность может достигнуть 0,76 м^3/мин. Для достижения максимальной производительности уровень жидкости в скважине автоматически поддерживается ниже потоков боковых струй.

Обосновано также возможное применение эрлифтного насоса совместно с водоструйным. Такая система может применяться для разработки на глубине до 450 м. Для увеличения глубины отработки до 2500 м предлагается кроме использования эрлифта закачивать в образующуюся подземную полость воздух под большим давлением.

Институт горно-химического сырья ведет исследовательские работы по внедрению гидродобычи через скважины на месторождениях фосфоритов в Ленинградской области. Рудный пласт представлен мелко- и разнозернистыми фосфоритосодержащими песками с отдельными прослоями песчаников. Налегающие породы представлены глауконитовыми песчаниками, доломитами, доломитизированными известняками и четвертичными отложениями. Общая мощность налегающих пород до 30 — 40 м. Для отработки рудного пласта через скважины испытывалось несколько схем. Большие водопритоки по хорошо фильтрующим пескам заставили применить добычу в затопленном забое. Для выдачи размытых песков был создан эрлифт, позволяющий устойчиво вести выдачу рудной пульпы с Т : Ж = 1 : 1.

Для СГД перспективны все легко диспергируемые, пористые, рыхлые и слабосвязанные залежи полезных ископаемых. К ним откосятся месторождения торфа, песков и гравия для строительной и стекольной промышленности, фосфорит и марганцевосодержащие отложения, рыхлые россыпные месторождения золота и титана, осадочные месторождения редких металлов, мягкие бокситовые руды, битуминозные песчаники и т. д.

Представляет интерес применение СГД для добычи строительных материалов, находящихся на значительной глубине. Метод перспективен, например, для добычи обводненных крупнозернистых песков в районе новых нефтяных месторождений Тюменской области, залегающих под слоем вечной мерзлоты на глубине 40 — 50 м.

Обзор вариантов скважинной гидродобычи, предлагаемых, применявшихся и разрабатываемых, показывает, что все варианты СГД могут быть четко разделены на три основные технологические схемы:

1) с отбойкой руды свободными незатопленными струями в осушенном очистном пространстве;

2) с отбойкой руды в затопленном очистном пространстве;

3) с использованием плывунных свойств пород за счет разницы гидравлического градиента (создаваемого или естественного) в соседних скважинах.

Для каждой схемы характерны специфичное оборудование и технология, а также определенная область применения в зависимости от горно-геологических факторов.

Схема с отбойкой руды в осушенном забое позволяет разрабатывать руды значительной крепости, осуществлять эффективную доставку отбитой горной массы от забоя до выдачного устройства, относительно легко управлять очистными работами и горным давлением. Эта схема также характеризуется относительно небольшим уровнем потерь и разубоживания и простотой применяемого оборудования. В ней обычно применяются гидромониторы с коротким стволом различных конструкций, как встроенные в нижний оголовок, так и выдвижные; в качестве выдачного устройства обычно используется гидроэлеватор, позволяющий осушать забой, иногда в комбинации с эрлифтом. К недостаткам схемы можно отнести относительно высокую энергоемкость гидроподъема при условии осушения этим же агрегатом очистной камеры, что особенно проявляется с увеличением глубины разработки и водопритоков.

Схема с отбойкой руды в затопленном забое позволяет вести отработку несвязных рудных тел в условиях больших водопритоков, а также под водоемами и на шельфе Мирового океана. Она характеризуется благоприятными условиями для работы выдачных устройств, в качестве которых могут быть использованы эрлифты и гидроэлеваторы, и может быть применена для разработки на больших глубинах. В отдельных случаях может быть использована выдача за счет гидростатического напора в камерах. Однако в связи с быстрым гашением энергии струи в условиях затопленного забоя затруднена отбойка крепких связных пород и требуется применение шланговых или телескопических мониторов, удлиняющихся по мере продвижения забоя, что усложняет конструкцию добычного агрегата, требует создания специальных сложных систем для контроля положения и управления гидромонитором. При этом ограничивается также объем отработки на одну скважину из условия достаточной устойчивости пород кровли, т. к. при обрушении вышележащих пород выдвинутый удлиненный гидромонитор трудно или невозможно извлечь. При этом затруднена доставка отбитой горной массы до выдачного устройства и относительно велик уровень потерь. При применении гибких шланговых гидромониторов также затруднено управление очистными работами. Все это ограничивает область применения этой технологической схемы СГД.

Схема с использованием плывунных свойств пород, а также с превращением горных пород в псевдоплывунное (подвижное) состояние (за счет разности уровней подземных вод или посредством нагнетания через скважины воды и воздуха в пласт и откачки рудной пульпы гидроэлеваторами, эрлифтами или выдачи за счет гидростатического напора в камерах) может быть применена только при благо-

приятных горно-геологических условиях, определяемых прежде всего свойствами разрабатываемых пород.

В отдельных разрабатываемых схемах СГД предполагается использовать давление вышележащих пород для доставки горной массы в псевдоплывунном или плывунном состоянии к выдачному устройству.

Возможны также различные комбинации указанных схем.

Способ скважинной гидродобычи представляет собой поточный однолинейный технологический процесс подземной разработки месторождения полезных ископаемых, осуществляемый из горных выработок или с водной или земной поверхности.

Способ базируется на строгом регламенте и неразрывности во времени и пространстве совершаемых технологических операций:

— вскрытия с помощью буровых скважин;

— гидравлического разрушения (размыва) руды напорной струей воды (в осушенном или затопляемом очистном пространстве), дезинтеграции и перевода в забое разрушенной горной массы в состояние гидросмеси;

— доставки (самотечной или принудительной) гидросмеси от забоя до выдачного устройства или пульпоприемной скважины;

— выдачи гидросмеси на поверхность к установкам разделения;

— управления горным давлением.

Объединив, таким образом, в единый технологический процесс весь комплекс горных операций (от вскрытия и подготовки до очистной выемки и доставки полезного ископаемого), гидродобычная скважина действует на рудном поле как самостоятельное производственное звено горнодобывающего цеха.

Одной из основных операций технологического процесса гидродобычи через скважины является разрушение руды, осуществляемое, как правило, гидромониторными струями. Так же как и при традиционных способах гидравлической добычи полезных ископаемых (открытом и подземном), при СГД необходимо исследовать целый ряд факторов, чтобы добиться высокоэффективной и качественной выемки полезного ископаемого.

К таким факторам относятся следующие:

— природные, определяющие сопротивляемость горных пород и руд гидравлическому разрушению (вещественный состав, направление и степень трещиноватости, структура, крепость, пористость, водопроницаемость, смачиваемость и др.);

— гидравлические, характеризующие разрушающую способность гидромониторной струи (расход воды через насадку, диаметр насадки, давление и компактность струи);

— технические, определяющие условия воздей-ствия струи воды на породный массив (расстояние насадки до забоя, угол встречи струи с массивом, скорость перемещения струи по забою и др.);

— технологические, определяющие порядок выемки, параметры заходки, количество обнаженных плоскостей и др;

Влияние природных факторов при скважинной гидродобыче практически то же, что и при открытых и подземных гидравлических разработках, т. е. совокупность всех петрографических особенностей, прочностных, водных и других свойств руд определяет в конечном итоге возможность и эффективность применения гидравлического разрушения, потребный напор, удельный расход воды, параметры гидроподъема и гидротранспорта, технологию обогащения и размеры хвостохранилища.

Эти же факторы определяют и выбор основного оборудования.

8.4. ПОДВОДНАЯ РАЗРАБОТКА РУД

Кроме рассмотренных выше основных способов разработки в последние десятилетия очень быстро развивается ряд принципиально иных способов разработки минеральных ресурсов.

С каждым годом растет интерес к месторождениям полезных ископаемых, залегающих в морях и озерах на значительной глубине под водой. Именно в связи с этим начинает обособляться специальный подводный способ разработки месторождений, при котором основные процессы горных работ происходят в горных выработках незамкнутого контура, открытых в гидросферу.

Полезные ископаемые Мирового океана можно разделить на три группы:

1) растворенные в воде;

2) залегающие в виде россыпей на морском дне;

3) залегающие в коренных породах морского дна.

В зоне шельфа Мирового океана наибольшее распространение имеют россыпи тяжелых минералов — ильменита, рутила, циркона, моноцита, магнетита, касситерита; реже встречаются золото, платина, вольфрамит и другие минералы. В этой же зоне шельфа сосредоточено большое количество строительных материалов (песок, галька, гравий).

В более глубоких частях океана встречаются залежи конкреций фосфорита железомарганцевые конкреции (рис. 8.9) и кремниевые илы. В настоящее время разрабатываются, главным образом, россыпи, залегающие на глубинах не более 50 м. Для добычи в основном применяются землесосные черпаковые и скреперные драги, а также канатно-скреперные установки.

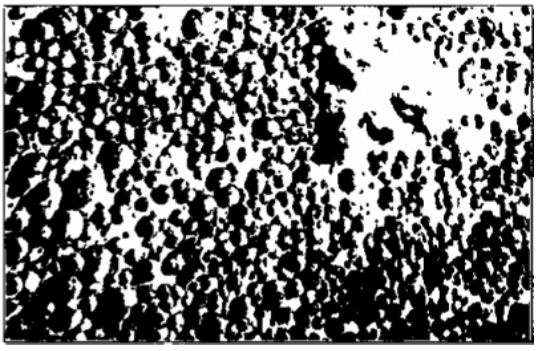


Рис. 8.9. Подводная фотография покрова железо-марганцевых конкреций на дне Тихого океана

(глубина 5400 м) к юго-западу от о. Раротонга, о-ва Кука

Землесосные драги всасывают песок со дна водоема глубиной до 15—20 м и по пульпопроводам доставляют его в виде пульпы на обогатительные устройства. Если грунтовый насос помещается ниже уровня воды, удается добывать пески с глубины до 45 м.

По своему назначению современные драги делятся на континентальные и морские.

С помощью континентальных драг, которые монтируются на плоскодонном понтоне, разрабатываются речные и озерные россыпи. Морские драги применяются для разработки прибрежных (шельфовых) россыпей, а также россыпей, залегающих на дне морей. Они монтируются обычно на килевых судах.

Для добычи конкреций на больших глубинах пока еще нет надежных способов. Имеются лишь отдель-ные установки и множество проектов и предложений (рис. 8.10, см. вкл.). Так, в Японии для добычи железомарганцевых конкреций с глубин до 6 км предложено применять многочерпаковую цепь, которая тянется судном. Цепь приводится в движение специальными лебедками, установленными на судне. Ковши емкостью до 100 л крепятся на синтетическом тросе через 20 — 25 м. Применяются также грейферные ковши. В США успешно применяются скреперные драги-ковши, которые тянутся за судном и по мере наполнения поднимаются на борт.

Глава 9

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ШТУЧНОГО КАМНЯ

К этой категории полезных ископаемых относятся все виды минерального сырья, которые после их добычи используются без или почти без какой-либо переработки. Хотя достаточно четкой границы здесь провести нельзя, и в этом делении сегодня больше традиционности, чем физического содержания.

Наиболее масштабной среди природных стройматериалов является добыча песка и различных глин, которые составляют основу современной строительной индустрии.

Разработка месторождений этих полезных ископаемых производится с применением механического разрушения различными машинами. В общем, здесь существуют очень значительные аналогии с разработкой россыпных месторождений (см. раздел 8.1).

Особую специфику здесь имеет только добыча блоков горных пород, при которой применяются достаточно сложные геотехнологии.

9.1. ДОБЫЧА КАМНЯ (БЛОКОВ ГОРНЫХ ПОРОД)

Горные породы издавна используются человеком для прикладных целей. Породы, добываемые из земных недр в виде каменных глыб — блоков или плит, представляют собой исходное сырье для производства облицовочных материалов, а также архитектурно-строительных, монументальных и некоторых технических изделий.

На территории нашей страны в качестве декоративно-облицовочных камней используются следующие типы горных пород:

— магматические — граниты, гранитогнейсы, гранодиориты, диориты, габбро-диориты, габбро-диабазы, пироксениты, сиениты, порфириты и др.;

— метаморфические — кварциты, кварцитопесчаники, мраморы, амфиболиты;

— осадочные — известняки, доломиты, песчаники, гипсы.

К основным факторам, определяющим практиче-скую ценность облицовочных материалов, относятся декоративность, долговечность, блочность и физико-технические характеристики пород.

Наибольшее применение в строительстве получили изверженные породы: гранит, сиенит, диорит, габбро, лабрадорит.

Гранит — наиболее распространенная глубинная порода. Минеральный состав гранитов характеризуется наличием следующих компонентов: кварц, ще-

лочной полевой шпат, кислый плагиоклаз, биотит, мусковит, иногда роговая обманка. Строение породы — однородное с равномернозернистой структурой. В гранитах наблюдается иногда порфировидное строение вследствие развития крупных кристаллов полевого шпата, что придает ему особо высокую декоративность. Граниты имеют плотность 2600 – 2700 кг/м^3, малую пористость — в среднем 1,5 %, незначительное водопоглощение — не более 0,6 %, предел прочности при сжатии 120 – 250 МПа, хорошую сопротивляемость истиранию. Чаще граниты имеют серую окраску различных оттенков, реже розовую, красную. Очень редки граниты голубовато-зеленой окраски. Встречаются также очень светлые, почти белые граниты.

Используют гранит для облицовки цоколей, порталов, устройства полов и лестниц с интенсивным движением людских потоков, облицовки набережных и т. п. Гранит — порода монолитная, позволяющая получать блоки больших размеров.

Диорит — глубинная зернистая порода, состоящая главным образом из плагиоклаза и темного минерала (пироксена или биотита). Кроме того, в состав диорита небольшим количеством входит кварц. Окраска диоритов — серая или зеленовато-серая, при преобладании темных минералов, переходящая в почти черную.

Диориты плохо принимают полировку. Предел прочности при сжатии 150 – 300 МПа. Залегают диориты в виде штоков, иногда образуют крупные массивы. Применяют их для наружных облицовок, а также для изготовления ступеней и покрытия полов.

Сиенит — глубинная зернистая порода. Главными составляющими являются калиевый полевой шпат и темный минерал (пироксен, биотит), кварц отсутствует или имеется в небольшом количестве. Структура сиенитов близка к гранитам и часто носит порфировидный характер. Структура сиенитов — полнокристаллическая, обычно среднезернистая.

Плотность сиенитов 2700 кг/м^3, предел прочности при сжатии примерно 200 МПа.

Применяют их в строительстве аналогично гранитам.

Габбро — кристаллическая глубинная порода среднезернистой структуры, состоящая из плагиоклаза и темных минералов (пироксена, оливина, роговой обманки). Цвет — от серого до черного. Плотность колеблется в пределах 2700 – 3200 кг/м^3, а предел прочности при сжатии 200 – 300 МПа.

Габбро пригодны для наружной отделки зданий, настилки полов, сооружения памятников.

Лабрадорит — является габбро-норитовой породой и характеризуется преобладанием кристаллов лабрадора, имеющих иногда голубую, синюю, реже золотистую иризацию. Чем больше иризирующих кристаллов в лабрадорите, тем выше свойства породы. Плотность породы в пределах 2600 – 2900 кг/м^3, предел прочности при сжатии 200 – 280 МПа.

Применяется для наружных и внутренних облицовок, широко используется при сооружении памятников.

Из группы эффузивных пород чаще всего используются:

Диабаз — изверженная порода полнокристаллической структуры, состоящая из плагиоклаза и авгита. Цвет темно-серый или зеленовато-черный. Плотность 2900 – 3100 кг/м^3, предел прочности при сжатии около 220 – 280 МПа.

Применяется для наружной отделки зданий, настилки полов, изготовления дорожной шашки, брусчатки и бортового камня.

Базальт — изверженная излившаяся порода. Состоит из плагиоклаза, авгита, оливина, магнетита. Структура неполнокристаллическая, мелкозернистая. Цвет

базальта темно-серый или черный. Плотность 2800 — 3000 кг/м^3, предел прочности при сжатии 100 — 400 МПа. Особо плотные базальты используются для облицовок в гидротехническом строительстве. Благодаря малому коэффициенту температурного расширения из базальта изготавливают мерные плиты и измерительный инструмент высшего класса.

Пористые разновидности базальта хорошо обрабатываются и применяются для изготовления наружных облицовок.

Андезит — изверженная излившаяся порода неполнокристаллической структуры. Состоит из плагиоклаза и темноцветных минералов. Цвет серый и темно-серый. Плотность 2900 кг/м^3, предел прочности при сжатии 140 — 250 МПа. Плотные андезиты применяются преимущественно в виде плит для кислостойких облицовок.

Из группы метаморфических пород в качестве облицовочного камня наиболее широко применяются мраморы. Гораздо реже используются кальциты. Промежуточное положение между осадочными и метаморфическими карбонатными породами занимают широко использующиеся мраморированные известняки.

Мрамор — полнокристаллическая порода, состоящая из зерен кальцита и доломита. В мраморах часто присутствуют кварц, графит, гематит, лимонит, хлорит, гранат и другие минералы. Текстура может быть массивной, слоистой, полосчатой, мозаичной. Мрамор имеет самую различную окраску — от чисто-белой до черной, а также розовую, голубую, желтую, зеленую и др. Неравномерное распределение примесей вызывает полосчатую или пеструю, пятнистую окраску. Большое значение для оценки декоративных качеств мрамора имеет его просвечиваемость, т. е. способность пропускать свет на глубину. Некоторые разновидности мрамора просвечиваются на глубину 3 — 4 см. Плотность мрамора в среднем составляет 2700 кг/м^3, предел проч-ности при сжатии 70 — 150 МПа. Мраморы хорошо пилятся, шлифуются и полируются. Широко применяются для внутренних облицовок зданий.

Мраморизованные известняки незначительно отличаются от мрамора по внешнему виду и техническим свойствам кристаллической структуры. Плотность их достигает 2700 кг/м^3, а предел прочности при сжатии — до 170 МПа. Цвет разнообразен, сходен с цветом мрамора. В отличие от мрамора мраморированные известняки несколько хуже обрабатываются.

Кварцит — метаморфическая горная порода, образовавшая из кварцевого песчаника. Кварциты характеризуются высокой механической прочностью, кислото- и щелочеупорностью, малой пористостью. Они хорошо полируются, но их обработка ввиду высокой твердости трудна и дорога, что ограничивает их применение в качестве декоративного камня. Цвет серый, красный и малиново-красный разных оттенков, реже чисто-белый. Плотность 2000 — 2600 кг/м^3, предел прочности при сжатии 206 — 557 МПа.

Породы средней прочности охватывают широкую гамму горных пород с пределом прочности на сжатие 40 — 150 МПа. При разработке месторождений пород средней прочности применяется технология добычи блоков с использованием камнерезных машин. Однако в отличие от добычи низкопрочных пород разработка месторождений пород средней прочности характеризуется значительно большим разнообразием применяемых средств резания камня, в которых используются рабочие органы, основанные на различных принципах направленного разрушения горных пород.

При разработке месторождений камня с большим значением предела прочности при сжатии и при наличии включений твердых пород (кварца, диорита и

др.) применяются комбинированные способы добычи блоков (рис. 9.1, см. вкл.). Помимо камнерезных машин используются средства направленного создания трещин. Таким образом, разработка месторождений пород средней прочности близка к технологии добычи прочных пород. Совершенство технологии добычи блоков определяется эффективностью средств резания. В большей степени она зависит от средств проходки щелевых выработок и рациональности их использования.

Средствами проходки щелевых выработок выполняется основной производственный процесс добычи блоков камня — подготовка пород к выемке, т. е. отделение монолитов или блоков от массива, на который приходится основная доля трудозатрат. Именно эти работы определяют эффективность всего добычного цикла. В связи с этим оборудованию для этого процесса будет отведено главное место при описании структур механизации горных работ.

Добыча блоков камнерезными машинами с кольцевыми фрезами. На карьерах для добычи мраморных блоков используются машины с кольцевыми фрезами, из которых наибольшее распространение получила СМ-177А. В настоящее время выпускается модернизированный вариант этой машины — СМР-028, в котором решены задачи автоматизации некоторых процессов резания. Машина СМР-028 представляет собой Г-образную самоходную раму, перемещающуюся по рельсам, уложенным вдоль забоя: один рельс на подошве уступа, второй — на верхней его площадке. По направляющим рамы, расположенным перпендикулярно к рельсам, перемещается пильная тележка с режущими органами. На раме установлены ходовая часть машины с тросовыми барабанами для рабочих перемещений машины и тележки, привод ходовой части, домкрат, гидронасосная установка, пульт управления. На пильной тележке смонтированы вертикальные фрезы, консоль с горизонтальной фрезой, привод вертикальных фрез и привод горизонтальной фрезы.

Поперечные пропилы в горном массиве производятся перпендикулярно рельсовому пути при перемещении пильной тележки с режущими органами по направляющим неподвижной рамы. При движении машины с неподвижной тележкой производятся одновременно горизонтальные и тыльные пропилы, т. е. отделение блока от массива. В случае необходимости пропилы делаются раздельно: сначала горизонтальный, затем тыльный.

Добыча блоков баровыми камнерезными машинами. В современном исполнении режущий орган баровых машин представляет собой так называемый бар — плоскую удлиненную конструкцию, соотношение длины и ширины которой 6 : 1. По периферийной части бара скользит цепь, звенья которой снабжены режущими зубками из твердого сплава. Корпус бара прикреплен одним концом к машине, которая в процессе работы перемещается по мере выполнения пропила вдоль забоя.

Процесс добычи блока баровой машиной заключается в отделении его от массива по трем взаимно-перпендикулярным плоскостям. Порядок производства работ остается таким же, как и при работе камнерезных машин с кольцевыми фрезами.

Добыча блоков канатно-пильными установками. При использовании этих установок, рабочим инструментом которых является канатная пила с контуром значительной длины, добыча блоков чаще всего осуществляется в две стадии. Сначала от массива отделяют крупногабаритный монолит, а затем разрезают его на блоки необходимых размеров.

К достоинствам канатно-пильных установок следует отнести простоту конструкции, незначительную энергоемкость, низкие технологические потери сырья, возможность выполнения разрезов значительной длины, технологическая гибкость.

Технологический процесс отделения блоков от массива прочных горных пород строится на сочетании камнерезных и колочных работ. Такой подход к процессу отделения блоков сокращает объемы работ по проходке щелевых выработок, как наиболее трудоемкие, и расширяет использование средств направленного развития трещин, которые обеспечивают получение разделительных щелей при сравнительно небольших трудовых затратах.

Технология добычи блоков при этом осуществляется в две стадии. Вначале от массива отделяют монолит (крупный блок), который в последующем разделывают на блоки нужных размеров. Перед отделением монолита от массива его обнажают щелевыми выработками настолько, чтобы обеспечить естественную целостность камня и не допустить развитие трещин в массиве и отделяемом монолите. Степень обнажения и размеры отделяемого монолита определяются характером трещиноватости массива и технологическими параметрами средств для проходки щелевых выработок, а также средств направленной колки камня и отбойки.

Проходка щелевых выработок в прочных горных породах. Наиболее широко используются огнеструйные горелки для создания щелевых выработок. Однако эффективность использования огнеструйных рабочих органов в большей степени зависит от физических свойств горных пород и ограничивается узким кругом кварцсодержащих пород. В последнее время больше внимания уделяется разработке более универсальных способов направленного разрушения.

Буроклиновый способ колки камня больше всех выдержал проверку временем и широко используется в настоящее время на зарубежных и отечественных камнеобрабатывающих предприятиях. Его технология проста: по линии намеченного раскола бурятся шпуры, в которые вставляются клинья.

Буровзрывной способ отбойки. Буровзрывной способ создания разделительных трещин чаще всего используется при отделении крупных монолитов от массива. Преимуществом этого способа перед другими является не только возможность получения разделительных трещин в заданном направлении, но и способность выполнить работу по перемещению отделяемого монолита от забоя. Возможность перемещения крупных монолитов от забоя выгодно выделяет буровзрывной способ от других методов и средств отбойки. Сразу же после перемещения монолита от забоя можно проводить работы по роспуску его на блоки с применением различных средств направленной колки и грузоподъемных механизмов и машин.

При буровзрывном способе отбойка осуществляется следующим способом. По линии намеченной отбойки бурятся шпуры на всю высоту отделяемого монолита или скважины, если высота отделяемого монолита более 5 м. В шпурах (скважинах) размещается заряд. Взрыв зарядов ведется одновременно во всех шпурах. В качестве ВВ применяется черный дымный порох, обладающий метательными свойствами. При правильно выбранном расположении шпуров, массе и конструкции зарядов дополнительного трещинообразования в массиве не происходит.

Взрывание пороховых зарядов производят с помощью огнепроводного или детонирующего шнура, капсюлями-детонаторами или специальными электровоспламенителями.

Невзрывчатые разрушающие средства. В последние годы испытываются невзрывчатые разрушающие средства (НРС), обладающие способностью при затвердевании расширяться. При заполнении этим веществом шпуров оно затвердевает и, расширяясь, создает достаточно высокую нагрузку на стенки шпура.

Глава 10

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Наиболее распространенными жидкими и газообразными полезными ископаемыми являются нефть и природный газ. Месторождения нефти сосредоточены в осадочной оболочке Земли. Это важнейшее полезное ископаемое залегает на большой глубине. Оно выявлено на всех континентах и на значительной площади прилегающих акваторий.

Нефтяное месторождение — это совокупность залежей нефти, приуроченных к одной или нескольким ловушкам, контролируемым единым структурным элементом и расположенным на одной локальной площади. По числу залежей нефтяные месторождения могут быть однозалежными и многозалежными, по фазовому содержанию углеводородов *нефтяные, газонефтяные, газоконденсатнонефтяные.* По запасам выделяют супер-гигантские (более 500 млн т извлекаемой нефти), гигант-ские (от 100 до 500 млн т), крупные (от 30 до 100 млн т), средние (от 10 до 30 млн т), мелкие (менее 10 млн т) и непромышленные нефтяные месторождения.

Практический интерес имеют залежи нефти, представляющие ее скопление с массой от нескольких тысяч тонн и больше, находящиеся в пористых и проницаемых породах — *коллекторах.* Различают три основных вида коллекторов: межгранулярные (песчаные и алевролитовые); кавернозные (карстово-кавернозные, рифогенные и другие известняки); трещинные (карбонатные, кремнистые и другие трещиноватые породы).

Залежь обычно располагается под слабопроницаемыми породами, слагающими *покрышку.* Каждая залежь нефти находится в ловушке. Различают три типа ловушек — замкнутые, полузамкнутые и незамкнутые. Ловушка нефти — это часть коллектора, условия залегания которого и взаимоотношения с экранирующими породами обеспечивают возможность накопления и длительного сохранения нефти и газа. Элементами ловушки являются коллектор нефти и газа, покрышка, экран. Выделяют ловушки сводовые, тупиковые или экранированные и линзообразные (рис. 10.1, см. вкл.).

Сводовые ловушки образуются в сводовых частях антиклиналей, над соляными куполами, интрузивными массивами и т. д.

Ловушки экранированного типа в зависимости от происхождения экрана бывают: тектонически экранированные — возникающие в результате сброса, взброса, надвига или внедрения массива каменной соли, интрузивного тела; стратиграфически экранированные — при несогласном перекрытии коллектора герметичным экраном; литологически экранированные — при выклинивании, уплотнении коллектора или запечатывании коллектора асфальтом; гидродинамически экранированные — возникающие на моноклиналях, в зонах угловых несогласий и разрывных нарушений при нисходящем движении воды и встречном всплывании нефти.

Линзообразные ловушки образуются в коллекторах линзообразного строения (погребенных песчаных барах, русловых и дельтовых песчаниках).

Свыше 70 % запасов нефти и газа находятся в ловушках сводового типа, заключенных в антиклиналях.

*Природные горючие газы*е — это газообразные углеводороды, образующиеся в земной коре. Они состоят из метана, этана, пропана и бутана. В них также содержатся углекислый газ, азот, сероводород и инертные газы.

Промышленные месторождения природных газов встречаются в виде обособленных скоплений, не связанных с какими-либо другими полезными ископаемыми, в виде газонефтяных месторождений, в которых газообразные углеводороды полностью или частично растворены в нефти или находятся в свободном состоянии (рис. 10.2, см. вкл.), в виде газоконденсатных месторождений, в которых газ обогащен жидкими, преимущественно низкокипящими углеводородами.

Почти вся добываемая в мире нефть извлекается посредством нефтяных скважин, закрепленных стальными трубами высокого давления. Для подъема нефти и сопутствующих ей газа и воды на поверхность скважина имеет герметичную систему труб, механизмов и запорной аппаратуры.

Современные системы разработки в большинстве случаев предусматривают нагнетание воды в пласт (до 75 % добычи). Применяют два вида заводнения: законтурное, или приконтурное (для небольших залежей); внутриконтурное (залежи среднего размера и крупные).

Расстояние между скважинами составляет 400 — 800 м. Извлечение нефти из скважин производится либо за счет естественного фонтанирования под действием пластового давления, либо путем использования одного из механизированных способов подъема жидкости. Обычно сначала преобладает фонтанная добыча, по мере ее ослабления скважины переводят на механизированный способ добычи. К механизированным относят: газлифтный (эрлифтный) и турбинонасосный (штанговые, погруженные центробежные, гидропоршневые и винтовые насосы). Применение различных способов подъема нефти примерно таково: фонтанный — 15 %, штанговые насосы — 69 %, погруженные центробежные — 12 %, газлифтные скважины — 4 %.

Разработка залежей тяжелой нефти ведется с использованием шахтного способа (рис. 10.3, 10.4, см. вкл.).

Газовая промышленность — отрасль топливно-энергетического комплекса, включающая разведку, разработку и эксплуатацию месторождений природного газа, его комплексную переработку, подземное хранение, транспортирование по магистральным трубопроводам, а также поставку различным отраслям промышленности и коммунально-бытовому хозяйству для использования в качестве источника энергии и химического сырья. *Газовое месторождение* — совокупность газовых залежей, приуроченных к общему участку поверхности и контролируемых единым структурным элементом.

Газовые месторождения разделяются на многопластовые и однопластовые. Многопластовые месторождения эксплуатируются как раздельно скважинами, пробуренными до каждого пласта, так и скважинами, одновременно вскрывающими все залежи. Чисто газовые месторождения имеют в составе газа 94 — 99 % метана и незначительное количество этана, пропана.

Особенность добычи газов из недр состоит в том, что весь сложный путь газа от пласта к потребителю *герметизирован.*

Разработку газового месторождения осуществляет газовый промысел, представляющий собой сложное, размещенное на большой территории хозяйство, которое включает технологический комплекс, предназначенный для добычи и сбо-

ра газа и конденсата с целью подготовки их к дальнейшему транспортированию (рис. 10.5, см. вкл.).

Газовая скважина служит для вскрытая газового пласта и извлечения из него газа, а также для закачки газа в подземное хранилище и последующего его отбора. Газовые скважины подразделяются на эксплуатационные, нагнетательные, наблюдательные. Конструкция газовой скважины выбирается исходя из особенности геологического строения залежи, климатических условий, физико-химических характеристик газа, распределения температур от забоя до устья, условий эксплуатации и бурения, а также технико-экономических показателей.

Оборудование ствола газовой скважины состоит из ряда обсадных колонн, фонтанных труб, спускаемых для подачи газа от забоя до устья, забойных и приустьевых штуцеров, клапанов-отсекателей для предупреждения открытого фонтанирования в аварийных ситуациях. Диаметр обсадных колонн от 114 до 340 мм.

Разработка газового месторождения состоит из двух этапов: опытно-промышленной эксплуатации (2—5 лет), в ходе которой уточняется характеристика залежи свойства пласта, запасы газа, продуктивность скважин, месторождение подключается к ближайшему газопроводу и промышленной эксплуатации, включающей в себя три основных периода — нарастающей, постоянной и падающей добычи.

Первый период связан с бурением скважин и оснащением газового промысла. Во второй период добывается 50—60 % газа. Третий период падающей добычи не ограничен во времени.

Разработка газовой залежи занимает в основном 15—20 лет. За этот период извлекается 80—90 % запасов газа.

Скважины на площади месторождения располагаются равномерно по квадратной или треугольной сетке либо неравномерно группами. Чаще применяют групповое размещение, при котором облегчается обслуживание скважин, возможна комплексная автоматизация процесса сбора, учета и обработки продукции.

Транспортировка газа по территории страны в основном осуществляется сетью магистральных газопроводов. Кроме газопроводов транспорт газа осуществляется водным путем специальными танкерами — метановозами-газовозами.

Для обеспечения надежности снабжения газом, а также покрытия сезонных и суточных пиков газопо-требления создана сеть газовых хранилищ, в основном подземного типа.

Глава 11

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Из названия этого вида сырья с очевидностью следует, что оно добывается из литосферы с целью получения в дальнейшем тех или иных химических соединений.

Сюда относятся такие полезные ископаемые, как калийные соли, поваренная соль, апатиты, фосфориты, датолит, барит и некоторые другие.

С точки зрения проблем и технологии разработки значительная часть этих месторождений ничем не отличается от рудных месторождений. Тем не менее следует выделить месторождения калийных и натриевых солей, разработка которых отличается рядом специфических особенностей, связанных прежде всего с тем, что все соли легко растворимы в воде. Поэтому основным требованием к геотехнологии становится полное исключение проникновения природных вод в зону ведения добычных работ.

Вода, проникая через трещины, карсты или другие нарушения в покровных соляных породах, размывает их. Это приводит к появлению в руднике быстро прогрессирующих притоков, в результате чего происходит его затопление, сопровождающееся обрушением по-кровных пород и огромными разрушениями на поверхности. Поэтому возникает необходимость тщательного изучения геологии и гидрогеологии калийных месторождений. В первую очередь необходимо выяснить водоносность покровной толщи и контакта между соляным телом и покровными породами, а также наличие водоносных горизонтов в соляном теле.

Соляные месторождения, имеющие водоносный горизонт в соляной толще, связанный через трещины или другие нарушения с водоносным горизонтом покровных пород, практически являются недоступными для эксплуатации. Таким образом, при решении во-проса о промышленном использовании какого-либо калийного месторождения необходимо особое внимание обратить на его тектонику и особенно на взаимосвязь тектонических нарушений в покровных породах с тектоникой самого соляного тела.

При разведке соляных месторождений встречается ряд трудностей, т. к. каждая буровая скважина, пробуренная в соляную толщу, может оказаться проводником воды из покровных пород. Несмотря на обязательный тампонаж скважин, все же нет полной гарантии от неплотностей в тампонаже и, следовательно, от просачивания воды вниз. Поэтому правилами эксплуатации калийных месторождений предусматривается обязательное оставление около каждой скважины охранного целика диаметром 100 м, что приводит к большим потерям ископаемых солей.

Очень часто для выяснения характера залегания пласта стараются пробурить возможно большее число разведочных скважин, что, однако, создает большие трудности при эксплуатации калийных месторождений. Практически буровые скважины должны находиться на расстоянии 1,5 — 2 км друг от друга. При таком расстоянии между скважинами очень трудно выяснить тектонику калийных

месторождений. Все это требует большой осмотрительности и хорошей постановки эксплуатационной разведки.

Решающим фактором при вскрытии калийного месторождения и выборе способа его разработки являются гидрогеологические условия месторождения: водоносность покровных пород и близость их к соляным отложениям. Водоносные горизонты при этом нередко располагаются непосредственно над соляной толщей, образуя на контакте соляных и покровных пород так называемый рассольный горизонт (как, например, на Верхнекамском месторождении), или отделены от соляных отложений толщей водонепроницаемых пород, связанных с ними через тектонические нарушения. В обоих случаях имеется реальная опасность прорыва воды в подземные выработки.

Из этого следует, что калийные месторождения можно разделить по горнотехническим признакам на 4 обособленные группы, каждой из которых соответствует применение определенного способа разработки.

Месторождения I группы представлены горизонтальными или пологими пластами с относительно небольшими тектоническими нарушениями в виде местной складчатости, отдельных поднятий пласта и т. п. Непосредственной кровлей пласта являются прочные прослои каменной соли; в кровле соляных отложений расположен пласт молодой, так называемой покровной каменной соли, защищающий продуктивную толщу от проникновения в нее рассолов и пресных вод из вышерасположенных водоносных горизонтов. Контакт соляных отложений с покровными породами, как правило, сильно обводнен, причем контактные рассолы и воды верхних горизонтов обычно связаны между собой.

Месторождения II группы по характеру залегания приближаются к первой, но отличаются более благоприятными геологическими и гидрогеологическими условия-ми. Характерной особенностью их является наличие в кровле соляных отложений мощных слоев (100 — 200 м) молодой каменной соли и соляной глины, налегающих непосредственно на калийные пласты. Вышележащие породы, пестрые песчаники, известняки часто не содержат водоносных горизонтов; на контакте соляных отложений водоносный горизонт также отсутствует.

Месторождения III группы представлены горизонтальными или наклонными пластами, залегающими в описанных выше условиях.

Месторождения IV группы наиболее многочисленны и представлены купольными или подобными структурами, сводовая часть которых, как правило, размыта и превращена в «гипсовую или каинитовую шляпу». Доступ воды к калийным солям в подобного рода структурах облегчен и может происходить как через «гипсовую шляпу», так и по наклонным или крутопадающим глинистым прослойкам, а также трещинам и карстовым образованиям.

Большинство калийных месторождений залегает на большой глубине, поэтому их вскрытие осуществляют преимущественно вертикальными стволами. Обычно закладывают два ствола на таком расстоянии друг от друга, чтобы при необходимости возможно было отделить одну половину шахтного поля от другой установкой водоне-проницаемой перемычки (150 — 200 м и более). В последнее время в связи с большой производственной мощностью калийных рудников месторождения вскрывают тремя (Солигорский рудник) и даже четырьмя стволами (Березниковский и Ново-Стебниковский рудники).

Глубокое залегание калийных месторождений обусловливает их преимущественно подземную разработку. В зависимости от характера месторождения и условий его залегания разработка должна производиться по-разному.

Месторождения I группы разрабатывают с применением жесткого поддержания кровли выработок и с оставлением прочных опорных целиков (камер-

ная или галерейная системы), не допускающих сдвижения по-кровных пород. Несоблюдение этого условия может привести к опасным прогибам защитных слоев горных пород (покровной каменной соли), к образованию в них трещин разлома и проникновению через последние в выработки контактных рассолов.

В месторождениях II группы при мощной толщине водонепроницаемых вмещающих и покровных пород допустимо некоторое опускание кровли (плавная осадка). В этом случае оставление междукамерных целиков может носить временный характер, т. к. при благоприятных условиях возможна частичная их выемка.

Для месторождений III группы возможна разработка с обрушением кровли без оставления целиков в выработанном пространстве и без закладки последнего.

Месторождения купольного типа могут разрабатываться различными способами. На крутых пластах возможно применение систем, характерных для разработки рудных месторождений (потолкоуступной, слоевой и т. п.).

В некоторых случаях возможен и открытый способ разработки.

Существующие методы получения серы из самородных руд по способу производства можно разделить на две группы. К первой относятся способы, связанные с предварительной добычей руды и последующей ее переработкой. Ко второй — получение серы из руд непосредственно на месте их залегания.

Классификация способов получения серы представлена на рис. 11.1.



Рис. 11.1. Классификация способов получения серы

Добыча руд, содержащих серу, производится открытым или подземным способом. Добытая при этом руда поступает на переработку.

Термические методы получения серы из руд являются наиболее старыми. Выплавка серы в кучах, примитивных печах, подобных горну Каркарелла, цилиндрических печах Калькарона и многокамерных печах происходит за счет тепла, образующегося при сжигании части серы в руде. Процесс этот малоэффективен (потери 40 — 60 %), трудоемок, трудно поддается механизации.

Дистилляция — возгонка серы из руд в ретортах или вращающихся печах производится либо за счет передачи тепла через стенку в реторты, либо за счет передачи тепла от нагретых газов. После возгонки пары концентрируются в конден-

саторах. Процесс малоэффективен, но позволяет получить высокое качество продукции.

Пароводяной автоклавный способ выплавки серы из руд, несмотря на ряд достоинств, в настоящее время не применяется, т. к. для него требуются богатые руды с содержанием 50 – 60 % серы.

Кроме описанных термических способов к методам этой группы следует отнести (на настоящей стадии его развития) получение серы из руды растворением, который характеризуется почти полным извлечением и хорошим качеством серы.

Ко второй группе методов получения серы из руд относится подземное сжигание и подземная выплавка серы (ПВС).

Стихийно возникающие на рудниках пожары по-служили основанием для предложений по возможности использования тепла сжигания части серы для ее выплавки на месте залегания.

Обобщив опыт борьбы с подземными пожарами, Д. Фиори предложил в 1910 г. выплавлять серу с помощью регулируемого термического воздействия на сероносный пласт. Для отработки рудное тело разбивалось на этажи высотой 10 м каждый. Руда в верхнем этаже поджигалась, жидкая сера стекала по трещинам во второй этаж, служащий приемником серы; сюда же подавался регулируемый поток воздуха; третий, нижний этаж в это время подготавливался. За время эксплуатации таким методом на руднике было отработано искусственно регулируемыми пожарами 60 % руды, остальные 40 %, полученные при подготовке участков, переработаны в печах. Коэффициент извлечения серы из руды при подземных пожарах был на 25 % ниже, чем при выплавке в печах, однако в общем способ оказался более экономичным.

В 20-е гг. прошлого столетия почти одновременно были предложены способы подземной добычи серы, основанные на ее сжигании на месте залегания с последующим улав-ливанием на поверхности либо сернистого газа, либо паров серы. Позже был создан метод получения жидкой серы также за счет управляемого сжигания части пласта.

Но наибольшее распространение в последние годы получил метод подземной выплавки серы за счет подачи в пласт перегретого водяного пара.

Вода для производственных нужд попадает в нагреватели, которые могут быть либо прямоточными водогрейными котлами, либо паровыми котлами с бойлерными. Горячая вода через контрольно-распределительные станции (КРС) нагнетается в скважины. Каждая КРС служит для определенного числа рабочих скважин и включает регулирующие клапаны и контрольные приборы, позволяющие оператору регулировать давление и температуру текущих по трубам жидкостей и газов.

Основная сложность метода заключается в необходимости разработки для каждого конкретного месторождения индивидуального технологического процесса добычи серы.

Метод основан на выплавке серы на месте ее залегания нагнетаемой через скважину горячей водой. Добычные скважины бурят обычными буровыми станками и обсаживают трубами до серного пласта. Обсадную трубу цементируют и продолжается бурение рудного тела на всю мощность. В пробуренную скважину вставляют три концентрически расположенных трубопровода (рис. 11.2) диаметром 0,3 и 1 дюйм. Верхнюю часть скважины оборудуют оголовком, обеспечивающим нагнетание в пространстве между шестью- и трехдюймовыми трубами горячей воды. Последняя через перфорации в нижней части трубы проникает в сероносную залежь, разогревая и расплавляя серу. Расплавленная сера, как более тяжелая, стекает вниз и по серной трубе поднимается на высоту, равную гидростатическому давлению у почвы пласта. Подачей по дюймовой трубе сжатого возду-

ха сера эмульгируется и выдается на поверхность в промежутке между трех- и однодюймовыми трубами. Расплавленная сера, выходящая из скважины, направляется через отстойные резервуары (сепараторы) в фильтры для очистки и далее на склад готовой продукции. Все бассейны и трубопроводы, в которых циркулирует расплавленная сера, обогреваются.

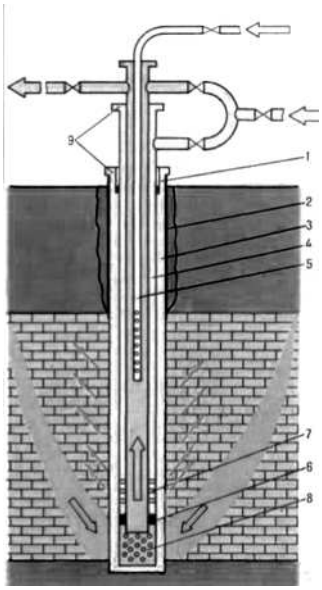


Рис. 11.2. Схема оборудования скважины при подземной выплавке серы:
1 — обсадная колонна; 2 — затрубная цементация; 3, 4, 5 — водоподающая, серная и воздушная колонны; 6 — разделительный пакер; 7, 8 — перфорация; 9 — сальниковые компенсаторы

В процессе разработки закачиваемая в пласт горячая вода распространяется по участку месторождения и повышает пластовое давление. Для его поддержания сооружают водоотливные скважины, которые регулируют пластовое давление и технологию добычи серы.

На механизм процесса разработки существенное влияние оказывает ряд природных условий и свойств руды: герметичность, трещиноватость и пористость рудного массива, серосодержание, гидродинамический режим и т. д. Гидродинамический режим рудного тела, подвергнутого разработке, в основном определяет параметры технологии.

После разбуривания серного месторождения добычными скважинами начинается разработка месторождения. Расположение добычных скважин и порядок их включения в работу являются основными вопросами проектирования и эксплуатации месторождения. От расположения скважин в значительной степени зависят важнейшие технологические показатели: извлечение серы, уровень добычи, время работы, степень влияния (интерференции) скважин, удельный расход теплоносителя, объем капитальных затрат, которые определяют себестоимость добываемой серы.

Экономика серодобывающего предприятия в большой степени обусловлена природными факторами (глубина месторождения, его запасы, физические свойства руд и вмещающих пород и т. п.), а также определяется сеткой расположения скважин, т. е. числом скважин, их размещением и извлечением серы из каж-

дой скважины. Таким образом, экономика предприя-тия во многом зависит от системы разработки, поскольку последняя определяет себестоимость добычи серы, производительность труда и извлечение серы.

При проектировании каждое конкретное месторождение следует оценивать по экономическим показателям при различных схемах расположения скважин. Кроме того, эксплуатация каждого месторождения должна предусматривать окупаемость основных фондов (котельный, компрессионный, зданий и сооружений), т. е. обеспечивать определенный срок службы предприятия.

Глава 12

ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ (ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ) ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Обогащением полезных ископаемых называют совокупность процессов первичной обработки минерального сырья, добытого из недр, в результате которых происходит отделение полезных минералов (а при необходимости и их взаимное разделение) от пустой породы. В результате обогащения получают один или несколько продуктов, называемых *концентратами.* Так как большая часть *ценного* компонента переходит в один продукт (концентрат), другой продукт, получаемый в процессе обогащения и называемый *отходами,* обедняется. В отходах обогащения содержатся главным образом минералы пустой породы и незначительная доля ценных компонентов. *Промежуточным продуктом (промпродуктом)* называется продукт переработки, содержание полезного компонента в котором больше, чем в отходах, но меньше, чем в концентрате.

Полезным, или ценным, компонентом называют тот элемент или природный минерал, с целью получения которого добывается данное полезное ископаемое.

Вредными примесями называют элементы или природные соединения, присутствие которых в полезном ископаемом ухудшает его качество (например, присутствие серы и фосфора в железных рудах и коксующихся углях резко снижает их качество).

Из всего разнообразия твердых полезных ископаемых можно выделить следующие основные группы:

— *металлические* руды, служащие сырьем для получения черных, цветных, редких, драгоценных и других металлов;

— *неметаллические,* сырье для получения неметаллических элементов и соединений, строительных, абразивных и других материалов;

— *горючие полезные ископаемые* (уголь, сланцы, торф), используемые как топливо или как химиче-ское сырье.

Технология обогащения полезного ископаемого состоит из ряда последовательных операций, осуществляемых на обогатительной фабрике. *Обогатительными фабриками* называют промышленные предприятия, на которых перерабатывают полезные ископаемые и выделяют из них один или несколько товарных продуктов с повышенным содержанием ценных компонентов и пониженным содержанием вредных примесей. Фабрики по территориальному расположению подразделяются на:

— *индивидуальные обогатительные фабрики (ОФ),* предназначенные для обогащения полезного ископаемого, добытого на одном предприятии, и расположенные на ее территории;

— *групповые фабрики* (ГОФ), предназначенные для обогащения полезного ископаемого группы предприя-тий и расположенные на территории одной из шахт;

— *центральные обогатительные фабрики (ЦОФ),* предназначенные для обогащения полезного ископаемого группы предприятий и территориально не связанные ни с одним из них.

Процессы переработки полезных ископаемых по назначению в технологическом цикле фабрики разделяются на *подготовительные, собственно обогатительные и вспомогательные.*

К подготовительным операциям относят дробление, измельчение, грохочение и классификацию, а также операции усреднения полезных ископаемых, которые могут проводиться на рудниках, карьерах, в шахтах и на обогатительных фабриках.

К основным обогатительным процессам относят те физические и физико-химические процессы разделения минералов, при которых полезные минералы выделяются в концентраты, а пустая порода в отходы.

К вспомогательным процессам относят процессы удаления влаги из продуктов обогащения. Такие процессы называются обезвоживанием, которое проводится с целью доведения влажности продуктов до установленных норм. К вспомогательным процессам также относят очистку сточных производственных вод (для повторного их использования или сброса в водоемы) и процессы пылеулавливания.

При обогащении полезных ископаемых используют различия их физических и физико-химических свойств, из которых существенное значение имеют цвет, блеск, твердость, плотность, спайность, излом, магнитные, электрические и некоторые другие свойства.

Технологические результаты обогащения того или иного полезного ископаемого нельзя оценить при помощи одного какого-либо показателя. Необходимо учитывать несколько основных показателей, характеризующих процесс обогащения в целом. К основным показателям относят: *содержание компонента* в исходном сырье и продуктах обогащения; *выход* продуктов обогащения; *извлечение* компонентов в продукты обогащения.

Содержанием компонента называется отношение массы компонента к массе продукта, в котором он находится. Содержание компонентов обычно определяется химическими анализами и выражается в процентах, долях единицы или для драгоценных металлов в граммах на тонну (г/т). Содержание компонентов принято обозначать греческими буквами: α — содержание в исходной руде; β — содержание в концентрате, пром-продукте или отходах ($\beta_к$, $\beta_{пп}$, $\beta_{отх}$ соответственно).

Выходом продукта обогащения называется отношение массы полученного продукта к массе переработанного исходного сырья. Выход выражается в процентах или долях единицы и обозначается греческой буквой. γ.

Извлечением компонента в продукт обогащения называется отношение массы компонента в продукте к массе того же компонента в исходном полезном ископаемом. Извлечение выражается обычно в процентах или долях единицы и обозначается греческой буквой ε. Извлечение полезного компонента в концентрат характеризует полноту его перехода в этот продукт в процессе обогащения.

Если обозначим массу исходного сырья $Q_{исх}$, массу полученных продуктов обогащения концентрата $Q_к$ и отходов $Q_{отх}$, то выход концентрата $\gamma_к$ (%) и отходов $\gamma_{отх}$ (%) можно определить по формулам: $\gamma_к = 100\, Q_к / Q_{исх}$; $\gamma_{отх} = = 100\, Q_{отх} / Q_{исх.}$

Так как сумма выходов конечных продуктов обогащения равна выходу исходного сырья, принимаемому обычно за 100 %, можно составить баланс переработанного материала (для концентрата и отходов): $Q_{исх} = Q_к + + Q_{отх}$, или $\gamma_{исх} = \gamma_к + \gamma_{отх}$.

Зная, что $\gamma_{исх} = 100$ %, можно записать равенство $\gamma_к + \gamma_{отх} = 100$.

Суммарная часть ценного компонента в продуктах обогащения должна соответствовать массе его в исходном сырье. Это условие принято называть балансом ценного компонента:

$$100\alpha = \gamma_к\beta_к + \gamma_{отх}\beta_{отх}, \text{ для угля } 100\,A^d_{исх} = \gamma_к A^d_к + \gamma_{отх} A^d_{отх};$$

где извлечение полезно компонента в концентрат определяется по формуле

$$\varepsilon_к = \gamma_к\beta_к/\alpha, \text{ для угля } \varepsilon_к = \gamma_к\,(100 - A^d_к)\,/\,(100 - A^d_{исх}).$$

Процесс разделения исходного материала на два или несколько классов имеет общее название *классификация по крупности*. Такое разделение может осуществляться двумя способами: грохочением и классификацией в водной или воздушной среде.

Грохочением называется процесс разделения кусковых и зернистых материалов на продукты различной крупности, называемые классами, с помощью просеивающих поверхностей с калиброванными отверстиями (колосниковыми решетками, листовыми и проволочными решетками и др.).

В зависимости от крупности наибольших кусков в исходном питании грохотов и размеров отверстий просеивающих поверхностей различают *крупное* (максимальный кусок до 1200 мм, размер отверстий от 300 до 100 мм), *среднее* (максимальный кусок до 350 мм, размер отверстий от 60 до 25 мм), *мелкое* (максимальный кусок до 75 мм, размер отверстий от 25 до 6 мм) и *особо тонкое* (размер отверстий до 0,045 мм) грохочение.

Эффективность грохочения E определяется отношением массы фактически полученного подрешетного продукта к массе его в исходном материале. Выражается она в долях единицы или в процентах. Согласно определению, эффективность грохочения вычисляют по формуле

$$E = 10^4\,C/\,(Q\alpha),$$

где C — масса подрешетного продукта, т; Q — масса исходного материала; α — содержание нижнего класса в исходном материале, %.

Так как в производственных условиях непосред-ственное определение массы полученного подрешетного продукта затруднено, на практике пользуются другой формулой для расчета эффективности (или КПД) грохочения:

$$\eta = 10^4\,(\alpha - b)\,/[\alpha\,(100 - b)\,],$$

где η — КПД грохочения, %; α и b — содержание нижнего класса соответственно в исходном и надрешетном продукте, %.

Дробление и измельчение — процессы разрушения полезных ископаемых под действием внешних сил до заданной крупности, требуемого гранулометрического состава или необходимой степени вскрытия минералов. При дроблении и измельчении не следует допускать переизмельчения материала, т. к. это ухудшает результаты обогащения (тонкие частицы крупностью менее 10 мкм обогащаются неудовлетворительно) и удорожает процесс. Необходимо соблюдать принцип «не дробить ничего лишнего».

Процессы дробления и измельчения могут быть подготовительными операциями (например, на обогатительных фабриках перед обогащением полезного ископаемого) или иметь самостоятельное значение (дробильно-сортировочные фабрики, дробление и измельчение угля перед коксованием, перед пылевидным его сжиганием и т. д.).

Процессы дробления и измельчения принципиально не различаются между собой. Условно принято считать дроблением такой процесс разрушения, в резуль-

тате которого получаются продукты крупностью более 5 мм, измельчением — менее 5 мм. Первый вид разрушения осуществляется в дробилках, второй — в мельницах.

Степень дробления (или измельчения) показывает степень сокращения крупности в процессе разрушения кускового материала. Она характеризуется отношением размеров максимальных кусков в дробимом и дробленом материале или, что более точно, отношением средних диаметров до и после дробления, подсчитанных с учетом характеристик крупности материала:

$$i = D_{max}/d_{max}, \text{ или } i = D_{ср}/d_{ср},$$

где i — степень дробления; D_{max} и $D_{ср}$ — соответственно максимальный и средний размеры дробимого материала; d_{max} и $d_{ср}$ — соответственно максимальный и средний размеры дробленого материала.

Различают следующие стадии дробления в зависимости от исходной и конечной крупности дробимого материала: крупное (100 — 200 мм), среднее (25 — 80 мм), мелкое (до 3 — 25 мм).

Степень дробления, достигаемая в каждой отдель-ной стадии, называется частной. Общая степень дробления получается как произведение частных степеней $i_{общ} = i_1, i_2, ..., i_n$.

На обогатительных фабриках для дробления различных полезных ископаемых применяют почти исключительно механические дробилки раздавливающего и раскалывающего (щековые, конусные, валковые) и ударного (молотковые, роторные, дезинтегральные) действия (рис. 12.1, см. вкл.).

В щековых дробилках материал раздавливается между двумя плитами (щеками), одна из которых неподвижная, а другая подвижная (качающаяся). Щековые дробилки бывают с простым (ЩДП) и сложным (ЩДС) движением подвижной щеки (рис. 12.2, см. вкл.).

В дробилках ударного действия разрушение материала происходит за счет кинетической энергии движущихся тел. К ним относятся три типа дробилок: молотковые (рис. 12.3, см. вкл.), роторные и стержневые.

Дробилки ударного действия применяют для среднего и мелкого дробления мягких и средней крупности неабразивных материалов (углей, известняков, гипса, мела и т. д.). Основными преимуществами этих дробилок являются простота конструкции, большая производительность, низкая металлоемкость, высокая степень дробления и удобство обслуживания.

Гравитационными процессами обогащения называются процессы, в которых разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером или формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления.

В качестве среды, в которой осуществляется гравитационное обогащение, используются при мокром обогащении вода, тяжелые суспензии или растворы, при пневматическом воздух.

К *гравитационным процессам* относятся отсадка, обогащение в тяжелых средах (главным образом в минеральных суспензиях), концентрация на столах, обогащение в шлюзах, желобах, струйных концентраторах, конусных, винтовых и противоточных сепараторах, пневматическое обогащение.

К гравитационным процессам также можно отнести и промывку полезных ископаемых. Гравитационные процессы обогащения отличаются, как правило, высокой производительностью обогатительных аппаратов, простотой производственного комплекса, относительной дешевизной и высокой эффективностью разделения минеральных смесей.

Отсадкой называют процесс разделения смеси минеральных зерен по плотности в водной или воздушной среде, колеблющейся (пульсирующей) относительно разделяемой смеси в вертикальном направлении. Исходный материал вместе с водой непрерывно подается на отсадочное решето, через отверстия которого попеременно проходят восходящие и нисходящие вертикальные потоки воды.

Отсадка является одним из наиболее распространенных методов гравитационного обогащения полезных ископаемых. Область применения отсадки охватывает полезные ископаемые по плотности извлекаемых компонентов от 1200 до 15 600 кг/м^3 и по крупности обогащаемого материала от 0,2 до 50 мм для руд и от 0,5 до 120 (иногда и до 250) мм для углей.

Каждый тип отсадочных машин (рис. 12.4, см. вкл.) предназначен для обогащения определенных полезных ископаемых. Поршневые отсадочные машины применяют для обогащения марганцевых, оловянных и вольфрамовых руд. В последнее время они заменяются диафрагмовыми машинами и машинами с подвижным решетом. Диафрагмовые машины наиболее широко применяются при обогащении руд (железных, марганцевых, оловянных, вольфрамовых), золотосодержащих россыпей. Беспоршневые отсадочные машины с подвижным решетом применяются для обогащения марганцевых и реже железных и вольфрамовых руд.

Колесный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом состоит из ванны и устройств для разгрузки продуктов. Ванна сепаратора заполняется магнетитовой суспензией. Исходный материал по загрузочному желобу поступает в ванну сепаратора. Разгрузка всплывшего (легкого) продукта в желоб осуществляется гребковым устройством, а потонувший (тяжелый) продукт оседает в ковшах с перфорированным дном элеваторного колеса и при вращении последнего поднимается вверх и разгружается в специальный желоб. Общий вид такого сепаратора показан на рис. 12.5 (см. вкл.).

Флотацией называется процесс разделения тонкоизмельченных полезных ископаемых, осуществляемый в водной среде и основанный на различии их способно-сти, естественной или искусственно создаваемой, смачиваться водой, что определяет избирательное прилипание частиц минералов к поверхности раздела двух фаз.

Флотационный процесс осуществляется чаще всего в трехфазной системе, включающей твердую (Т), жидкую (Ж) и газообразную (Г) фазы.

Для увеличения естественного различия в смачиваемости поверхности минералов или для искусственного создания такого различия минеральную поверхность обрабатывают особыми веществами, называемыми *флотационными реагентами.* С помощью подбора флотационных реагентов можно достигнуть условий, при которых одни минералы будут флотироваться, а другие нет, т. е. создать условия для их селективного разделения.

В настоящее время флотация широко применяется для обогащения большинства руд цветных и редких металлов, апатитовых, фосфоритовых, баритовых, графитовых, флюоритовых и других руд, полевошпатового сырья и угольных шламов. Метод флотационного обогащения находит применение при обогащении железных и марганцевых руд. Широкая распространенность флотации объясняется универсальностью процесса, связанной с возможностью разделения практически любых минералов и возможностью обогащения бедных руд.

Сущность процесса пенной флотации сводится к следующему. Исходная пульпа после обработки ее флотореагентами поступает во флотационную машину, где насыщается воздухом в виде мелких воздушных пузырьков. Несмачиваемые (гидрофобные) частицы при столкновении с пузырьками прилипают к последним, создавая агрегаты, состоящие из воздушных пузырьков с закрепившимися на

них твердыми частицами. Агрегаты, имеющие плотность меньшую, чем плотность пульпы, всплывают на ее поверхности, образуя слой минерализованной пены, удаляемой с поверхности. Смачиваемые (гидрофильные) частицы к воздушным пузырькам не прилипают, остаются в объеме пульпы и образуют камерный продукт.

Обычно в пенный продукт флотации извлекают полезный минерал, а в камерный — минерал пустой породы. Такой процесс носит название *прямой флотации.* В отдельных случаях целесообразнее бывает извлекать в пенный продукт минералы пустой породы, а полезные минералы концентрировать в камерном продукте. Такой процесс называется *обратной флотацией.* Если в процессе флотации получают концентрат, содержащий два или более ценных компонента, такую флотацию называют *коллективной.* Если в процессе флотации последовательно получают несколько концентратов при содержании в каждом отдельном концентрате только одного ценного компонента (например, меди, цинка, свинца и др.), такую флотацию называют *селективной.* Если в процессе флотации вначале получают коллективный концентрат, а затем из него выделяют последовательно ценные компоненты в самостоятельные концентраты, такую флотацию называют *коллективно-селективной.*

Флотационные машины (рис. 12.6 — 12.8, см. вкл.) используются для флотационного обогащения полезных ископаемых, в их камерах исходный материал разделяется в аэрированной пульпе на пенный и камерный продукты. Эти машины должны обеспечивать:

— непрерывную равномерную подачу исходной пульпы и разгрузку пенного и камерного продуктов;

— достаточно интенсивное перемешивание пульпы для поддержания минеральных частиц во взвешенном состоянии и их контактирования с воздушными пузырьками;

— оптимальную аэрированность с пульпы и диспергирование воздуха на мелкие пузырьки с равномерным их распределением по всему объему камеры;

— создание спокойной зоны пенообразования на поверхности пульпы.

Магнитные методы нашли широкое применение для обогащения руд цветных металлов, при доводке концентратов редких и цветных металлов, для регенерации сильномагнитных утяжелителей при тяжелосредном обогащении, для удаления железных примесей из фосфоритовых руд, кварцевых песков и других материалов.

Промышленностью выпускаются сепараторы со слабым и сильным магнитными полями для сухого и мокрого обогащения. Сухая магнитная сепарация обычно применяется для материала крупностью более 6 мм, мокрая для материала менее 6 мм.

При магнитном обогащении используются только неоднородные магнитные поля. Такие поля создаются соответствующей формой и расположением полюсов магнитной системы, которая может быть открытой или замкнутой.

Глава 13

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ ОСВОЕНИЯ НЕДР

13.1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОСВОЕНИЯ НЕДР

При освоении недр Земли в интересах развития технократической цивилизации наиболее масштабным изменениям в количественном и качественном смысле подвергается литосфера, часть которой извлекается на поверхность и включается в оборот вещества и энергии вне внутренне равновесной системы самой литосферы.

Предельные масштабы такого изменения определяются способностью геофизических структур локализовать область техногенного воздействия и со временем включить эту область в эволюционный процесс окружающего ее природного объекта.

Геофизические свойства внутренней части техногенно измененных недр определяются особенностями процессов извлечения полезных ископаемых, т. е. определяются набором неизбежных действий, необходимых для осуществления целевой функции геотехнологии — изъятие и доставка на поверхность части материала литосферы, представляющего хозяйственную ценность. Здесь можно выделить три основных класса:

1) материал литосферы добывается для прямого использования (уголь, песок, глина, камень и т. д.);

2) извлекаемый материал литосферы является носителем полезного компонента (руды цветных и черных металлов) и требует переработки на поверхности;

3) полезный компонент извлекается без выдачи на поверхность материала-носителя (нефть, газ, вода, выщелачивание металлов, тепло и т. д.).

По своей физической сути используется только один метод достижения конечной цели разработки — это придание тем или иным способом избранному объему лито-сферы (или его части) нового свойства — подвижности.

Подвижность полезной части литосферы может быть обеспечена за счет изменения физического состояния материала путем перевода в иное агрегатное состояние (выплавление серы) или дезинтеграции (уголь, руды, стройматериалы). Подвижность полезной составляющей может быть придана также путем создания условий для ее миграций — физических (нефть, газ, вода, тепло) или химических (выщелачивание металлов на месте залегания). Для осуществления главной целевой функции добычи минерального сырья — включения части ресурсов литосферы в оборот вещества и энергии техносферы — необходимо обеспечить доступ с земной поверхности к месту залегания полезного компонента, придать этому компоненту подвижность и выдать его в этом состоянии на поверхность Земли. Таким

образом, обобщенная функциональная модель техногенного изменения недр при добыче минерального сырья включает в себя три обязательных этапа:

— доступ с поверхности к месту дислокации в литосфере участка с полезными свойствами;

— придание подвижности полезному компоненту, залегающему в литосфере;

— выдача полезного компонента в подвижном состоянии на поверхность Земли.

При строительстве подземных сооружений, когда полезным компонентом является пустота (создаваемые полости), схема остается в принципе такой же, но на втором этапе подвижность придается не полезному компоненту, а материалу литосферы, заполняющему будущую полезную полость. Этот же материал выдается на поверхность на третьем этапе.

Таким образом, техногенное вторжение в литосферу с целью извлечения минеральных ресурсов приводит ее отдельные участки в совершенно новое состояние, причем вследствие единства материального мира эти изменения неизбежно создают прямые или косвенные последствия для всех остальных элементов экосистемы планеты Земля. Именно в таком объемном характере техногенного воздействия, активно нарушающем состояние всех ее сфер (литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы), и заключается главная особенность экологии освоения недр. С точки зрения сохранения естественной биоты Земли техногенное влияние добывающих предприятий выражается в появлении неприродных факторов, под хроническим воздействием которых природно-равновесные экосистемы начиняют изменяться в направлении предшествующих стадий сукцессии вплоть до полной их деградации. Обратная же связь, отражающая влияние биосферы на техносферу, выражается в том, что введение биологически обоснованных ограничений величины техногенных факторов определяет выбор технологических решений и через них — пути развития техносферы в целом.

13.2. СТРУКТУРА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР

Процесс техногенного разрушения литосферы при получении необходимых полезных ископаемых порождает разветвленную систему разнообразных воздействий на экосистемы природно-территориальных комплексов, в пределах которых располагаются добывающие предприятия. Величина и качество этих воздействий определяются типом геотехнологии, применяемой при добыче полезного ископаемого, а экологические последствия — особенностями строения нарушаемой при этом экосистемы. Поэтому при изучении всего комплекса этих вопросов целесообразно дифференцированно рассматривать техногенные факторы как свойство той или иной геотехнологии и воздействие этих факторов — как реакцию конкретной биологической системы, попавшей под его влияние.

По причинам своего возникновения все техногенные факторы геотехнологий достаточно четко разбиваются на две большие группы:

— являющиеся прямым следствием антропогенного разрушения литосферы и формирования в ней нового литосферного объекта — техногенно измененных недр;

— зависящие от характера применяемых при техногенном изменении недр геотехнологий.

По времени существования техногенных факторов можно выделить:

— существующие только в период эксплуатации месторождения;

— существующие при эксплуатации месторождения и после ее завершения;
— появляющиеся после завершения эксплуатации месторождения.

По возможностям снижения экологической опасности реального добывающего предприятия техногенные факторы (и их воздействия) делятся на:

— устранимые за счет введения в технологию дополнительных мероприятий;
— устранимые за счет замены применяемой технологии;
— неустранимые для данного вида производства.

Вскрытие месторождения осуществляется проведением до полезного ископаемого горных выработок, открывающих доступ к нему с земной поверхности. Они называются выработками вскрытия и включают в себя шахтные стволы и штольни различного назначения, околоствольные выработки, квершлаги, капитальные рудоспуски. При проведении всех этих выработок возникающие на их контуре напряжения и деформации со временем релаксируют и не вызывают сколько-нибудь заметных изменений в окружающих природных образованиях литосферы. Развитие возмущений, вызываемых фактом формирования таких протяженных полостей, ограничивается поверхностными изменениям на контуре выработок, а вся картина перераспределения напряжений охватывает незначительную часть массива, непосредственно прилегающую к выработкам. То есть возмущения налегающей толщи горных пород носят локальный характер и по отношению к экосистемам на земной поверхности не являются экологически опасным фактором.

При доминирующем сегодня в горной промышленности буровзрывном способе проходки в природные экосистемы выбрасывается минеральная пыль и взрывные газы, а также откачиваются минерализованные шахтные воды. Сейсмическим воздействием вслед-ствие малых масштабов взрывания, видимо, можно пренебречь. Весь объем пород, вынимаемых на этой стадии освоения месторождений, складируется на земной поверхности, для чего неизбежно отторгается часть территории природного комплекса.

На стадии вскрытия месторождения обычно формируется и основная инфраструктура поверхностного комплекса предприятия. Согласно действующему законодательству, получение горного отвода не дает права на использование поверхности земли. Поэтому на каждый промышленный объект выделяется земельный отвод, величина которого представляет собой часть площади экосистемы. Функциональная структура этих площадей достаточно однотипна для всех горных предприятий, а размер возрастает не прямо, но пропорционально годовой добыче горной массы.

На стадии отработки основных запасов месторождения литосфера подвергается максимальным изменениям, экологические последствия которых хотя и разнообразны, но тем не менее имеют достаточно хорошо выраженную внутреннюю структуру.

Все многообразие технических и технологических решений, используемых при освоении месторождений твердого минерального сырья, можно объединить в несколько групп, каждая из которых по-своему влияет на изменение свойств природных объектов литосферы, характеризуется своими геомеханическими параметрами, динамикой и масштабами последствий техногенного вторжения в литосферу.

Для каждой из этих групп характерны свои, только ей присущие способы техногенного изменения свойств участков литосферы, включающих месторождения минерального сырья, и свои последствия при восстановлении равновесия в техногенно измененных участках недр после завершения процессов добычи полезных ископаемых.

К первой группе относятся технические и технологические решения, связанные с образованием полостей различной конфигурации в недрах литосферы, обла-

дающих природной способностью противостоять возмущению исходного природного поля напряжений, вызванного образованием таких полостей. Возникающие на контуре выработок напряжения и деформации со временем релаксируют без сколько-нибудь заметного влияния на состояние окружающего массива. Время существования таких выработок очень велико, и они не вызывают сколько-нибудь заметных изменений в окружающих их литосферных объектах.

Сюда относятся выработки различного назначения при подземном строительстве, очистные выработки при добыче штучного камня, каменной соли, руд черных и цветных металлов, особенно при разработке месторождений под дном морей и водоемов, когда несущие целики рассчитываются на длительную прочность с большим запасом. Этот способ выемки характеризуется низким (около 30 — 40 %) извлечением полезного ископаемого; основная масса запасов месторождения при этом сосредоточена в целиках.

Ко второй группе относятся наиболее распространенные в угольной промышленности, черной и цветной металлургии, на предприятиях химической промышленности технологии добычи минерального сырья с обрушением налегающей толщи пород. Различные модификации этого способа разработки применяются при выемке пологих, наклонных и крутых залежей любой формы, начиная с поверхности и до глубин, исчисляемых тысячей и более метров. Основной отличительной чертой этих технологий является обязательное обрушение налегающей толщи пород вслед за выемкой полезного ископаемого. Отработка месторождения осуществляется планомерно сверху вниз при выемке крутопадающих или наклоннопадающих рудных тел или пластов либо от центра к флангам или от одного фланга к другому — при выемке пологих залежей или пластов.

В результате по мере отработки месторождения происходит заполнение выработанного простран-ства обрушенными вмещающими породами, развитие зон неупругих перемещений за зоной непосред-ственного разрыхления пород и образование мульды сдвижения пород на поверхности. Эти процессы развиваются параллельно с отработкой месторождения, а после ее завершения происходит постепенное затухание необратимых деформаций во вмещающих породах и уплотнение обрушенных пород внутри мульды сдвижения.

При выемке пластовых месторождений формирование мульды сдвижения и ее параметров происходит аналогичным образом.

В целом техногенное вторжение такого рода может рассматриваться как объем определенных размеров, изменение которого сопровождается необратимыми процессами в ближней зоне и последующим уплотнением этой зоны за счет развития процессов неупругого расширения (разрушения) пород вглубь массива. Границы зоны техногенного изменения пород литосферы при этом определяются условием достижения равновесия между величиной реакции бокового распора нетронутого массива и отпором, создаваемым обрушенными и уплотненными породами зоны обрушения. При выходе этих нарушений на земную поверхность происходит ее деформация (вплоть до полного разрушения) со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями.

Третья группа технологий разработки месторождений минерального сырья связана с процессом заполнения выработанного пространства по мере выемки полезного ископаемого искусственно получаемым материалом с определенными прочностными и деформационными свойствами. Иногда для уменьшения величины деформаций налегающей толщи пород и сокращения затрат на создание искусственного материала с необходимыми прочностными и деформационными свойствами в выработанном пространстве оставляются регулярные вертикальные целики, работающие за пределом прочности. Будучи размещенными в массиве за-

кладки, они выполняют своеобразную роль арматуры, изменяя деформационные свойства материала, заполняющего выработанное пространство.

Аналогичным образом происходит и деформирование вмещающих пород при разработке нефтяных и газовых месторождений, когда по мере выработки нефти и газа снижается противодействие давлению налегающих пород, и они оседают над продуктивной толщей плавно на величину, соизмеримую с объемом выработанной нефти или газа.

Таким образом, в третьей группе технологий техногенное вторжение в литосферу характеризуется тем, что изъятый объем материала литосферы замещается техногенным материалом с известными (заданными) прочностными и деформационными свойствами, которые определяют масштабы переходной зоны, формирующей вместе с изъятым объемом материала техногенно измененные недра как новый литосферный объект. По характеру релаксационных процессов и экологическим последствиям эта группа занимает промежуточное положение между двумя описанными выше.

В результате использования наиболее распространенных способов антропогенного вторжения в литосферу с целью извлечения минеральных ресурсов большие ее участки переходят в новое качественное состояние. Возникают обширные зоны деформации, затрагивающие подрабатываемые массивы горных пород вплоть до земной поверхности. Развитие этих процессов активно нарушает равновесие элементов гидросферы Земли за счет изменения режима обращения подземных и поверх-ностных вод, а также их загрязнения и засорения.

Полное или частичное нарушение водоупорных оснований горизонтов глубинных вод, попавших в зоны обрушения, разломов и активных трещин, приводит к интенсивному дренажу подземных вод в горные выработки. Реакция геотехнологии на это физическое явление выражается в создании системы активного водоотлива. Интенсивное удаление подземных вод из зоны горных работ приводит к понижению их свободной или напорной поверхности и формированию обширной воронки депрессии, охватывающей всю толщу налегающих пород до земной поверхности, а также к загрязнению поверхностных водотоков.

Описанные выше изменения состояния налегающей толщи пород и связанное с этим нарушение водоупорных оснований пластов не только изменяет схему и баланс обращения подземных вод, но и является, по сути, первопричиной появления еще одного экологически значимого фактора горного производства — сброса на земную поверхность откачиваемых из подземных выработок шахтных вод.

В схематическом виде общая структура формирования типовых техногенных факторов при подземном освоении недр приведена на рис. 13.1.

Площадь, занимаемая твердыми отходами производства при подземной разработке месторождений, зависит не только от применяемой геотехнологии, но и от геологического типа месторождения, масштаба производства и характера использования добытого полезного ископаемого.

Особенностью экологических последствий развития горного производства является то, что некоторые техногенные экологические факторы, возникающие в результате техногенного изменения недр или как следствие применяемых при этом технологий, не только нарушают состояние экосистемы, но и сами по себе становятся причиной появления вторичных техногенных экологических факторов, характер и интенсивность влияния которых на природные объекты зависят уже не от геотехнологии, применяемой при выемке запасов, а от внутренних свойств и особенностей первичного техногенного фактора. Очень важно, что действие большинства вторичных факторов продолжается и после завершения разработки месторождения. Наиболее развитая система вторичных факторов появ-

ляется в связи с отторжением земной поверхности в различных целях (рис. 13.1). Причем именно от этих целей (т. е. от способа использования отторгаемых участков земной поверхности) и зависит структура появляющихся вторичных экологических факторов (рис. 13.2).

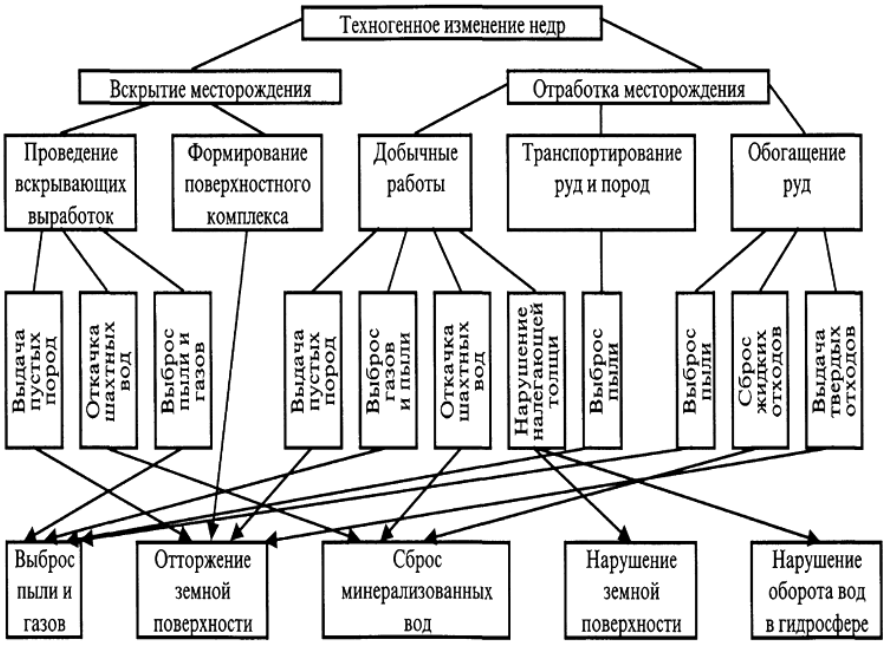


Рис. 13.1. Структура техногенных экологических факторов при подземном освоении недр

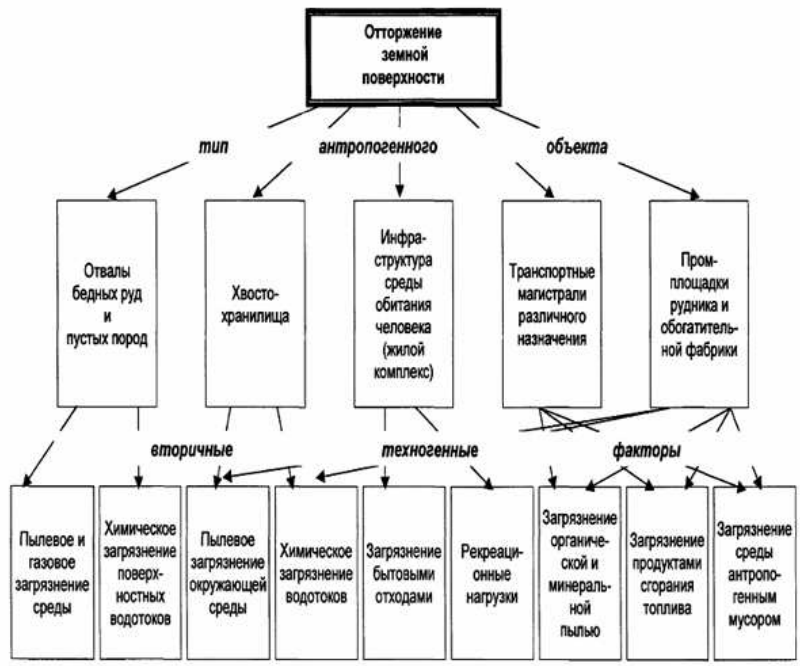


Рис. 13.2. Структура вторичных техногенных экологических факторов

При складировании на этих участках твердых отходов (отвалы пустых пород и бедных руд, а также хвостохранилища обогатительных фабрик) вследствие физико-химических изменений состояния материала отвалов под влиянием природных воздействий (осадки, перепады температур, окисление и т. д.) эти отвалы могут загрязнять окружающую среду пылью, неорганическими кислотами, хлоридами легких металлов и солями тяжелых, газами от окисления органических компонентов и т. п.

Вторичное экологическое воздействие отвалов пустых пород при подземной разработке месторождений проявляется в продолжающемся после окончания горных работ химическом загрязнении окружающей среды за счет естественного выщелачивания химически активных минералов (чаще всего сульфидов или хлоридов). Время существования этого техногенного фактора ограничено и определяется в каждом конкретном случае минеральным составом горных пород и их свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На протяжении второй половины XIX, всего XX и, по крайней мере, первой половины XXI в. Россия была и останется крупнейшей минерально-сырьевой державой, для которой состояние производственного потенциала горнодобывающей промышленности имеет исключительно важное значение как в настоящее время, так и в обозримой перспективе. Исходя из самого существа процессов освоения недр, горные предприятия могут эффективно функционировать в условиях рынка не только при постоянном воспроизводстве выбывающих мощностей, но и главным образом при постоянном росте квалификации и творческого потенциала горных инженеров, занятых в этой сфере. Вместе с тем характерной и определяющей особенностью современного и перспективного уровня развития существующей технопрактической цивилизации является то важное обстоятельство, что само по себе извлечение из недр и использование полезных ископаемых с заданными показателями уже не может быть признано конечной и единственной целью их освоения. Этот процесс сегодня должен предполагать, наряду с получением минерального сырья, постоянное воссоздание и сохранение для общества нарушенных участков недр как объектов, ценных в хозяйственном, экологическом, научном, бальнеологическом рекреационном отношении. То есть освоение недр всегда должно предполагать их сохранение в указанных выше качествах как источника важнейшей части национального природного богатства и главного природообразующего компонента в соблюдении экологического равновесия.

Выполнение этих сложных и разнонаправленных задач требует не только периодического технического переоснащения горных предприятий, но и постоянного обновления интеллектуальной основы применяемых горных технологий. Последнее обстоятельство предопределяет содержание современных горных наук как источника новых знаний о литосферном объекте — техногенно измененных недрах.

Эксплуатация и сохранение недр взаимосвязаны общей геологической основой, а также технологически, экономически и экологически. Нарушение этой целостности всегда приводит к необратимым и тяжелым последствиям как для хозяйства, так и для природы. Соответственно, освоение и сохранение недр предполагает многофункциональность горных предприятий и очень сложную внутреннюю структуру геотехнологий добычи и первичной переработки полезного ископаемого. Это означает, что квалификация горного инженера должна предполагать не только высокий уровень знаний о конкретных вопросах горного производства и горных наук, но и широкую эрудицию во многих смежных областях знаний (особенно в области геологии, экономики и экологии). Следует гордиться, что даже в компьютерно-космический век вся материальная сфера и энергетика нашего общества в основном построены на преобразовании веществ, добытых из литосферы горными инженерами. И вряд ли эта ситуация изменится в обозримом будущем.

ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА»

1. *Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский М.А.* Разработка рудных и нерудных месторождений. М.: Недра, 1983. 418 с.
2. *Борисов С.С., Клонов М.П., Горновой Б.А.* Горное дело. М.: Недра, 2000. 358 с.
3. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / Под ред. К.Н. Трубецкого. М.: АГН, 1997. 478 с.
4. *Егоров П.В., Бобер Е.А., Кузнецов Ю.Н. и др.* Основы горного дела. М.: МГГУ, 2003. 405 с.
5. *Кротков В.В., Лобанов Д.П., Нестеров Ю.В., Абдульманов И.Г.* Горно-химическая технология добычи урана. М.: ГЕОС, 2001. 368 с.
6. *Мельников Н.В. и др.* Горное дело (терминологический словарь). М.: Недра, 1974. 527 с.
7. *Назарчик А.Ф., Рафиенко Д.И., Галченко Ю.П., Мамсуров Л.А.* Совершенствование разработки жильных месторождений. М.: Наука, 1986. 216 с.
8. *Ребрик Б.М.* У колыбели геологии и горного дела. М.: Геоинформмарк, 2000. 181 с.
9. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. и др.* Структура техногенно измененных недр при их освоении // Вестник РАН. 2002. № 11. Т. 72. С. 969–973.
10. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И.* Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: Научтехлитиздат, 2003. 262 с.
11. *Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е.* Электрохимия сульфидов: теория и практика флотации. М.: Наука, 1993. 206 с.
12. *Чесноков Н.И., Тормышев П.М., Назаркин В.П.* Строительство и техническое перевооружение урановых рудников. М.: Энергоатомиздат, 1990. 272 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ ... 3

ГЛАВА 1

ДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И РАЗВИТИЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ ... 5
1.1. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ТЕХНОКРАТИЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ ... 5
1.2. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО ДЕЛА ... 11
1.3. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ... 15
1.4. СИСТЕМА ЗНАНИЙ ОБ ОСВОЕНИИ НЕДР (ГОРНЫЕ НАУКИ) ... 20
1.5. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ НЕДР ... 25

ГЛАВА 2

ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ... 27
2.1. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ... 27
2.2. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ... 30

ГЛАВА 3

ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ... 38
3.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ... 38
3.2. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУДНЫХ ТЕЛ ... 39
3.3. СПОСОБЫ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ... 43
3.4. ПОНЯТИЕ О ЗАПАСАХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ПОЛНОТЕ И КАЧЕСТВЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ... 45
3.5. ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ... 50

ГЛАВА 4

ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ... 55
4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ... 55
4.2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД ... 56
4.3. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ ... 59
4.4. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ... 66

ГЛАВА 5

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ ... 70
5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ НЕДР ... 70
5.2. ОСНОВНЫЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ ... 71
5.3. ПЕРИОДЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ ... 75
5.4. СПОСОБЫ ВСКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ИХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ... 76

5.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ 81
5.5.1. БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ (ПОДГОТОВКА ГОРНЫХ ПОРОД К ВЫЕМКЕ) 82
5.5.2. ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНЫЕ РАБОТЫ 84
5.5.3. ТРАНСПОРТНЫЕ РАБОТЫ 85
5.5.4. ОТВАЛЬНЫЕ РАБОТЫ 86
5.5.5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАРУШЕННЫХ ОТКРЫТЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ТЕРРИТОРИЙ 91
5.6. СИСТЕМЫ ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЙ 92

ГЛАВА 6

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ 100
6.1. ПЛАСТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 100
6.1.1. ШАХТНОЕ ПОЛЕ 101
6.1.2. ПОРЯДОК ОТРАБОТКИ ШАХТНОГО ПОЛЯ 104
6.1.3. ВСКРЫТИЕ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 105
6.1.4. ПОДГОТОВКА ЗАПАСОВ К ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ 106
6.1.5. ПОДГОТОВКА ВЫЕМОЧНЫХ ПОЛЕЙ 108
6.1.6. ОЧИСТНЫЕ РАБОТЫ 108
6.1.7. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ВЫЕМКА В ДЛИННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ 110
6.1.8. ДОСТАВКА В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ 111
6.1.9. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД КРОВЛИ 112
6.1.10. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ 113
6.1.11. УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ И КРЕПЬ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК 115
6.1.12. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ 116
6.1.13. СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ 117
6.2. РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 120
6.2.1. СТАДИИ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 125
6.2.2. ОСОБЕННОСТИ ВСКРЫТИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 125
6.2.3. ШТОЛЬНЕВОЕ ВСКРЫТИЕ 127
6.2.4. ВСКРЫТИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТВОЛАМИ 128
6.2.5. ВСКРЫТИЕ НАКЛОННЫМИ СТВОЛАМИ 128
6.2.6. КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ВСКРЫТИЯ 129
6.2.7. ОКОЛОСТВОЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ 129
6.2.8. ВЫБОР МЕСТА ЗАЛОЖЕНИЯ СТВОЛА 131
6.2.9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РУДНИКА 133
6.2.10. ПОДГОТОВКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 134
6.2.11. ОЧИСТНЫЕ РАБОТЫ 136
6.2.11.1. ОТБОЙКА РУДЫ 137
6.2.11.2. ВЫПУСК РУДЫ 141
6.2.11.3. ДОСТАВКА РУДЫ 143
6.2.11.4. УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА 146
6.2.11.5. ОРГАНИЗАЦИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ 147
6.2.12. СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 150
6.3. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 162
6.3.1. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ, ВСКРЫТИЯ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ТИПЫ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ 162
6.3.2. СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЖИЛ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ 167

6.3.3. ОЧИСТНЫЕ РАБОТЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ... 171
6.4. ПОДЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ И ПОДЪЕМ ... 173
6.5. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ... 174
6.6. РУДНИЧНЫЙ ВОДООТЛИВ ... 175
6.7. ВЕНТИЛЯЦИЯ ... 175
6.8. СНАБЖЕНИЕ РУДНИКОВ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ... 177
6.9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПОВЕРХНОСТИ РУДНИКОВ ... 177
6.10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЕ ДЕЛО, ОСВЕЩЕНИЕ ВЫРАБОТОК ... 178

ГЛАВА 7

КОМБИНИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ... 179

ГЛАВА 8

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ... 185
8.1. РАЗРАБОТКА РОССЫПЕЙ ... 185
8.2. ДОБЫЧА МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ... 188
8.3. ГИДРОДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ... 193
8.4. ПОДВОДНАЯ РАЗРАБОТКА РУД ... 198

ГЛАВА 9

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ШТУЧНОГО КАМНЯ ... 200
9.1. ДОБЫЧА КАМНЯ (БЛОКОВ ГОРНЫХ ПОРОД) ... 200

ГЛАВА 10

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА ... 205

ГЛАВА 11

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ... 208

ГЛАВА 12

ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ (ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ) ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ... 214

ГЛАВА 13

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ ОСВОЕНИЯ НЕДР ... 220
13.1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОСВОЕНИЯ НЕДР ... 220
13.2. СТРУКТУРА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР ... 221

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 227

ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА» ... 228

Учебное издание

Трубецкой Климент Николаевич,
Галченко Юрий Павлович

ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА

Компьютерная верстка
Е. Корелкина

Корректор
Е. Тюрин

ООО «Академический Проект»
Изд. лиц. № 04050 от 20.02.01.
111399, Москва, ул. Мартеновская, 3.
Санитарно-эпидемиологическое заключение
Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека
№ 77.99.60.953.Д.005771.05.09 от 26.05.09.

По вопросам приобретения книги просим обращаться
в ООО «Трикста»:
111399, Москва, ул. Мартеновская, 3
Тел.: (495) 305 3702; 305 6092; факс: 305 6088
E-mail: info@aprogect.ru
www.aprogect.ru

Подписано в печать 30.09.09.
Формат 70 100/16. Гарнитура Балтика. Бумага писчая.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 29,02. Тираж 1500 экз.
Заказ № .

Отпечатано в ООО «Спектр-П»
305025, г. Курск, ул. Строительная, 8