

ВВЕДЕНИЕ

Горное дело относится к одному из основных видов человеческой деятельности, обеспечивающих существование и уровень развития цивилизации. Как область промышленного производства оно охватывает разведку месторождений полезных ископаемых, строительство и эксплуатацию горных предприятий для их разработки и первичной переработки минерального сырья.

Основными принципами горного дела являются технологичность, экономичность, экологичность, комфортность и безопасность условий труда.

Дисциплина **Основы горного дела** является одной из первых дисциплин, формирующих профиль подготовки горных инженеров по направлению **Горное дело**, и является базой для изучения общетехнических и специальных дисциплин направления.

Целью преподавания дисциплины «Основы горного дела» является формирование знаний и умений студентов в области безопасной разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

При этом студент должен знать основные направления научно-технического прогресса в области совершенствования технологий и техники на открытых горных работах.

Задачи дисциплины:

- ознакомить студентов с основными понятиями и терминологией дисциплины;
- дать классификацию объектов освоения месторождений полезных ископаемых и понятия о технологических свойствах горных пород;
- ознакомить студентов с основными технологическими процессами и основным оборудованием карьеров, подземных рудников и обогатительных фабрик.
- дать понятия об основах обогащения и переработки полезных ископаемых.

По завершении изучения дисциплины «Основы горного дела» студент должен:

- знать свойства горных пород и их влияние на технологические процессы; сущность открытого, подземного и физико-химических способов добычи полезных ископаемых их преимущества и недостатки
- владеть горной терминологией и комплексом понятий, формирующими область деятельности человека при освоении земных недр, навыками расчетов технологических параметров;
- уметь обосновать выбор типа горного оборудования для различных горнотехнических условий;
- иметь представление о качестве добываемого полезного ископаемого и способах его улучшения.

Основная функция горного инженера на производстве – **управленческая**: управление людьми, техникой, технологией, она выражается в процессе принятия решений – преобразовании информации в действие.

Горный инженер на производстве *обязан обеспечить*: наилучшую организацию труда; экономное рациональное расходование материальных и денежных средств; освоение и использование научно-технических достижений; планомерное хозяйственное руководство; умелое применение экономических методов управления в условиях рынка – быть умелым менеджером; нормальные условия труда горнорабочих. И все это – в сложных условиях постоянного перемещения рабочих мест горных машин (экскаваторов, буровых станков, бульдозеров, электровозов и т.п.) в пространстве, непрерывного сооружения и демонтажа различных коммуникаций (ЛЭП, железнодорожных путей, автомобильных дорог и пр.). Поэтому, независимо от занимаемой должности, горный инженер должен хорошо знать основные технологические процессы на карьере – подготовку горных пород к выемке, способы и оборудование для выемки и перемещения горных пород, особенности транспортирования, складирования и отвалообразования и, в то же время уметь находить контакты с людьми для ведения воспитательной работы. Последнее особенно трудно для молодого специалиста, ибо его, как правило, сразу назначают начальником смены и в его подчинении оказываются десятки весьма опытных горнорабочих, в то время как у молодого специалиста еще никакого опыта нет, есть только теоретическая подготовка. И именно от уровня овладения теорией в дальнейшем зависит правильность принимаемых решений и скорость накопления производственного опыта. Молодого инженера ценят не столько по тому, что он знает после окончания института, а по тому, что он умеет делать.

ЧАСТЬ 1

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 миллиардов 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 твёрдых отходов, количество которых составляет не менее 65-70 % от общего объёма добычи. В недрах Земли обра-

зовалось 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 её охрану; при этом энергетические ресурсы, необходимые для сохранения природы на современном уровне развития, могут быть получены только путем техногенного разрушения фундамента этой природы – литосфера 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, 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 с всё нарастающей интенсивностью проживать земные запасы низкоэнтропийного материала (минерального топлива и сырья), которые, по сути, также представляют собой часть энергии, полученной от Солнца в прежние эпохи. Но, в отличие от прямой солнечной энергии, их можно использовать с любой интенсивностью, необходимой в данный момент для развития общества. 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 её наиболее яркой чертой был огромный количественный рост. Население росло темпами, далеко превышающими известные ранее в истории, и это беспрецедентное уве-

личение 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).

Таблица 1.1
Динамика удельной добычи минерального сырья и народонаселения планеты

Показатели	Ед. изм.	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, в т.ч. ПИ пустой породы	т/чел в год	10,1	17,8	40,6	79,8	113,2	148,0	164,0
		4,7	8,2	15,6	27,5	36,5	46,5	52,2
		5,4	9,6	24,9	52,25	76,55	101,5	111,8

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

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 сырьё в товары, а товары – в ту или иную форму отходов. Для того чтобы численность людей и количество товаров постоянно увеличивались, требуется все больший объём сырья, трансформируемого в товары и в конечном итоге – в отходы.

Отходы невозможно снова превратить в сырьё 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 выше соотношения темпов роста народонаселения Земли и приходящегося на одного человека объёма 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

Объёмы 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	41,0	274,0	315,0
чёрные 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	176,0	202,4	378,4
стройматериалы	58,1	163,0	179,3	342,3
Энергетическое, в т.ч.:	22,5	63,0	132,3	195,3
уголь	10,7	30,0	90,0	120,0
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.

При современном уровне развития геотехнологий на единицу извлекаемого из недр твёрдого 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 объёмах добычи, адекватно ежегодному изъятию из естественного оборота более 5000 км² 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 сырьём 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 оторждения от сохранившихся площадей естественной биоты Земли не менее 3500- 4000 км² 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 объёме литосферы и на земной поверхности огромных масс горных пород (табл. 1.2), уже соизмеримых по своей величине с объёмом вещества, находящемся в биологическом обороте нашей планеты (табл. 1.3).

Общая масса вещества, извлекаемого из литосферы и включаемого в том или ином виде в оборот на земной поверхности ($889,1 \times 10^9$ т/год), составляет

уже почти половину мировой величины сухого веса биомассы всех материковых экосистем ($1836,55 \times 10^9$ т), или 19 % от живого веса всех животных и растений, населяющих сушу нашей планеты.

Таблица 1.3

Биомасса Земли (сухой/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 ⁹ т/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

Пересчитав объёмы 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, извлечённых 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.

При таких соотношениях вполне можно говорить о том, что продолжение экстенсивного развития минерально-сырьевого комплекса несёт 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.

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 сырьё (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 счёт 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 счёт 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 возврат металла в промышленный оборот позволит удовлетворить не более $\frac{3}{4}$ 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 потребления 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 ещё 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. Сырьё литосферы, безусловно, придётся 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 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 тыс. до н. э. выделяются группы горняков-профессионалов, передававших свой опыт из поколения в поколение. Расширение объёмов 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 ещё ручное бурение горных пород. Важные усовершенствования были сделаны в Европе в XV-XVI вв. Применение конного привода и водяного колеса для рудничного подъёма, 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 подъёма.

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, всё шире применяются взрывчатые вещества, вводится рельсовая откатка с конной тягой. В 30-х гг. XIX в. начинают применяться стальные канаты для рудничного подъёма и откатки.

Этапы развития горного дела в России

Россия обладает огромными запасами природных ресурсов, поэтому горному делу на всём протяжении развития страны отводилась ведущая роль. По 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 1 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 казённые и наоборот. Особенно много казённых заводов было на Урале. Экономическая отсталость и слабое развитие капитализма вынуждали государство строить и содержать заводы на свои средства. В начале XVIII в. казённые 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 казённых заводов приняла массовый характер, но уже в конце XVIII в. казна выкупила большинство заводов, разорённых их владельцами. И всё-таки в связи с общим кризисом феодально-крепостнического хозяйства казённые заводы постепенно пришли в упадок и оказались не в состоянии обеспечивать нужды страны. Сказалась не только экономическая неэффективность крепостнических отношений; развитие заво-

дов тормозилось хищнической политикой казённых 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 приёмы 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-XXI в.

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

Из табл. 1.4 следует, что характерной особенностью 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.

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

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 подъёмных 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 (табл. 1.5) перед человечеством встали качественно новые глобальные проблемы, обусловленные динамическими и газодинамическими явлениями: техногенными землетрясениями, горными ударами, тектоническими нарушениями и др.

Всё 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 воспроизведения минеральных ресурсов в литосфере; добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов.

Таблица 1.5

Мировые объёмы добычи основных твёрдых полезных ископаемых

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

Быстрыми темпами шло также развитие горных наук, которые постепенно уходили от простой эмпирики и вступали в стадию обобщения знаний: Б.И. Бокий разработал основы аналитического метода проектирования горных предприятий; акад. А.М. Терпигорев заложил научно-методические основы механизации горных работ; акад. АД. 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.

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 тыс. до н. э. Со временем это понятие расширилось: орудия труда, механизмы, машины также стали относиться к технике. В современной научнovedческой литературе технику определяют как систему средств труда.

Техника неразрывно связана с технологией – совокупностью взаимосвязанных процессов производства, в которых осуществляется взаимодействие человека и техники по определённой технологии. Развитие техники обусловливает совершенствование технологии, которая, в свою очередь, влияет на параметры техники.

Горная техника в своём 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 ремёсел.

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, подъёма руды и её 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 городов. 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 ма-

ну faktурного 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 всё 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 передаётся 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 её различными видами.

Сейчас, учитывая экологическую обстановку на планете, многие учёные 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 своём 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 опережает технику и превращается в непосредственную производительную силу. Она воздействует на предметы труда, её 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 кайлы, кирки, молоты. Колесные механизмы (рис. 1.6)
— железо	2 тыс. лет до н. э. — XVI в. н. э.	Железные кайлы, 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. Турробур, 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. Циклическое и поточное производство

1.4. Система знаний об освоении горных 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 приёмов 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 приёмы рудного дела; Плиний Старший в четырех книгах «Естественной истории» привёл 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. Бирингучко «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. Ставлению и выделению отдельных дисциплин горных наук в России способствовали капитальные работы: в области вскрытия систем и механизации разработки твёрдых 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.Л. 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 1 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 трудоёмкость 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 (твёрдой, жидкой и газообразной) в пределах влияния этих объектов на природу; вероятностного характера параметров, системной обусловленности и информационной ёмкости технологических процессов; сопряжённости 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 обуславливает 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 (опытная, экспериментальная) основа горных наук обуславливает 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 система», 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 твёрдых полезных ископаемых (табл.1.7).

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

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 учётом 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 водоёмов, предметом исследований которых являются технологические процессы, технические средства, технологии, способы и горные объекты, позволяющие извлечь георесурсы из недр. Они же создают научные предпосылки для использования георесурсов тех видов, утилизация которых не предполагает их извлечения (например, подземные полости).

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 много-гранна. Как науки междисциплинарные горные науки связаны с обширным кругом различных отраслей знания (рис. 1.1).

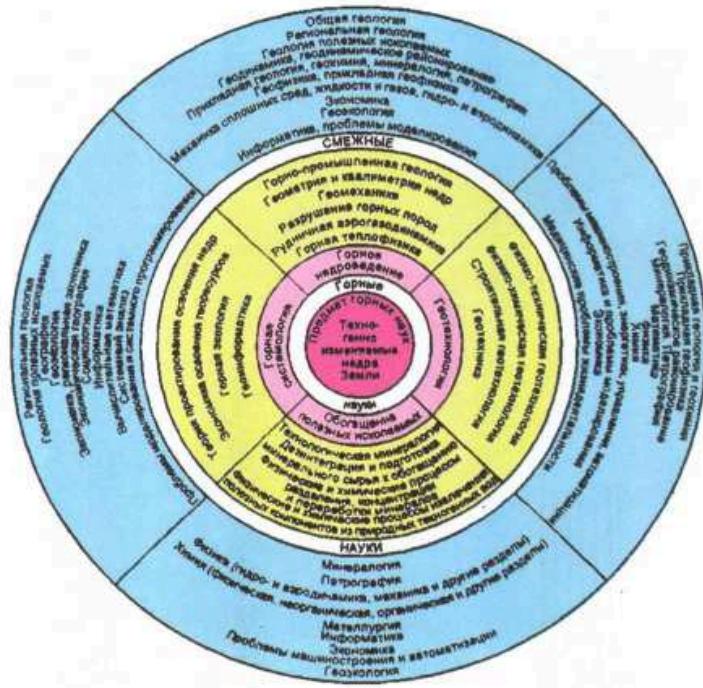


Рис. 1.1. Связь горных наук с другими отраслями знаний

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 путём его упрочнения цементацией, смелоинъекцией, 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 химических, 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 сростанием 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, авто-

матизации, энергетики, управления производственными процессами имеет большое значение для развития этих наук.

Не менее важны для горных наук учёт экономических 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 учёным для подсчёта 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 коренным 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 безопасности. Весьма трудоёмкое освоение недр требует привлечения значительных трудовых ресурсов. При этом труд горняков тяжёл физически, опасен и не относится пока к числу наукоёмких. 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 наукоёмкости горного производства и создаёт 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 технических характеристик)

ведёт 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 воздействие 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 осуществляется 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 ещё 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, четвёртый 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 – всё это как целенаправленная деятельность 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.

Вопросы для контроля:

1. Минерально-сырьевой комплекс как основа технократической цивилизации.
2. Исходный биологический принцип существования живой материи.
3. Основа существования технократической цивилизации.
4. Сырьевые проблемы технократической цивилизации.
5. Главный фактор развития производительных сил в античном обществе.
6. Этапы развития горного дела в России.
7. Биоэнергетический этап развития горной техники (человек – инструмент – предмет труда).
8. Этап машинного производства (человек – машина – инструмент – предмет труда).
9. Этап электрификации горной техники.
10. Этап автоматизации горного производства.
11. Триада развития цивилизации и горного дела.
12. Система знаний об освоении горных недр (горные науки).
13. Основные представления о комплексном освоении недр.

2. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

2.1. Строение Земной коры

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

В целом Земля имеет центрально симметричное строение 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).

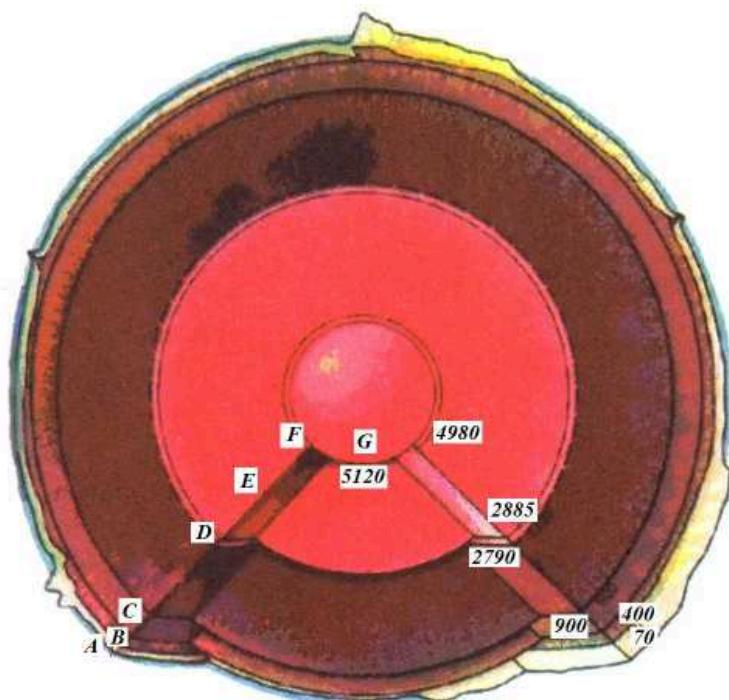


Рис. 2.1. Строение Земли:
A – земная кора; B, C, D – мантия; E, F – внешнее ядро; G – внутреннее ядро

Земля окаймлена двумя оболочками: атмосферой и гидросферой.

Мировой океан занимает 361,1 млн. км², или 70,8 % поверхности земли, суши – 149,1 млн. км², или 29,2 %.

Объём земли без атмосферы составляет $1083,4 \times 10^{18}$ м³, а масса земли – 5976×10^{21} кг.

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

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

Таблица. 2.1.

Удельное количество разных элементов в земной коре

Химический элемент	Осадочная оболочка континентов	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
Алюминий	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

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 пордообразующих минералов.

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

Изверженные породы образуются при кристаллизации расплавов (магмы), поднимающихся с больших глубин. Мagma 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.

До настоящего времени общество вовлекает в эксплуатацию те элементы земной коры, которые в природных условиях сконцентрированы в виде мине-

ральных 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.

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

Вид 1.1. *Месторождения твёрдых, жидких или газообразных полезных ископаемых однородного состава*, представленные одной залежью или группой близко расположенных залежей с одинаковым или аналогичным химико-минерологическим 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 её поверхности или на глубине;
- б) в прибрежной части земной суши;
- в) на дне и под дном водоёмов, 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 1.2. *Комплексные месторождения твёрдых, жидких и газообразных полезных ископаемых*, представленные группой близко расположенных залежей с существенно различным химико-минерологическим 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 добываемых 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 всё более возрастает; также увеличивается многообразие их по сочетанию различных видов полезных ископаемых.

Среди твёрдых полезных ископаемых известны комплексные месторождения, представленные близко расположеными 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 кото-

рых 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 добывшие 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 дешёвых 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 твёрдом, жидким или газообразном состояниях.

Скопление твёрдого 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 сырьё*, 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 чёрных и легирующих металлов* являются сырьевой базой чёрной и цветной металлургии. Чёрная металлургия является потребителем марганцевых, хромитовых, никелевых, кобальтовых, молибденванадиевых руд. Их добыча растёт 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 производство 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 сырьё* – 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 (перемещённые на некоторое расстояние от коренного месторождения и в большинстве случаев являющиеся продолжением элювиальных), аллювиальные (перемещённые на значительные расстояния водными потоками), береговые, ледниковые и эоловые (элювиальные россыпи, перенесённые силой ветра).

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

Таблица 2.2

Состав и плотность наиболее распространенных полезных минералов

Минерал 1	Состав 2	Плотность, т/м ³ 3
Авгит	CA (Mg,Fe,Al)[Si,Al] ₂ O 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 ₃ O 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·Fe ₂ O ₃ ·3SiO ₃	3,8
Антимонит	Sb ₂ S ₃	4,6
Апатит	(F,Cl,OH)Ca ₅ [PO ₄] ₃	3,2
Арсенопирит	FeAsS	5,9 – 6,0
Асбест	Mg ₃ [Si ₂ O ₅](OH) ₄	2,4 – 2,5
Аурипигмент	As ₂ S 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 ₃ Al ₂ [Si ₆ O ₁₈]	2,7 – 2,8
Биотит	K(Mg,Fe) ₃ [AlSi ₃ O ₁₀](OH,F) ₂	3,0 – 3,1
Борнит	Cu ₅ FeS ₄	4,9 – 5,3
Браннерит	UTi ₂ O 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
Галлит	NaCl	2,2
Гематит	Fe ₂ O ₃	5,2
Гетит	FeOOH	4,3
Гиббсит	Al(OH) ₃	2,4
Гиперстен	(Mg,Fe)[Si ₂ O ₆]	3,3 – 3,5
Гипс	CaSO ₄ ·2H ₂ O	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 ₂ O 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 ₄ O ₁₀](OH) ₈	2,6
Карналлит	KMgCl ₃ ·6H ₂ O	1,6
Кассiterит	SnO ₂	6,3 – 7,2
Кварц	SiO ₂	2,6

Продолжение табл. 2.

1	2	3
Кианит	$\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$	3,6 – 3,7
Кобальтин	$(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$	6,1 – 6,4
Ковеллин	CuS	4,7
Колумбит	$(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$	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	$\text{FeTiO}_3 \rightarrow \text{TiO}_2$	3,6 – 4,3
Лимонит	$\text{FeOOH}_{\text{x}}\text{nH}_2\text{O}$	2,2 – 2,4
Магнезит	MgCO_3	3,0
Магнетит	Fe_3O_4	4,8 – 5,2
Малахит	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	4,0
Магнитит	$\text{MnO}(\text{OH})$	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	$(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4$	4,9 – 5,5
Муллит	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	3,2
Мусковит	$\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2,8 – 3,0
Никелин	NiAs	7,6 – 7,8
Оливин	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$	3,3 – 3,4
Ортоклаз	$\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$	2,5 – 2,6
Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	5,0 – 5,2
Периклаз	MgO	3,6 – 3,8
Перовскит	CaTiO_3	4,0
Пирит	FeS_2	4,9 – 5,1
Пироксен	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	3,1 – 3,6
Пиролюзит	MnO_2	5,0 – 5,1
Пироп	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3,5
Пирохлор	$(\text{Na}, \text{Ca}, \dots)_2(\text{Nb}, \text{Ta}, \dots)_2\text{O}_6\text{F}$	3,8 – 5,0
Пирротин	$\text{Fe}_{x-1}\text{S}_x$	4,6 – 4,7
Платина сам.	Pt	14,0 – 21,5
Реальгар	As_4S_4	3,6
Родонит	$\text{CaMn}_4[\text{Si}_5\text{O}_{15}]$	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	$\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	2,5 – 2,7
Сидерит	FeCO_3	3,9
Силлиманит	$\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4]$	3,2
Сильвин	KCl	2,0
Смитсонит	$\text{Zn}[\text{CO}_3]$	4,1 – 4,5
Сперрилит	PtAsS_2	10,6

1	2	3
Спессартин	Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	4,2
Сподумен	LiAl(SiO ₃) ₂	3,1 – 3,2
Ставролит	Fe ²⁺ Al ₄ [Si ₄ O ₁₁] ₂ O ₂ (OH) ₂	3,6 – 3,8
Станнин	Cu ₂ FeSnS ₄	4,3 – 4,5
Сфалерит	ZnS	3,9 – 4,0
Сфен	CaTi[SiO ₄] (F, OH)	3,3 – 3,6
Тальк	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	2,7 – 2,8
Танталит	(Fe, Mn)(Ta, Nb) ₂ O ₆	5,2 – 8,2
Тапиолит	Fe(Ta, Nb) ₂ O ₆	7,3 – 7,8
Топаз	Al ₂ SiO 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 ₂	3,2
Франклинит	(Zn, Mn) Fe ₂ O ₄	5,1 – 5,2
Хлорит	(Mg, Al, Fe) ₁₂ [(SiAl) ₈ O ₂₀](OH) ₁₆	2,6 – 3,2
Хризокolla	CuSiO ₃ ·nH ₂ O	2,0 – 2,3
Хромит	(Fe, Mg)(Cr, Al) ₂ O 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 ₂ O ₄	3,6 – 4,0
Эпидот	Ca ₂ (Al, Fe) ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH)	3,2 – 3,5

Каждое месторождение полезных ископаемых располагается в пределах литосферы нашей планеты и поэтому представляет собой литосферный объект с физически выраженным 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 добывчими. 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 её 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 оптимального 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 изменённых недр. Этот объект можно представить себе как некий объём, окруженный нетронутой литосферой, внутри которого находится зона техногенного разрушения литосферы и зона спровоцированного этим разрушением изменения напряжённо-деформированного состояния массивов горных пород.

Так как понятие «техногенно изменённые 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 изменённых недр с невозмущенной литосферой. Она трёхмерна: техногенно изменённые недра предстают в виде замкнутого объёмного литосферного объекта, ограниченного в пространстве двумя условными поверхностями «нулевого» влияния контактирующих систем; на внутренней поверхности не проявляется влияние невозмущенной литосферы, а на внешней – техногенно изменённых недр (рис. 2.2).

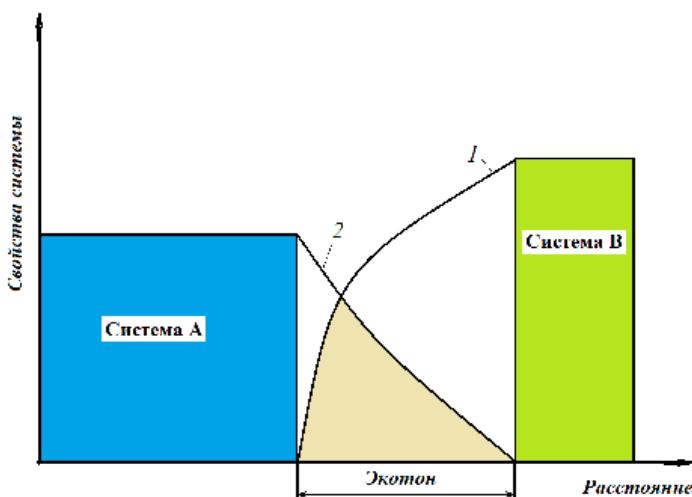


Рис. 2.2. Принципиальная схема формирования зоны перехода свойств (эктона) на контакте двух различных систем:

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 техносфера – необходимо обеспечить:

- доступ с земной поверхности к месту залегания полезного компонента;
- придать этому компоненту подвижность;
- выдать его на поверхность Земли.

Это три обязательных этапа обобщённой 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 выдастся 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_d) и отрабатываемого участка литосферы (S_{ot}): $S_d \geq S_{ot}$ – открытая разработка; $S_d < S_{ot}$ – 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 объёме (большая часть твердых полезных ископаемых), либо изменением его агрегатного состояния (например, выплавка серы), либо путём создания условий для миграции полезного компонента – физических (нефть, газ, вода, тепло) или химических (выщелачивание металлов на месте залегания).

Применительно к первому случаю всё многообразие технических и технологических решений, используемых при освоении месторождений твёрдого минерального сырья, можно объединить в несколько групп, каждая из которых по-своему влияет на изменение свойств природных объектов литосферы, характеризуется определёнными 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 изменённых 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 вос-

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

Ко *второй группе* относятся наиболее распространенные в угольной промышленности, чёрной 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 крутопада-

ющих либо наклонно-падающих рудных тел (пластов) от центра к флангам или от одного фланга к другому при выемке пологих залежей (пластов).

В результате по мере отработки месторождения происходит 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 прочных, жёстких 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 объём определённых размеров, изменение которого сопровождается необратимыми процессами в ближней зоне и последующим её уплотнением за счёт распространения неупругого расширения (разрушения) пород вглубь массива. Границы зоны техногенного изменения пород литосфера определяются условием достижения равновесия между величиной реакции бокового распора нетронутого массива и отпором, создаваемым обрушенными и уплотнёнными 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 плавно оседают над продуктивной толщей на величину, соизмеримую с изъятым объёмом. Таким образом, третья модель техногенного вторжения в литосферу характеризуется тем, что материал литосфера замещается техногенным материалом с известными (заданными) прочностными и деформационными

свойствами, которые определяют масштабы переходной зоны, формирующей техногенно изменённые недра как новый литосферный объект. По характеру релаксационных процессов эта модель занимает промежуточное положение между двумя представленными выше.

Вопросы для контроля:

1. Строение Земной коры.
2. Основные группы горных пород.
3. Месторождения полезных ископаемых.
4. Горные породы вскрыши.
5. Отходы горно-обогатительного и металлургического производства.
6. Глубинные источники пресных, минеральных и термальных вод.
7. Внутреннее - глубинное тепло недр земли.
8. Природные и созданные человеком (техногенные) полости в земных недрах.
9. Основные виды полезных ископаемых.
10. Техногенно изменённые недра, экотон.
11. Этапы техногенного изменения недр при добыче минерального сырья.
12. Способы техногенного изменения свойств участков литосфера первой группы.
13. Способы техногенного изменения свойств участков литосфера второй группы.
14. Способы техногенного изменения свойств участков литосфера третьей группы.

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 предприятие – самостоятельная производственная единица, осуществляющая эксплуатационную разведку, добычу и обогащение полезных ископаемых. Горное предприятие, 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), объединённых в единую административно-хозяйственную 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 или газовый промысел).

Месторождение или его часть, разрабатываемую одним горным предприятием, называют *карьерным* (или *шахтным*) *полем*. Карьерное поле является объёмной геометрической фигурой, характеризуемой размерами в плане, глубиной и углами откосов бортов, его размеры определяют общие объёмы горных работ и возможную производственную мощность горного предприятия. Производственная мощность горного предприятия, называемая также производительностью, исчисляется в тоннах полезного ископаемого, добываемого в течение года. Производительность горных предприятий 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 А, т/год, срок его существования Т и запасы полезного ископаемого в шахтном (карьерном) поле К 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.

В соответствии с лицензий на добычу полезных ископаемых пользователю предоставляется участок недр в виде *горного отвода* – геометризованного блока недр для промышленной разработки содержащихся в нём залежей полезных ископаемых. При определении границ горного отвода учитываются пространственные контуры месторождения полезных ископаемых, границы безопасного ведения горных и взрывных работ, зоны охраны от вредного влияния горных разработок, зоны сдвига горных пород, разносы бортов карьеров и разрезов и другие факторы, влияющие на состояние недр и земной поверхности в связи с процессом геологического изучения и использования недр.

Пользователь недр, получивший горный отвод, имеет исключительное право осуществлять в его границах пользование недрами в соответствии с предоставленной лицензией. 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 оформление горного отвода осуществляют органы Ростехнадзора.

Отвод земельного участка в окончательных границах – *земельный отвод* – и оформление земельных прав пользователя недр осуществляется в порядке, предусмотренном земельным законодательством, после утверждения проекта работ на недропользование, поскольку в границы земельного отвода включаются также земельные участки для размещения инфраструктуры карьера. Площадь земельного отвода во много раз превышает площадь карьерного поля. 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.

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

В результате производства открытых горных работ на земной поверхности образуются большие выемки, совокупность которых называют **карьером**.

Контур поперечного сечения этих выработок является незамкнутым, т.е. все они открыты сверху.

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

- литосфера в пределах горного отвода;
- литосфера с изменёнными 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 литосфере 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.

К полезным ископаемым (ПИ) относят все виды горных пород и минералов, встречающиеся в природе в твёрдом, жидким или газообразном состоянии, добываемых для хозяйственных, строительных, промышленных и научных целей и используемых в сырье виде (серу, ртуть, соль, благородные металлы, природный газ) или после переработки (руды чёрных и цветных металлов, нефть).

Горные породы, вмещающие полезное ископаемое или заключённые в его толще, называют пустыми или вскрышными породами. Разделение пород на полезное ископаемое и пустые породы является относительным – с прогрессом техники добычи и технологий переработки многие пустые породы начинают использовать как полезное ископаемое во всём больших количествах (глины, песок, мел как строительный материал, в стекольной, цементной промышленности и пр.). Полезное ископаемое и пустые породы объединяются понятием *горная масса*.

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).

Пластовые имеют выдержанную толщину пласта, постоянный угол падения, а также чёткие 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 выдержаными элементами залегания) и сложными, в том числе и с нечёткими контактами с вмещающими породами или состоящими из ряда тонких жил и множества прожилков различной ориентации.

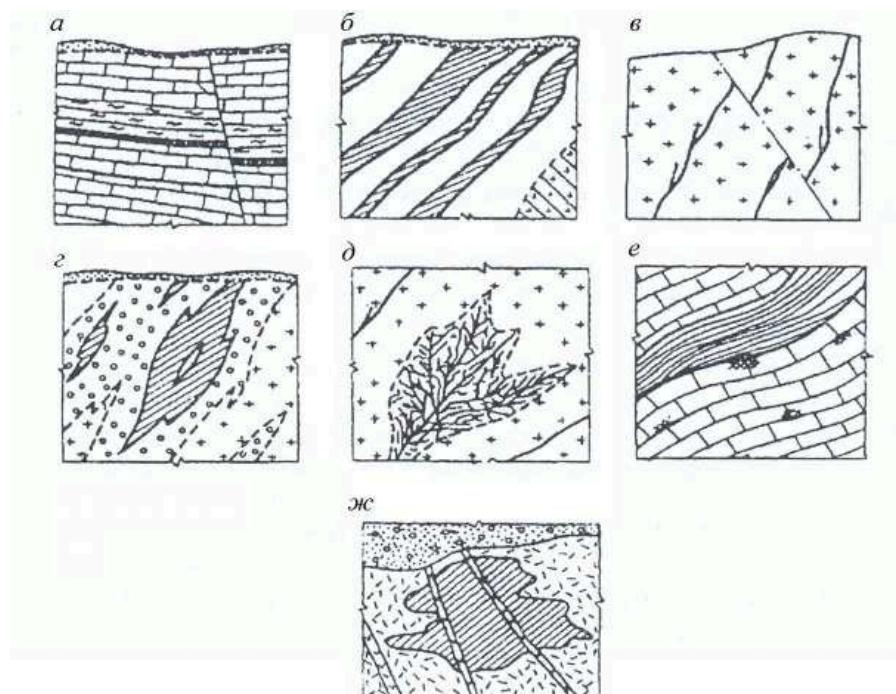


Рис. 3.1. Формы рудных тел (вертикальные, поперечные разрезы):
а – пластовые; б – пластообразные; в – жильные; г – линзообразные; д – штокверк;
е – рудные гнезда; жс – штокообразные

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

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 (гнёзд) неправильной формы.

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

По форме залежи (рудного тела) месторождения твёрдых полезных ископаемых подразделяются на правильные и неправильные. К правильным относятся пластины (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 пластины, не разрабатываемые вследствие малой мощности (до 0,4 м), называются пропластками. Плоскости соприкоснове-

ния пластов отдельных пород называются плоскостями напластования. Пласти могут иметь однородное (простое) и сложное строение. Тонкие слои пустой породы, заключённые в пласте, называются прослойками.

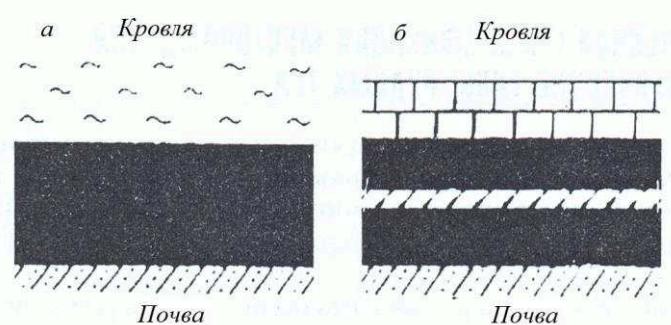


Рис. 3.2. Строение пластов:
а – простое; б – сложное

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

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 не-глубоко от неё под наносами, называется выходом пласта. Пласти залегают согласно, если они в земной коре расположены параллельно друг другу. Несколько согласно залегающих пластов составляют свиту.

К залежам неправильной формы залегания относятся жилы, штоки, гнёзда, линзы (рис. 3.3).

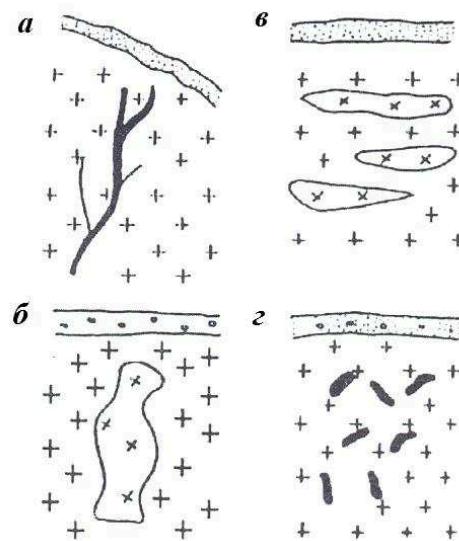


Рис. 3.3. Форма залегания рудных тел:
а – жила; б – шток; в – линзы; г – гнёзда

Неправильную форму залегания имеют, как правило, рудные залежи.

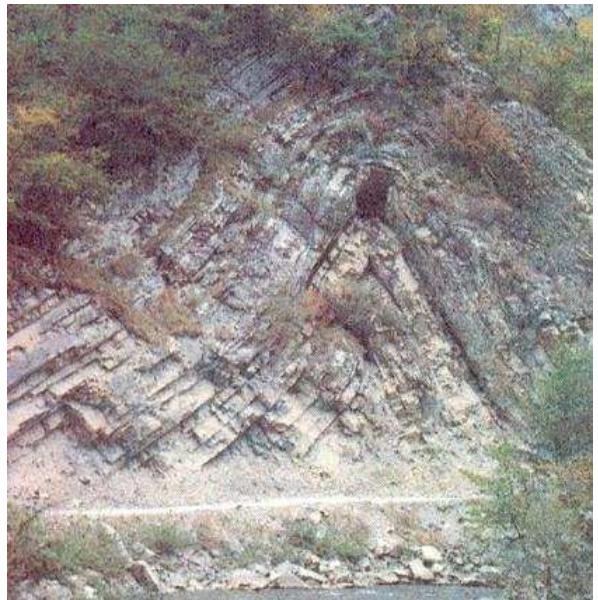
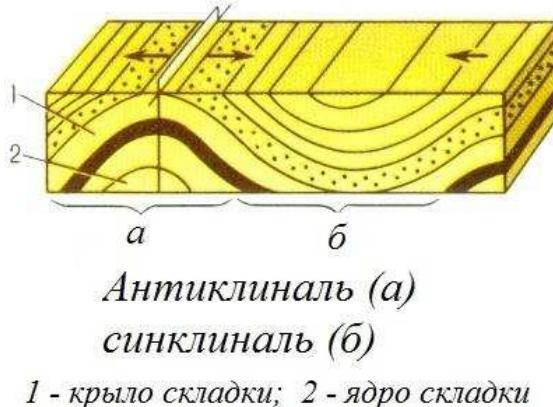
Жилой называется заполненная минеральным веществом трещина в земной коре. Жилы бывают простые и сложные. Ответвления от жил называют *апофизами*.

Такие формы залегания, как штоки, линзы, гнёзда, 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.

Пласти 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 пласти 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).



Антиклиналь на местности

Рис. 3.4. Складчатость месторождения

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 простиранье и падение пластов (рудных тел).

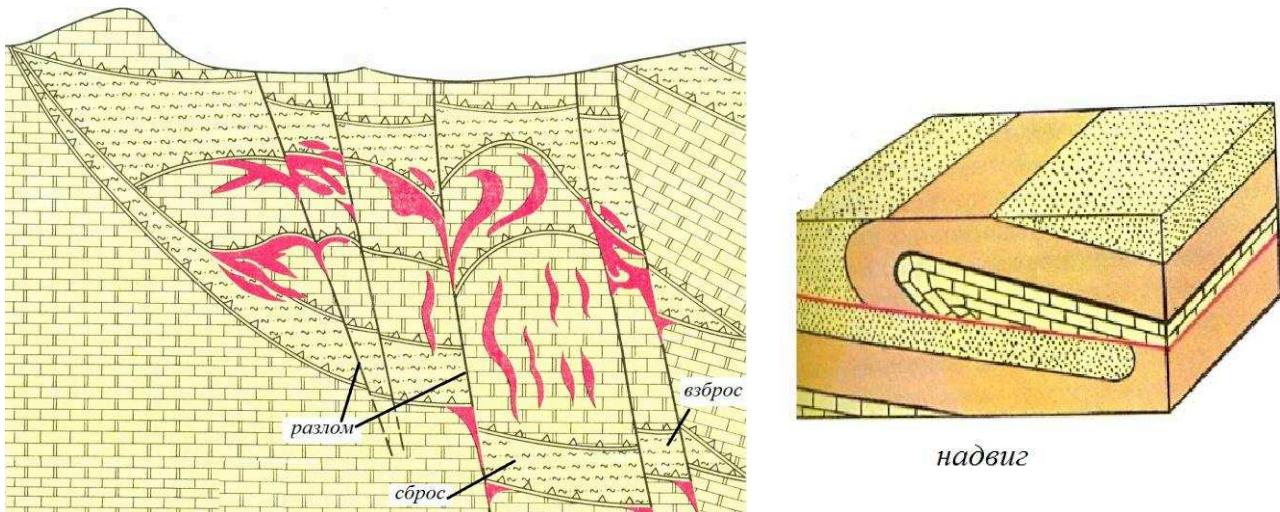


Рис. 3.5. Дизъюнктивные нарушения:

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.

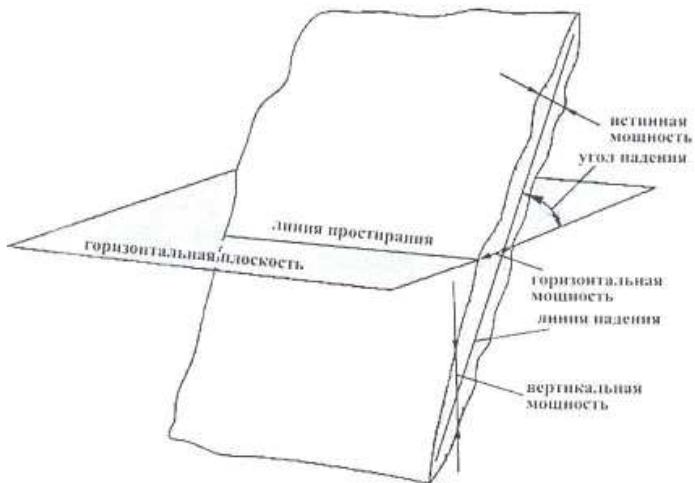


Рис. 3.6. Элементы залегания пласта

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).

Таблица 3.1

Классификация залежей 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

Мощность пласта или иной залежи как элемент залегания представляет собой расстояние по нормали между кровлей и почвой. Такую мощность называют истинной, или нормальной. Расстояние между кровлей и почвой, измеряемое по горизонтали, называют *горизонтальной мощностью* m_e , а по вертикали – *вертикальной мощностью* m_v .

Поскольку в пределах залежи полезного ископаемого мощность её, как правило, изменяется, на практике употребляют термин *средняя мощность*. Так как пласти, 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 выдержаными. Для рудных тел они изменяются, как правило, в широких пределах.

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		
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	—

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.

3.3. Способы добычи твердых полезных ископаемых

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

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 ещё 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 путём 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 осуществляют 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. На рис. 3.7 приведена схема угольной шахты.

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 осуществляют 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.

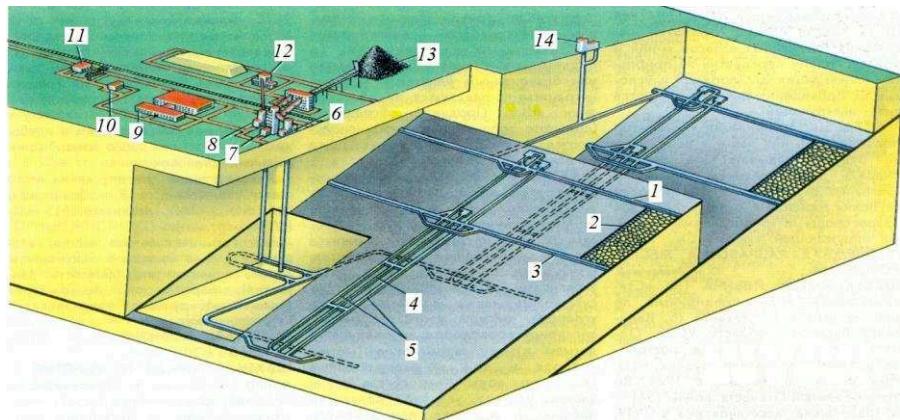
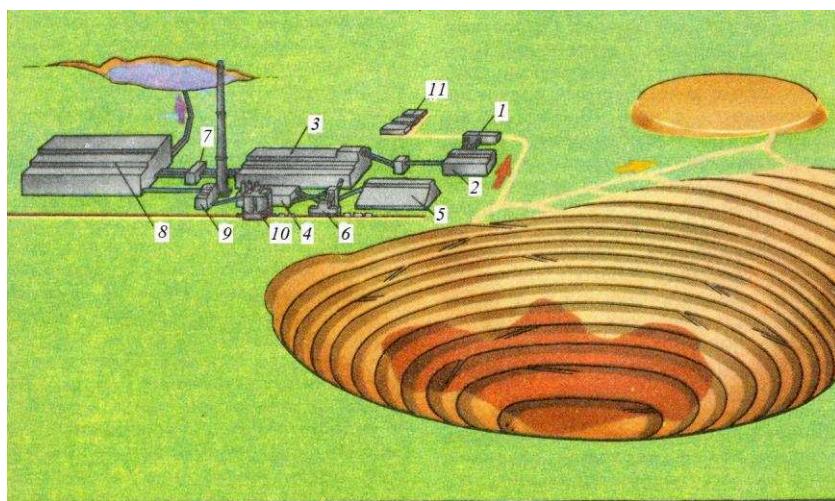


Схема шахты, разрабатывающей пологие угольные пласты, вскрытые вертикальными стволами и капитальным квершлагом при наличии третьего (вентиляционного) ствола:

1 - вентиляционный штрев; 2 - очистной забой; 3 - откаточный штрев; 4 - бремсберг; 5 - ходки; 6 - сооружения главного ствола; 7 - здание сортиметрии; 8 - сооружения вспомогательного ствола; 9 - административное здание; 10 - электроподстанция; 11 - лесной склад; 12 - породный бункер; 13 - аварийный склад угля; 14 - сооружения второго вентиляционного ствола

Рис. 3.7. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых

Открытый способ разработки применим к месторождениям различных полезных ископаемых, в т. ч. 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). На рис. 3.8. приведена схема горно-обогатительного комбината.

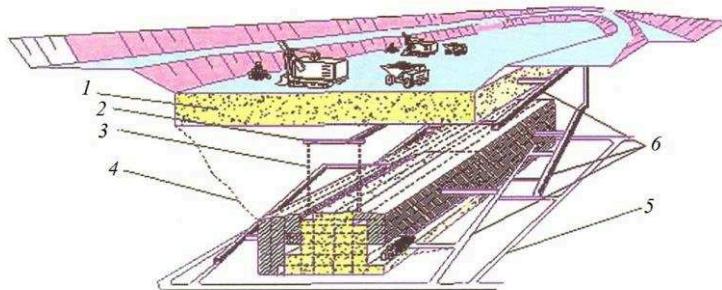


Горно-обогатительный комбинат:

1 - корпус крупного дробления; 2 - корпус среднего и мелкого дробления; 3 - отделение измельчения и мокрой магнитной сепарации; 4 - корпус сушки концентратов основного полезного ископаемого ОПИ; 5 - склад сухого концентратов ОПИ; 6 - узел погрузки концентратов ОПИ в ж/д вагоны; 7 - пульпонасосная станция; 8 - фабрика по переработке отходов ("хвостов") основного производства; 9 - корпус сушки вторичного продукта ВП; 10 - узел погрузки ВП в ж/д вагоны; 11 - цех большегрузных карьерных автомобилей

Рис. 3.8. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых

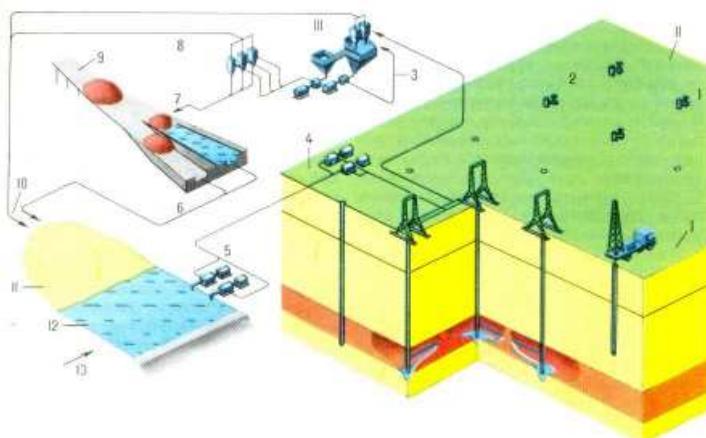
В ряде случаев разработку верхней части месторождения полезных ископаемых осуществляют открытым способом, а нижнюю, глубокозалегающую – подземным; или наоборот, производят отработку подземным, а затем открытым способами (рис. 3.9). Открытые и подземные работы взаимоувязывают; способ разработки получил название *комбинированного* или, реже, совместного (при одновременном ведении открытых и подземных работ).



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. 3.9. Комбинированный способ разработки месторождений полезных ископаемых

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 (рис. 3.10). Последнее название основывается на том, что в процессе добычи люди не находятся в горных выработках.

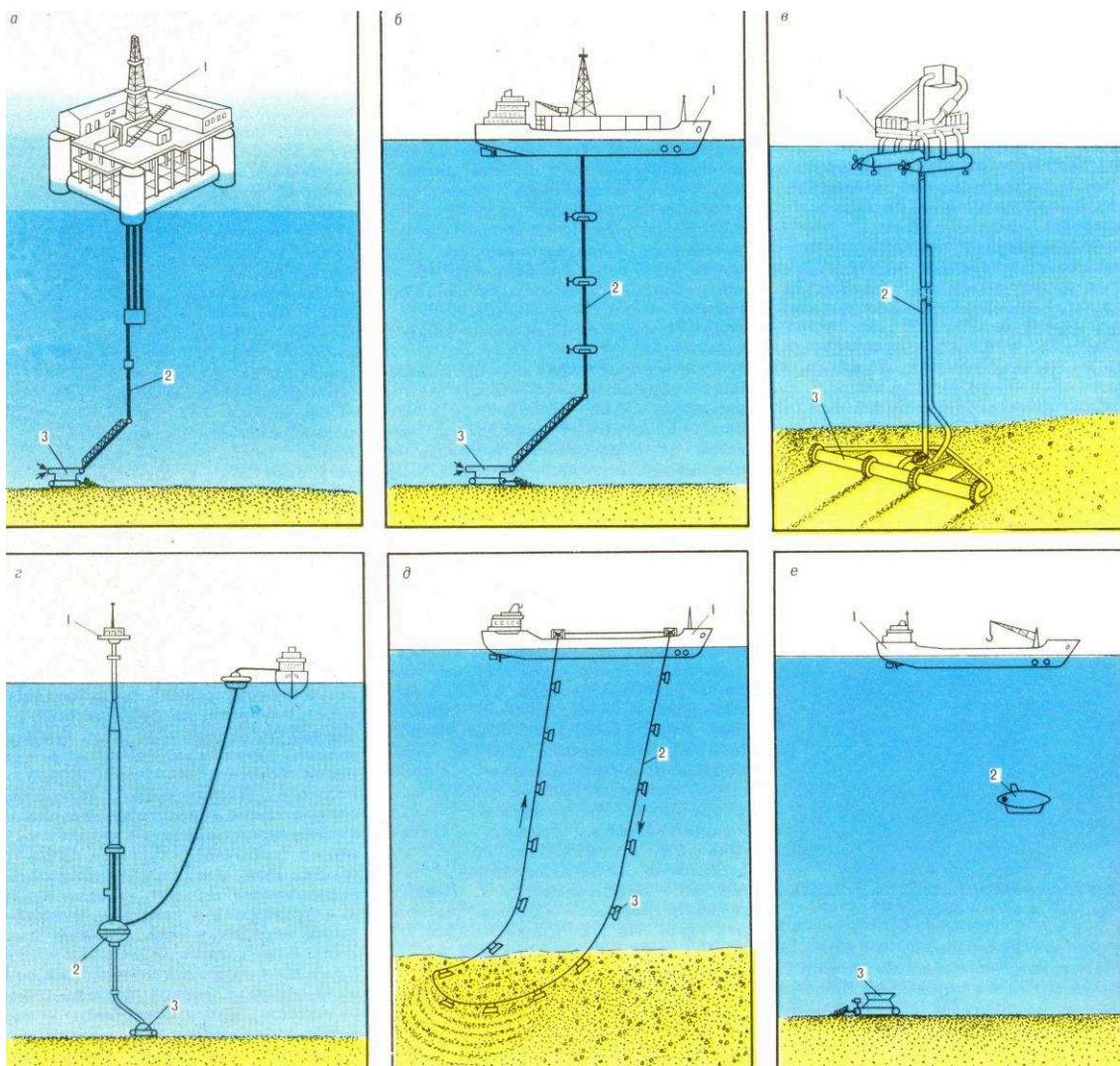


Технологическая схема предприятия скважинной гидродобычи:
(I - обычный участок; II - повторная отработка целиков выщелачиванием;
III - обогащение).
1 - скважины подачи растворителя; 2 - скважины откачки раствора для сорбции;
3 - пульпа; 4 - площадка насосной станции; 5 - напорная вода; 6 - слия;
7 - концентрат; 8 - шлам (в хвостохранилище); 9 - погрузочная эстакада;
10 - хвосты обогащения; 11 - хвостохранилище; 12 - пруд-отстойник;
13 - подпиточная вода

Рис. 3.10. Технологическая схема скважинной гидродобычи

Физико-химическое извлечение осуществляют при всех способах разработки. В настоящее время его 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, расположенных 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 (рис. 3.11).



Схемы глубоководной добычи твёрдых 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 подъёма; 3 - агрегат сбора

Рис. 3.11. Морская добыча полезных ископаемых

Практика морских разработок месторождений твёрдых полезных ископаемых в настоящее время ещё не нашла широкого распространения; из морских месторождений, в основном на шельфе, осуществляют добычу магнетитовых и титано-магнетитовых 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 разведенности месторождения или его части, изученности качества минерального сырья и горнотехнических условий разработки месторождений запасы разделяют на четыре категории (*A*, *B*, *C₁* и *C₂*).

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 C₁ 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 C₂* относят часть запасов, условия залегания, форма и распространение тел полезных ископаемых которых определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытии-

ем полезных ископаемых в отдельных точках, или по аналогии с изученными участками месторождения.

Контуры запасов категории А определяются разведочными скважинами и горными выработками; контуры запасов категории В – по данным разведочных выработок с включением (при устойчивой мощности и выдержанном качестве полезных ископаемых) ограниченной зоны экстраполяции; контуры запасов категории С₁ – на основании данных разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным; контуры запасов категории С₂ – 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 А, В, С₁. Соотношение этих категорий запасов устанавливают в зависимости от сложности разведываемых 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 А + В – не менее 30 % (для месторождений коксующихся углей эти величины соответственно 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 не-

выдержаным содержанием полезных компонентов. Для этих месторождений допускают разведку запасов по категории С₁.

При проектировании горных предприятий для определения перспектив их развития, а также для более полного использования минеральных ресурсов необходимо учитывать запасы категории С₂ и забалансовые запасы.

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

При разработке разведенного 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 разведенности 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.

$$K_{\text{п}} = Z_{\text{п}} / Z_{\text{бал}}$$

Вполне очевидно, что C + K_п = 1.

Избежать потерю 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 поверхности месторождения, сложность залегания, способ разработки, применяемая техника и технология добычи и др. осуществление мероприятий по снижению потерь нередко связано с дополнительными затратами, что влечёт 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 от 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.

1 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, водоёмами, 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 след-

ствие 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 «прихваты» 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 экономические показатели разработки месторождений.

Количественные потери вызывают рост затрат на разведку, увеличение амортизации капитальных затрат и расходов по подготовке к очистной выемке на добывное полезное ископаемое, а также приводят к недополучению прибыли от потеряной 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 нового 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 её на обогатительной фабрике или металлургическом заводе; в увеличении потерь полезного компонента при переработке разубоженной руды; в снижении производственной мощности перерабатывающих руду предприятий по ко-

нечной 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 добываемой рудной массы (Д).

Коэффициент разубоживания:

$$P = B/D$$

Разубоживание в процентах:

$$P = B \cdot 100/D$$

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

Коэффициент разубоживания по содержанию:

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

где с и а – содержания полезного компонента соответственно в руде месторождения и в добываемой 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*.

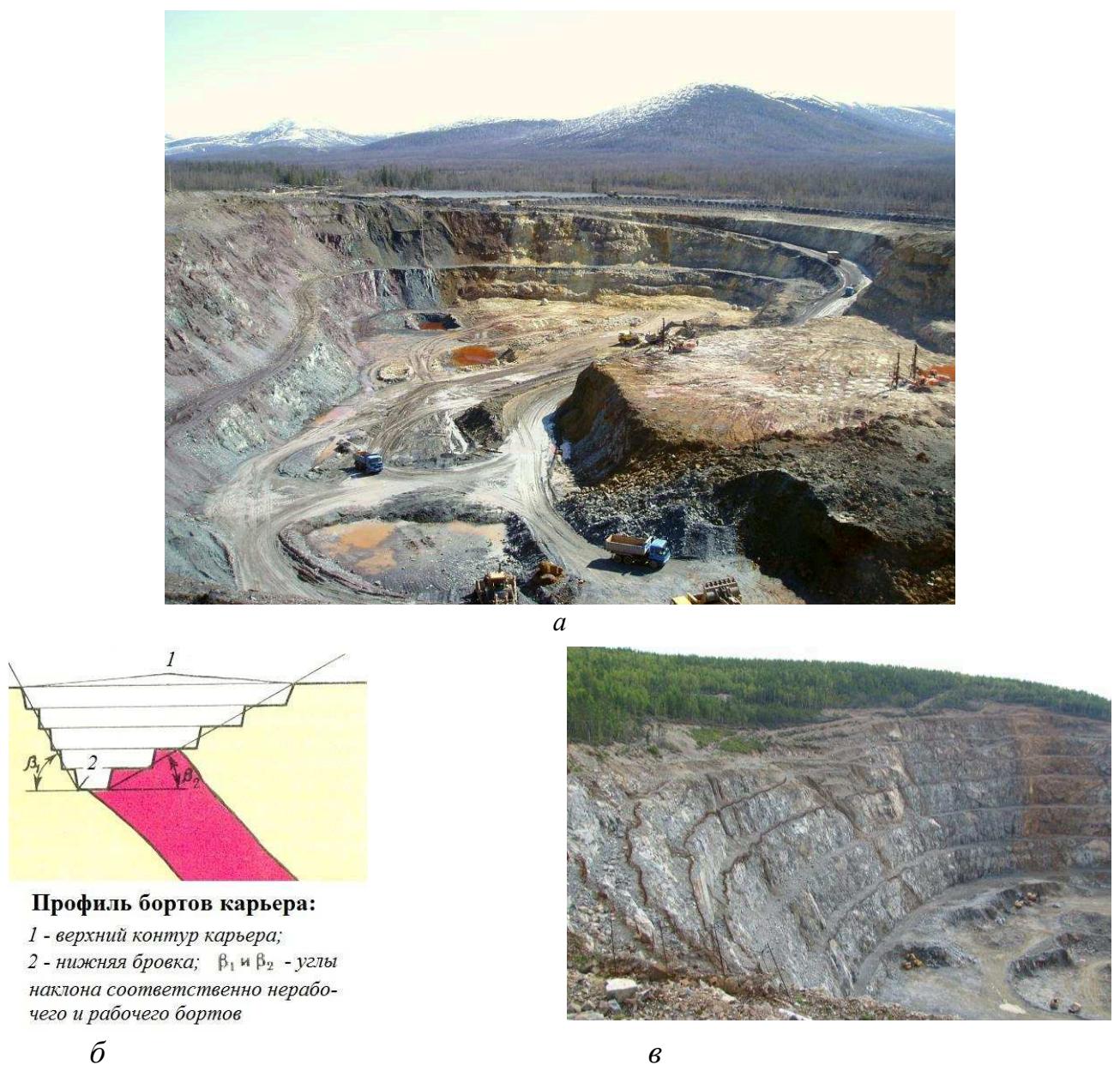
Горные выработки по назначению подразделяются на разведочные и эксплуатационные. Первые служат для целей разведки залежи полезного ископаемого, вторые – для его разработки.

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* (рис. 3.12, а), на россыпных месторождениях и в угольной промышленности – *разрезом*.



б

б

Рис. 3.12. Карьер (а), конечный профиль борта карьера на схеме (б) и на местности (б)

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 добывчные 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 (рис. 3.13, а) или внутри карьера – внутренние (рис. 3.13, б), обычно с уклоном; ширина въездной траншееи (понизу) зависит от размеров проходческого оборудования и транспортных средств; в среднем эта ширина составляет 10-20 м (рис. 3.14, а);

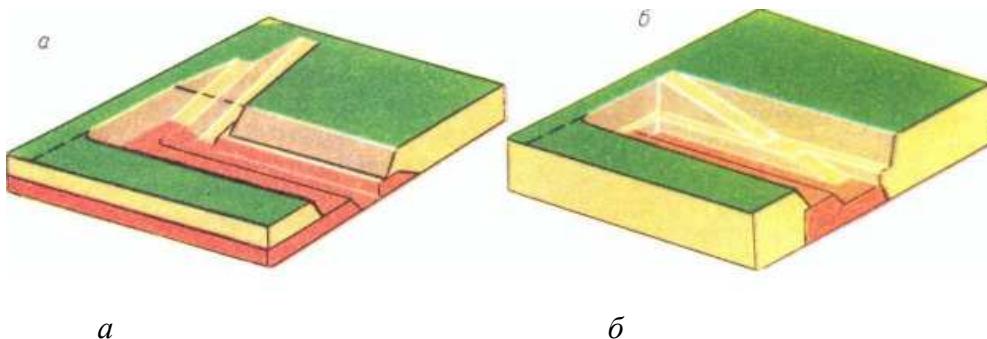


Рис. 3.13. Капитальные (въездные) траншеи: внешняя (а) и внутренняя (б)

разрезные – для подготовки вскрытого горизонта к эксплуатации; их проходят без уклона (рис. 3.14. б);

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. 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.

*a**б*

Рис. 3.14. Траншеи на открытых горных работах:
а – капитальная (въездная); *б* – разрезная

Поверхности, ограничивающие выработки с боков, называют бортами выработки. Поверхность, ограничивающая выработку сверху, называется кровлей, снизу – почвой.

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. Нижняя часть ствола ниже уровня околоствольного двора называется зумпфом. Он предназначен для размещения подъемного сосуда (скипа или клети) в момент загрузки.

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 (рис. 3. 15).

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 непосредственный 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.

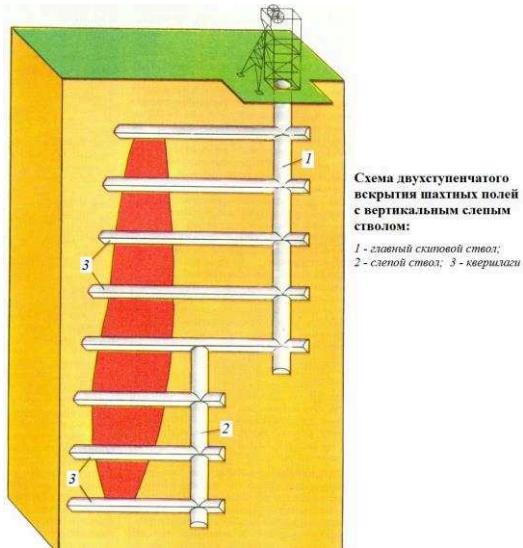


Рис. 3.15. Вскрытие вертикальным и слепым стволами

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. 3.16).

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

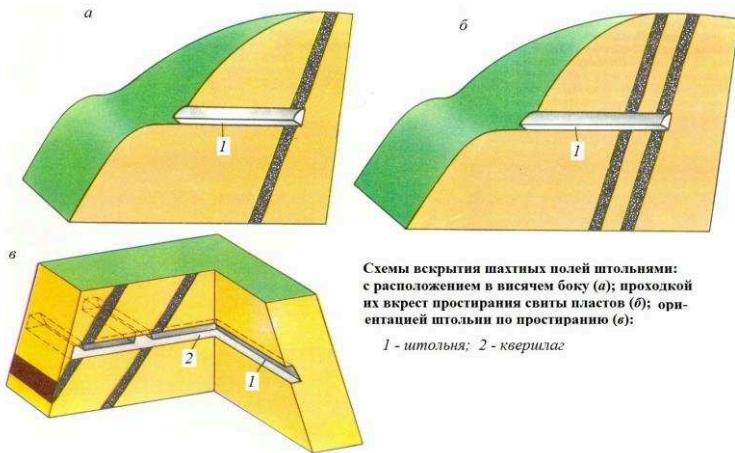


Рис. 3.16. Вскрытие штольнями

Штрек – горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, 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.

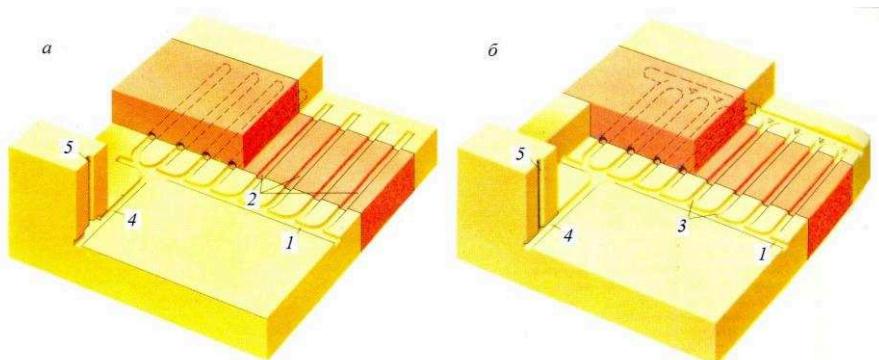
Прогек – горизонтальная горная выработка, проводимая параллельно штреку обычно без подрывки боковых пород, предназначенная для осуществления нарезных работ или проветривания штреков в период их проходки. На тонких пластах осуществляют присечку боковых пород.

Орт – горизонтальная горная выработка, проводимая в мощных пластиах или рудных залежах в пределах их горизонтальной мощности (рис. 3.17).

Сбойка – горизонтальная выработка, проводимая между расположеными рядом наклонными выработками.

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

Наклонные горные выработки могут иметь выход на земную поверхность и могут быть без него. К наклонным горным выработкам, имеющим непосредственный 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.



Способ подготовки ортами тупиковыми (а) и сквозными (кольцевыми) (б):
1 - полевой штрек; 2 - тупиковые орты; 3 - кольцевые орты; 4 - кверилаг; 5 - вертикальный ствол

Рис. 3.17. Подготовка ортами

К наклонным выработкам, не имеющим непосредственного 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 (см. рис. 3.7).

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.

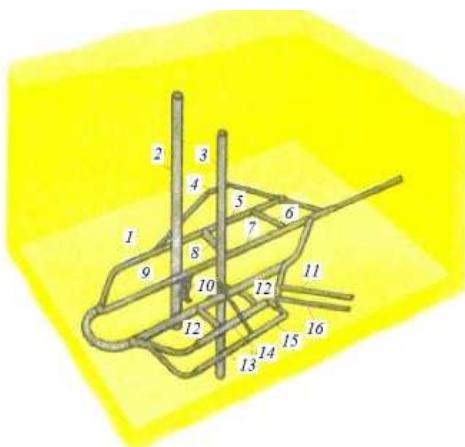
Печь – наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проводимая по пласту полезного ископаемого в пределах его мощности. По печам осуществляется передвижение людей, транспортирование угля, материалов и т. д. Печь, в которой начинается развитие работ по выемке 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* (рис. 3. 18). В околоствольном дворе располагаются следующие камеры: электроподстанция, 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.



Околоствольные выработки:

- 1 - обходные выработки; 2 - главный ствол; 3 - вспомогательный ствол;
- 4 - склад ВМ; 5 и 6 - камеры депо; 7 - порожняковая ветвь;
- 8 - камера преобразовательной подстанции; 9 - грузовая ветвь;
- 10 - камера аккумулирующих бункеров; 11 - камера освещения резервуаров;
- 12 - камера ожидания; 13 - камера главного водоотвода;
- 14 - посадочная камера; 15 - камера центральной электроподстанции;
- 16 - водосборники

Рис. 3.18. Околоствольный двор

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

Вопросы для контроля:

1. Природно-техническая система.
2. Шахта, рудник, карьер, разрез, прииск, промысел.
3. Карьерное поле, горный и земельный отводы.
4. Подготовка поверхности карьера, горно-капитальные работы.
5. Эксплуатационные горные работы, реконструкция карьера и затухание горных работ.
6. Полезное ископаемое и пустые горные породы.
7. Морфология месторождений.
8. Форма месторождений.
9. Размеры и условия залегания месторождений.
10. Элементы залегания пластов.
11. Этапы добычи полезного ископаемого.
12. Подземная разработка месторождений.
13. Открытая разработка месторождений.
14. Физико-химическая разработка месторождений.
15. Морская добыча ПИ.
16. Запасы ПИ категории А.
17. Запасы ПИ категории В.
18. Запасы ПИ категории С₁.
19. Запасы ПИ категории С₂.
20. Балансовые, забалансовые и промышленные запасы месторождений.
21. Потери ПИ.
22. Разубоживание ПИ.
23. Вертикальные горные выработки.
24. Наклонные горные выработки.
25. Горизонтальные горные выработки.
26. Околоствольные дворы

4. ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

4.1. Общие понятия

Ранее было указано на три обязательных этапа освоения минеральных ресурсов недр:

- обеспечение доступа с земной поверхности к месторождению;
- приданье 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 объёме, 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 твёрдых полезных ископаемых доминирующее положение занимает первый вариант и ограниченное – второй и третий. Третий же вариант является основным для жидких и газообразных полезных ископаемых.

Подготовка горных пород к выемке производится в целях обеспечения безопасности горных работ, необходимого качества добываемого сырья и наилучших условия применения средств механизации последующих процессов. Она включает: обеспечение устойчивости откосов уступов; осушение горных пород, подлежащих извлечению; разупрочнение и изменение их агрегатного состояния; разрушение (разрыхление) породного массива и другие виды *воздействия на горные породы для облегчения их выемки*. Затраты на подготовку пород к выемке составляют от 5 до 40 % общих затрат на горные работы.

Выемка мягких, песчаных и естественно мелко разрушенных пород производится всеми видами выемочно-погрузочного оборудования. При этом подготовка совмещена с выемкой и производится одними и теми же средствами механизации.

Выемка плотных пород также может осуществляться непосредственно из массива выемочными машинами с повышенными усилиями копания. Или проводится *механическое рыхление или сотрясательное взрывание*.

Мёрзлые породы (две трети территории РФ расположено в зоне сурового климата) требуют рыхления или взрывания, поэтому подготовка горных пород к выемке в зимних условиях включает комплекс мероприятий по предотвращению промерзания пород, рыхлению мёрзлых пород и оттаиванию их.

Для предохранения пород от промерзания применяют вспашку, глубокое рыхление, утепление поверхности теплоизоляционными материалами (например, полигоны на россыпях осенью заливают слоем воды 1-1,5 м для создания ледяного покрова, снегозадержание, утепление опилками, пеной, минеральным войлоком и пр.), химическую обработку песчано-глинистых пород солями натрия или калия.

Вспашка, глубокое рыхление пород уменьшают теплопроводность пород благодаря образованию рыхлого слоя, что снижает глубину промерзания в 2-3 раза.

Оттаивание пород производится солнечной радиацией, электрообогревом, поверхностным пожогом, с помощью горячих газов, пара, воды и пр.

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

- взрывное разрушение;
- механическое 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 сказано 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

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

где τ – касательные напряжения на площадке сдвига; С – сила сцепления между отдельными частицами; k_t – коэффициент трения ($k_t = \operatorname{tg}\phi$); ϕ – угол внутреннего трения; N – нормальная сила.

4.2. Физико-механические свойства горных пород

По строению горные породы подразделяют на связные, сыпучие и плавучие. В связных породах минеральные частицы соединены между собой силами внутреннего сцепления. Сыпучие породы состоят из отдельных зёрен, не имеющих между собой связи. Некоторые сыпучие породы при насыщении их водой приобретают свойства текучести, образуя плавуны.

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, окремённые известняки и пр.); к неустойчивым – мягкие и рыхлые (глины, суглинки); к очень неустойчивым – сыпучие породы (песок, осьпи) и плавуны.

Строение и физические свойства горных пород обуславливают 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, водо-физических, прочностных и деформационных свойств пород. Существенное влияние эти свойства оказывают и на технологию проведения выработок.

Основными плотностными свойствами горных пород являются плотность, объёмная масса, удельный вес, объёмный вес, насыпная объёмная масса и пористость.

Под *плотностью породы* ρ понимают её массу в единице объёма за вычетом объёма пор, пустот и трещин. Плотность породы измеряют в кг/м³ (иногда т/м³).

Плотность каменных углей 1300-1500; песчаников, алевролитов, известняков – 2580-2800; магматических и метаморфических пород, в зависимости от содержания в них металла – от 2700 до 5000 кг/м³.

Объёмная масса горной породы ρ_o – это масса в её естественном состоянии без нарушения её пор, пустот и трещиноватости в единице объёма. Объёмная масса большинства пород находится в пределах от 1300 до 4500 кг/м³, т. е. от 1,3 до 4,5 т/м³. Объёмная масса каменных углей – 1300-1400; песчаников, алевролитов и аргиллитов – основных пород кровли и почвы пластов угля – 2400-2650 кг/м³. Объёмная масса глин, суглинков и других пород вблизи земной поверхности равна в основном 1700-2300 кг/м³.

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

Удельный вес горной породы γ – вес единицы объёма твёрдых частиц (минерального скелета) породы (Н/м³):

$$\gamma = g \rho,$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Объёмный вес породы ρ_o – вес единицы объёма породы в естественном состоянии (Н/м³).

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

Насыпная объёмная масса породы – масса разрыхленной породы в единице объёма. Её измеряют, как и объёмную массу ρ , в кг/м³. Насыпная объёмная масса ρ_n :

$$\rho_n = \rho / K_p;$$

где K_p – коэффициент разрыхления породы.

Насыпная объёмная масса каменных углей 900-1000, песчаников и алевролитов 1200-1400 кг/м³,

Пористость горной породы характеризует объём пустот, имеющихся в ней. Пористость определяется делением объёма пустот в породе на полный её объём 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 её *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. Её 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. Её оценивают количеством воды, поглощённой породой при полном её погружении в воду в условиях атмосферного давления. Водопоглощение прочных пород составляет 0,3-6 %, мягких слабосцепментированных 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 прочности породы под влиянием воды. Её 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, слабо набухающие – 4-10, средне набухающие – 10-15, сильно набухающие – 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 σ_p).

Горные породы характеризуются различной величиной прочности на сжатие, растяжение и сдвиг. Наибольшей прочностью обладают породы на сжатие, наименьшей – на растяжение. Предел прочности горных пород при сжатии в 5-35 раз больше, чем при растяжении. Прочность на сдвиг (срез) за-

нимает промежуточное положение между прочностью пород на сжатие и растяжение.

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 $\sigma_{сж} : \sigma_{сд} : \sigma_p = 1,0 : 0,3 : 0,1$. Прочность горных пород при объёмном 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 определённых условиях. По абразивности горные породы разделены на 8 классов.

Твёрдость – свойство горной породы сопротивляться проникновению в неё горного инструмента.

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

Пластичность – свойство пород изменять свою форму при сохранении объёма.

Хрупкость – способность горной породы разрушаться при незначительной пластической деформации.

Разрыхляемость – увеличение объёма породы при выемке её из массива. Оценивается коэффициентом разрыхления:

$$K_p = V_b/V_m;$$

где V_b – объем вынутой породы; V_m – объем породы в массиве (в целике).

Коэффициент разрыхления характеризует увеличение объёма породы при разрушении. Коэффициент разрыхления угля составляет 1,2-1,4; осадоч-

ных 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 неё 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). Существуют классификации горных пород по буримости.

4.3. Разрушение горных пород взрывом

Взрывной способ разрушения горных пород универсален и является наиболее распространенным – 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 высокоскоростном разложении которых высвобождающаяся энергия взрыва отделяет от массива определенный объём породы и осуществляет его дробление. Чтобы осуществить взрывное разрушение горных пород, необходимо иметь три составляющих:

- зарядную полость для размещения заряда;
- собственно заряд взрывчатого вещества;
- средства взрывания (устройства для возбуждения химической реакции разложения во взрывчатом веществе).

Рассмотрим каждую из этих составляющих немного подробнее.

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

По особенностям зарядной полости в зависимости от её формы, размеров и расположения различают следующие способы ведения взрывных работ: накладными (наружными), шпуровыми, скважинными, и камерными зарядами.

Накладные (наружные) 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.

Шпур – 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 горизонтальными, наклонными, вертикальными (нисходящими и восходящими).

Скважинный способ взрывных работ применяют при массовой отбойке руды в блоках мощных тел, а также на открытых горных работах для разрушения пород в уступах. *Взрывная скважина* – горная выработка цилиндрической или иной формы глубиной более 5 м и диаметром выше 75 мм, пройденная в породе одним из способов бурения. Скважины, как и шпуры, могут быть горизонтальными, наклонными, вертикальными (на открытых горных работах обычно нисходящими).

Метод камерных зарядов применяют на подземных горных работах для погашения потолочин и днищ рудных блоков, используя существующие в них выработки для размещения зарядов ВВ, масса которых может достигать нескольких тонн и даже десятков тонн. На дневной поверхности такие заряды применяют для осуществления массовых взрывов на сброс и выброс в транспортном и гидротехническом строительстве. С этой целью проводят специальные горные выработки (шурфы или штолни), из них проходят камеры, в которых размещают сосредоточенные заряды взрывчатого вещества массой в сотни и тысячи тонн.

Процесс проведения шпуроразработок называют бурением; весь комплекс этих работ, включая все вспомогательные, – буровыми работами, а машины, применяемые для бурения, – буровыми машинами.

На современном этапе развития буровых работ применяют несколько основных способов бурения: ударный, врашательный, ударно-врашательный, шарошечный, а также – в небольших объемах – термический (огневой).

При *ударном бурении* буровой инструмент наносит удар по забою шпуроразработки или скважины и образует в нём соответствующей формы углубление – вруб. При последующих ударах буровой инструмент, будучи повёрнут после каждого удара на некоторый угол, постепенно разрабатывает всё сечение шпуроразработки или скважины.

При *врашающем бурении* буровой инструмент непрерывно вращается вокруг своей оси, совпадающей с осью шпуроразработки или скважины, и одновременно подается на её забой. При этом лезвие бура скальвает или срезает с поверхности забоя тонкий слой породы.

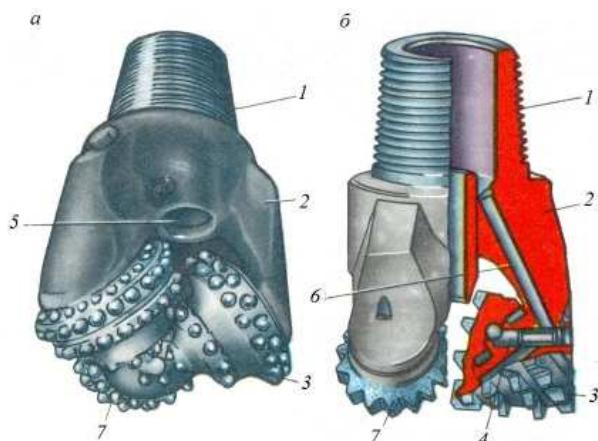
Кроме ударного и врашательного различают еще *ударно-врашательный* и *врашательно-ударный* способы бурения, характеризуемые одновременным врашающим и ударным действием бурового инструмента. Однако при первом из них осевое усилие и крутящий момент на лезвии инструмента настолько малы, что не имеют существенного значения, и разрушение породы осуществляется

ляется, как и при ударном бурении, только за счёт ударного действия инструмента. При втором же способе разрушение породы производится главным образом также за счёт ударов, но сообщаемых породе, когда она находится под значительным напряжением от больших окружных и осевых усилий на лезвии инструмента. Поэтому эффективность вращательно-ударного бурения увеличивается. На рис. 4.1. показаны станки вращательно-ударного бурения в карьере.



Рис. 4.1. Станки вращательно-ударного бурения в забое

При *шарошечном бурении* скважин инструментом является долото, имеющее несколько, чаще всего три, лап с пальцами-осями, на которых насыпаны и вращаются на опорах с подшипниками качения конические стальные шарошки с выфрезерованными в них зубьями. Для наиболее крепких и абразивных пород конуса шарошек вместо зубьев снабжены цилиндрическими вставками – штырями из металлокерамических твердых сплавов типа ВК, запрессованными в тело шарошек (рис. 4.2).



Трехшарошечное долото: а - гидромониторное; б - с продувкой опор воздухом;

1 - наружное конусное соединение; 2 - секция (лапа) долота; 3 - шарошка;
4 - опора долота; 5 - гидромониторный канал; 6 - канал для продувки опоры
воздухом; 7 - зубья шарошек

Рис. 4.2. Шарошечные долота

При вращении долота шарошки обкатываются по забою скважины и при этом наносят удары своими зубьями или головками штырей.

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 (рис. 4.3) 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 сжатым воздухом или воздушно-водяной смесью, подаваемыми к забою по буровым штангам через специальные отверстия в теле шарошечного долота.

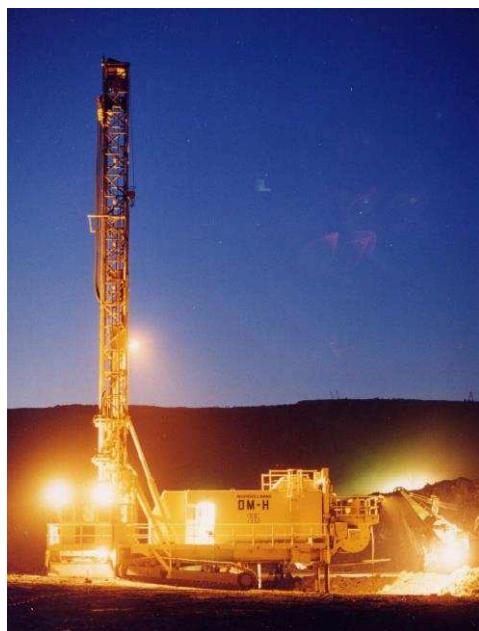


Рис. 4.3. Станок шарошечного бурения для открытых горных работ

Сущность *термического (огневого) бурения* состоит в разрушении горной породы высокотемпературной (2200°C) газовой струёй, истекающей на забой скважины из реактивной горелки, в которой сгорают керосин и окислитель (обычно сжатый воздух). Продукты сгорания имеют скорость до 1800 м/с, они передают тепло породе, которая сильно нагревается в тонком слое, поскольку имеет низкую теплопроводность. Этот тонкий слой породы увеличивается в

объёме и отделяется от массива. Горелка термобура вращается, по её периферии на забой подается вода, которая резко охлаждает породу, вызывая её дополнительное растрескивание, отделённые кусочки породы выносятся из скважины парогазовой струёй.

Пока опыта такого бурения есть только на открытых работах, для которых выпускаются станки типа СБО-160/20. Но применение этого способа бурения пока находит только в очень ограниченном круге кварцодержащих горных пород.

Широкое распространение на железорудных карьерах получила комбинированная технология – бурение скважин шарошечным долотом диаметром 215-245 мм с последующим расширением термическим способом заряжаемой части скважин до диаметра 400-500 мм. Это позволило существенно расширить диапазон термического бурения в сторону средне- и труднобуримых пород, поскольку наличие обнажённой поверхности позволяет "шелушить" очень многие породы. Объём механического бурения снижается на 25-50 %, выход горной массы с 1 м скважины возрастает на 30-60 % за счёт расширения сетки скважин. Производительность по терморасширению составляет 12-15 м/ч, втрое превышая показатели термобурения. Выпускаются специальные станки типа СБТ, снабжённые буровым и термическим ставами, что позволяет им пробуренную шарошечным долотом диаметром 245 мм скважину расширить термобуром до диаметра 400-600 мм на высоту заряда (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Станок термошарошечного бурения типа СБТ

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 (десяткты 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 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{KO}_2)_3\text{CH}_3$ и др.) или механические смеси (аммонит, динамит и др.).

Скорость взрывчатого разложения измеряется сотнями и тысячами метров в секунду. Так, аммониты разлагаются со скоростью 2000-3000 м/с, нитроглицерин – 8400 м/с, а дымный порох – 400-800 м/с. 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 выраженным дробящими свойствами – *брязгатые*. В отличие от бризантных, ВВ с относительно низкой скоростью разложения (например, порох) называют *метательными*.

Бризантность ВВ измеряется в миллиметрах по величине сжатия цилиндра из рафинированного свинца определённых размеров при взрывании на нём навески в 50 г ВВ (рис. 4.5).

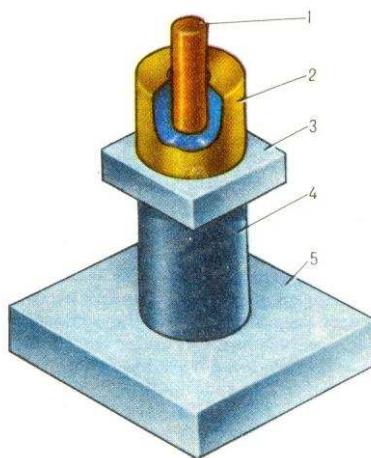


Рис. 4.5. Определение бризантности ВВ (проба Гесса):

1 – электродетонатор; 2 – заряд испытуемого ВВ; 3 – стальная пластина;
4 – свинцовый цилиндр; 5 – стальная плита-основание

Работоспособность ВВ устанавливают взрыванием 10 г испытываемого ВВ в канале свинцового цилиндра. Величина приращения объёма 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 ($\text{г}/\text{см}^3$); чем больше плотность ВВ, тем выше его эффективность, т. к. зарядная полость 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 при хранении;

4) чувствительность, определяемая величиной внешней энергии, необходимой для возбуждения 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, зажжённый 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 компонентов ВВ. При избытке кислорода (положительный кислородный баланс) или его недостатке (отрицательный кислородный баланс) образуется повышенное количество вредных газов (окислов азота или окиси углерода).

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

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

Нитроароматические ВВ.

Тротил (тол или тринитротолуол) – кристаллический порошок жёлтого цвета. Тротил малочувствителен к внешним воздействиям, водоустойчив, обладает хорошей химической стойкостью. Он относится к сильным бризантным ВВ. В чистом виде тротил применяют на открытых работах для заряжания обводнённых скважин, его используют также 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 взрыва.

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 свойствами и низкой чувствительностью. Аммиачная селитра гигроскопична, при хранении слёживается (уплотняется); выпускается в виде порошка, гранул или чешуек. При определенных способах приго-

тования (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, количество которого может быть от 5 до 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.

2. *Граммониты* – крупнодисперсные смеси аммиачной селитры с тротилом (до 30 %).

3. *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.

4. *Эмульсионные ВВ* – смесевые текучие ВВ на основе эмульсии аммиачной селитры в масле. Обладают повышенной безопасностью, водостойкими, могут заряжаться под столб воды. Изготавливаются как на месте применения, так и на заводах в патронированном виде.

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 консистенцией густого теста, способную заполнять взрывные камеры и вытеснять из них воду.

6. *Акваниты* не имеют явно выраженной текучести, содержат 4-10 % воды, их консистенция зависит от температуры: по мере охлаждения акваниты густеют.

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

Промышленные ВВ по применению делят на следующие классы.

I класс – непредохранительные ВВ для взрыва на земной поверхности (белый цвет оболочки патронов или полосы на упаковке): гранулотол, алюмотол, гранитол марок 1 и 7А, гранулит С-6М;

II класс – непредохранительные ВВ для взрыва 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 бЖВ, 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 предохранительности 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.

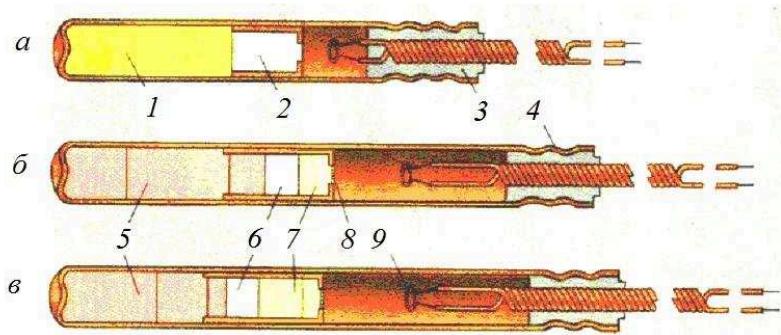
В угольных шахтах, опасных по взрыву газа и пыли, применяют предохранительные ВВ III-VII классов в виде патронов диаметром 36-38 мм.

Заряд ВВ инициируют взрывом небольшого по величине заряда инициирующего ВВ, получающего внешний тепловой импульс. Инициирующие ВВ обладают большой мощностью, высокочувствительны к нагреву и механическим воздействиям. Совокупность принадлежностей, предназначенных для инициирования зарядов ВВ, называется средствами инициирования (СИ) или средствами взрывания (СВ). Совокупность ВВ и СИ называют взрывчатыми материалами (ВМ).

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.

По времени срабатывания различают электродetonаторы мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия. Замедление достигается размещением между капсюлем-детонатором и электровоспламенителем специального состава, горящего с заданной скоростью без выделения газов.

Капсюли-детонаторы, непосредственно соединенные с электровоспламенителем, называются электродетонаторами мгновенного действия (рис. 4.6). Взрывание зарядов при помощи таких ЭД марок ЭД-8Ж, ЭД-1-8Т, если они включены в общую сеть, происходит одновременно и мгновенно.



**Электродетонаторы мгновенного (а),
короткозамедленного (б) и замедленного (в) действия:**

1 - заряд тетрила; 2 - гремучая ртуть; 3 - пластиковая пробка;
4 - гильза; 5 - тэн; 6 - азид свинца; 7 - замедляющий состав;
8 - сетка; 9 - электровоспламенитель

Рис. 4.6. Электродетонаторы

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

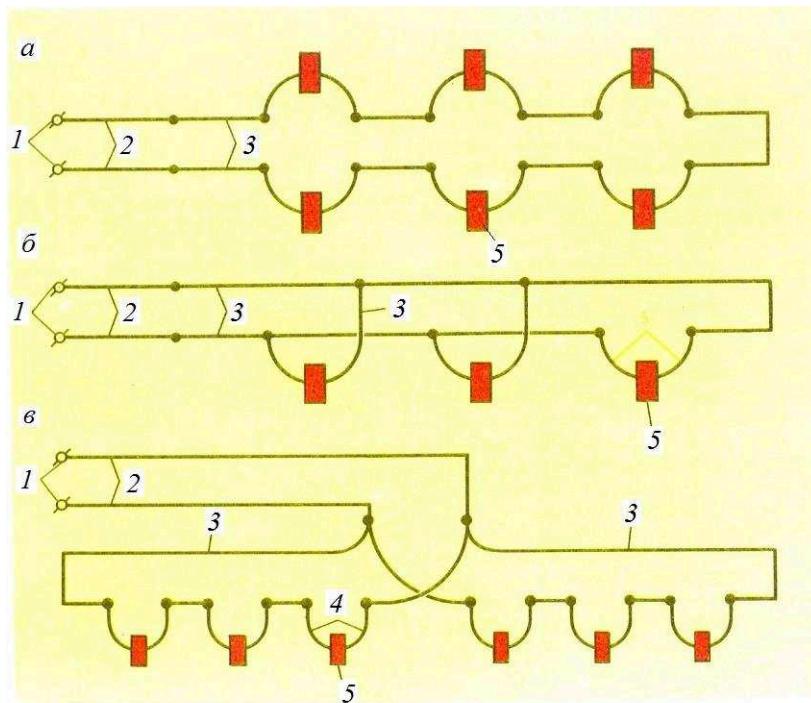
В шахтах, опасных по газу и пыли, допускается только электрическое взрывание зарядов с предохранительными электродетонаторами мгновенного и короткозамедленного действия ЭД-КЗ-ОП ЭД-КЗ-П, ЭД-КЗ-ПМ. Предохранительные свойства электродетонаторов достигаются нанесением на гильзу ЭД слоя пламегасителя.

При электрическом взрывании источниками тока являются конденсаторные взрывные машинки КПВ-1/100М, КПМ-3, ПИВ-100М (рис. 4.7, а) или электрический ток напряжением 220-380 В, который подают через специальную взрывную станцию (рис. 4.7, б).



Рис. 4.7. Источники тока взрывной сети

При электрическом способе взрывания зарядов монтируют взрывные сети, которые по способу соединения электродетонаторов подразделяются на последовательные, параллельные и смешанные (рис. 4.8).



Схемы электровзрывной сети:

а - последовательная; б - параллельная; в - смешанная;

1 - источник тока; 2 - магистральный провод; 3 - участковые провода;
4 - концевые провода; 5 - электродетонатор

Рис. 4.8. Схемы электровзрывной сети

В забоях подготовительных и очистных выработок применяют последовательное соединение. Более предпочтительным с точки зрения предотвращения отказов является параллельно-последовательное соединение ЭД. До присоединения к взрывной сети провода электродетонаторов замкнуты накоротко.

Безопасное взрывание зарядов осуществляется *детонирующим шнуром* (ДШ), представляющим собой шнур из переплетённых нитей или пластиковой трубы с сердцевиной из высокобризантного ВВ. Взрывается ДШ от электродетонатора и предназначен для передачи детонации от ЭД к заряду ВВ или от заряда к заряду. Скорость детонации ДШ около 6,5 км/с, потому взрывание зарядов происходит практически одновременно.

В последнее время появились принципиально новые, более эффективные и безопасные системы инициирования зарядов (Нонэль, ИСКРА). Эти системы основаны на замене ДШ с сердцевиной из ВВ на волноводы в виде пластиковой трубы с напылённым на внутреннюю поверхность слоем взрывного вещества (рис. 4.9, а), концы которой запаяны на заводе с одной стороны, а с другой закрыты соединительными блоками (рис. 4.9, б), что обеспечивает герметичность волновода.

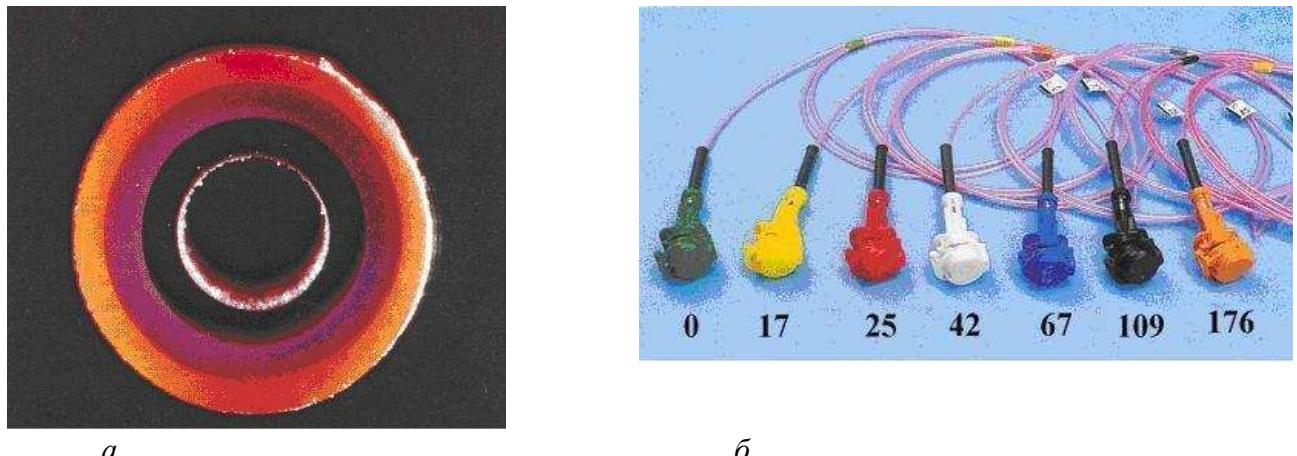


Рис. 4.9. Система неэлектрического взрыва Нонель

При возбуждении детонации в этом слое вдоль осевой линии трубы создается максимум давления, температуры и энергии, достаточный для инициирования заряда детонатора. На стенке же трубы температура и давление почти не возрастают, она не разрушается, что обеспечивает высокую безопасность.

4.4. Механическое разрушение горных пород

Под механическим разрушением горных пород принято понимать технологическое отделение от массива и разделение на куски твёрдого вещества литосферы за счёт использования механической энергии.

В современной горнодобывающей индустрии механическое разрушение горных пород производится за счёт 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 вследствие 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 инструмента осуществляется только при его возвратном движении, поэтому такие машины иногда называют ударно-поворотными.

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

Бурение шарошечными долотами может быть отнесено к ударному способу, 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 одноковшовыми экскаваторами типа прямая и обратная лопата (рис. 4.10), многоковшовыми экскаваторами непрерывного действия (рис. 4.11), а также комбайнами на открытых и подземных горных работах и стругами при добыче горючих полезных ископаемых – углей и горючих сланцев.

*a**b*

Рис. 4.10. Одноковшовые экскаваторы типа прямая (*a*) и обратная (*b*) лопата

*a**b*

Рис. 4.11. Многоковшовые экскаваторы непрерывного действия:
a – роторный, *b* – цепной

В мировой практике открытых горных работ большое распространение имеют роторные экскаваторы, позволяющие обеспечивать большие усилия компании и отрабатывать высокие уступы. Эти экскаваторы отличаются высоким КПД, относительно небольшим износом элементов рабочего оборудования,

универсальностью. Производительность их колеблется от 200 до 19000 м³ /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 до 6000 м³ /ч.

На открытых горных работах для послойной разработки горных пород с прочностью на сжатие до 40 Мпа используются бульдозеры (рис. 4.12, а) и скреперы (рис. 4.12, б), причём последние применяют с последующим транспортированием и укладкой этих пород в навалы.



а



б

Рис. 4.12. Бульдозер (а) и скрепер (б)

Для облегчения послойной разработки горных пород широко используются специализированные машины для механического рыхления горных пород резанием. Рыхлители на базе мощных промышленных тракторов (рис. 4.13, а) и гидравлических экскаваторов (рис. 4.13, б) применяются для безвзрывной подготовки к выемке и погрузке разрабатываемых горных пород с пределом прочности на сжатие до 90 МПа, а также мёрзлых и трещиноватых скальных пород.



а



б

Рис. 4.13. Навесной рыхлитель на трактор (а) и экскаватор (б)

В последние годы расширяется применение рыхлителей (рис. 4.14, а) и комбайнов (рис. 4.14, б) на базе разрушающих органов фрезерного типа.



Рис. 4.14. Фрезерные рыхлитель (*а*) и комбайн (*б*)

Достаточно широко применяется механическое разрушение горных пород в процессе вторичного дробления крупногабаритных кусков, образующихся при взрывном дроблении горного массива. Для этих целей в крановых бутояях используют энергию удара падающего груза массой до 3-5 т.

Для дробления негабарита созданы также различные типы пневматических и гидропневматических бутоев, выполняемых либо как стационарные установки на перегрузочных пунктах, либо как навесное оборудование к экскаваторам (рис. 4.15).



Рис. 4.15. Бутобой на базе гидравлического экскаватора

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 – характеристика сопротивления, оказываемая углём 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 пласти 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 энерговооружённостью; 2,4-3,6 – для очистных комбайнов высокой энерговооружённости.

Механическое разрушение при добыче угля осуществляется исполнительным органом очистного комбайна в виде шнека со вставными зубками для разрушения угольного массива (рис. 4. 16, а). 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 (рис. 4. 16, б). Угольный комбайн как выемочная машина состоит из электродвигателя, подающей части, исполнительного органа, погрузочного устройства и других узлов.



а



б

Рис. 4.15. Комбайновый выемочный комплекс на выставке (а) и в забое (б)

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 объёмного 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 отечественной 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 (рис. 4.17).

*a**b*

Рис. 4.17. Проходческий комбайн на выставке (*a*) и в забое (*b*)

Гидравлическое разрушение горных пород основано на использовании кинетической энергии струи воды, выбрасываемой из гидромонитора и по сути своей относится и гидравлическому разрушению. 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 (рис. 4.18) 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.



Гидромониторная разработка олова в КНР

Рис. 4.18. Разработка рыхлых пород гидромонитором

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 счёт 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 обнадёживают технологов своими дальними перспективами, но не дают оснований для разработки полупромышленных и тем более промышленных установок.

Вопросы для контроля:

1. Воздействие на горные породы для облегчения их выемки: предотвращение промерзания пород, оттаивание мерзлых пород.
2. Подразделение по степени устойчивости руд и вмещающих пород на группы.
3. Основные плотностные свойства горных пород.
4. Воднофизические свойства горных пород.
5. Прочностные свойства горных пород.
6. Технологические свойства горных пород.
7. Способы ведения взрывных работ.
8. Способы бурения взрывных скважин.
9. Взрывчатые вещества и их характеристики.
10. Средства взрывания и их характеристики.
11. Механическое разрушение горных пород при ударном и врачательно-ударном бурении.
12. Механическое разрушение горных пород при разработке экскаваторами и комбайнами.
13. Механическое разрушение горных пород рыхлителями.
14. Механическое разрушение горных пород бульдозерами и скреперами.
15. Гидравлическое разрушение горных пород.

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 ещё 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 объёма пустых пород посредством мускульного труда было слишком трудоёмким 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 оснащённость карьеров была низкой – преобладали ручная погрузка и конная откатка грузов (рис. 5.1). Горное машиностроение было развито слабо. Путиловский завод, единственный в России изготавливший экскаваторы, выпустил их всего 25 штук. Они были громоздкие, малопроизводительные, с паровым приводом и на железнодорожном ходу.

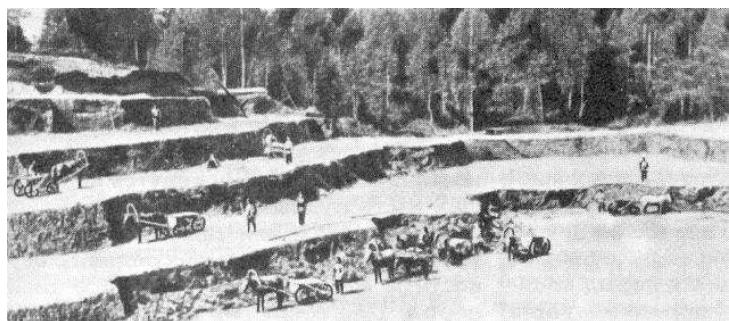


Рис. 5.1. Открытые разработки на Урале в 19 в.

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 более 20 м³, думпкары грузоподъёмностью 180 т, автосамосвалы грузоподъемностью 180-320 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 и более. Высота уступа увеличилась с 7 до 40 м. Широкое применение получили бесперевозочные и транспортно-отвальные технологические схемы, повысилась интенсивность отработки (углубка карьеров достигает 15-20 м/год), возросла производственная мощность карьеров.

В настоящее время открытыми работами в России добывают более $\frac{2}{3}$ 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 изменённых 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. Т. е. зона техногенного разрушения литосфера 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 её пород, то общая модель техногенно изменённых 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, залегающие 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. Соответственно различают виды открытых горных разработок: поверхностный, глубинный и нагорный, а также подводный (рис. 5.2).

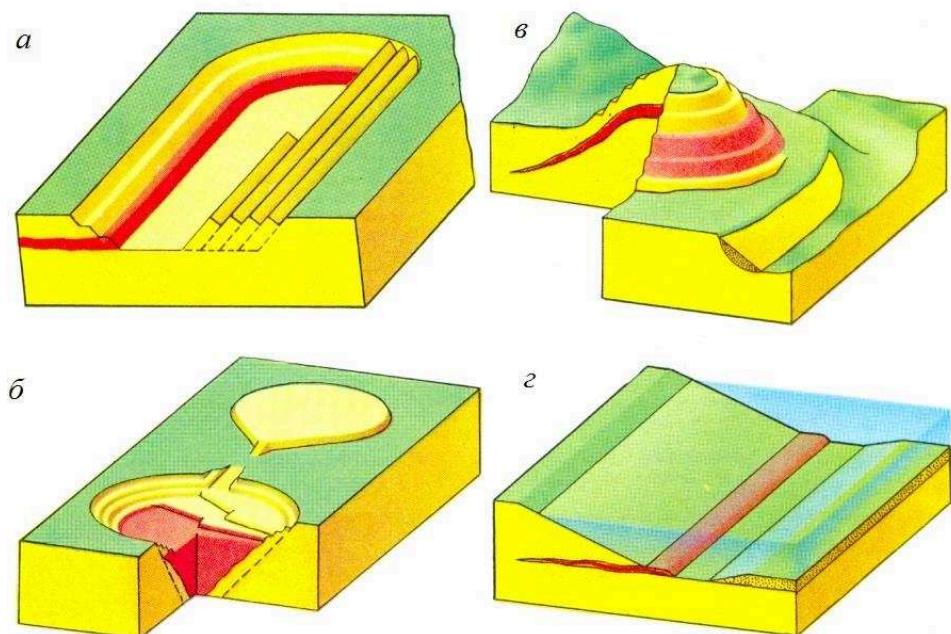


Рис. 5.2. Виды открытых горных разработок:
а – поверхностный; б – глубинный; в – нагорный; г – подводный

По углу наклона к горизонту различают следующие залежи: горизонтальные или слабонаклонные – до $10\text{--}15^{\circ}$; 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 (рис. 5.3). Угольные карьеры обычно называют *разрезами*.



Рис. 5.3. Панорама глубокого карьера

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.

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.

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 (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Основные элементы уступов и технологии ведения горных работ

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

Угол наклона уступа α к горизонтальной плоскости называется углом откоса уступа. Угол откоса рабочих уступов обычно равен $45-60^0$, а нерабочих – $65-80^0$.

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

Подготовка фронта работ заключается в подводке транспортных путей (железных дорог или автодорог) и линий 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 объёма пустых пород к объёму или весу добываемого полезного ископаемого ($\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{т}$).

Различают следующие коэффициенты вскрыши (рис. 5.5):

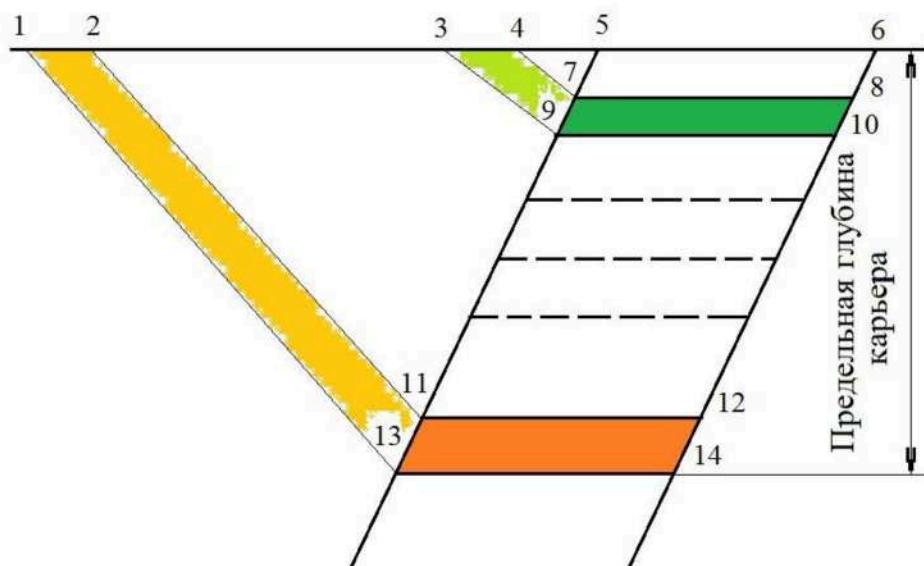


Рис. 5.5. Схема к определению коэффициента вскрыши

Средний – отношение общего объёма пустых породы в конечных контурах карьера или его части к запасам полезного ископаемого в тех же границах:

$$K_{cp} = \frac{\text{Объём } 1-5-13}{\text{Объём } 5-6-13-14}$$

частные значения среднего коэффициента вскрыши:

$$K_{cp1} = \frac{\text{Объем } 3-5-9}{\text{Объем } 5-6-9-10}$$

или

$$K_{cp2} = \frac{\text{Объем } 2-5-11}{\text{Объем } 5-6-11-12}$$

Контурный – отношение объема пустых пород, которые необходимо удалить для добычи руды в контурах того или иного горизонта, к запасам руды на этом горизонте:

$$K_k = \frac{\text{Объем } 3-4-7-9}{\text{Объем } 7-8-9-10}$$

С увеличением глубины разработки величина контурного коэффициента вскрыши возрастает.

Граничный (предельный) коэффициент вскрыши для расчётного предельного горизонта карьера практически составляет:

$$K_{pr} = \frac{\text{Объем } 1-2-11-13}{\text{Объем } 11-12-13-14}$$

Текущий (K_t) – отношение объёма вскрышных пород, фактически перемещаемых в течение месяца, квартала, полугодия, года, к фактически добывающему за этот период объёму полезного ископаемого.

Эксплуатационный (K_e) – расчётное отношение объёма вскрышных пород к объёму полезного ископаемого за период эксплуатационных работ в карьере. Иногда его называют средним эксплуатационным. Он служит критерием для горных работ и расчётов потребного количества горного и транспортного оборудования за период эксплуатации.

Коэффициент вскрыши изменяется в широких пределах – от 0,9 до 15 м³/т и более, достигая на алмазных месторождениях 60 м³/т.

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

$$K_{pr} = \frac{C_p - C_o}{C_v}$$

где C_p – себестоимость 1 м³ руды из подземных работ; C_o – себестоимость добычи 1 м³ руды из открытых работ (без учёта вскрышных работ); C_v – стоимость удаления 1 м³ 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 разработ-

ку. В этом случае целесообразно увеличение глубины карьера по сравнению с расчётной. В условиях селективной выемки или при добыче ценных руд открытые работы также предпочтительнее и могут вестись ниже границы, определённой расчетом. В районах с суровым климатом и значительным выпадением снега, напротив, может быть целесообразно уменьшение глубины карьера.

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 ценностью реализуемой товарной продукции и затратами на её производство.

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

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

$$C = C_o + K_s C_v;$$

где C_o и C_v – соответственно затраты на 1 т добычи и вскрыши, руб.; K_s – 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 поверхностного и подземного стоков. Освоение новых месторождений или очередных участков карьерного поля начинается с *подготовки поверхности*, заключающейся в проведении специальных, часто дорогостоящих и крупных инженерных работ по отводу рек, иногда озёр, вырубке леса и корчеванию пней, ограждению карьерного поля от стока поверхностных вод посредством сети дренажных канав. Проводится удаление и складирование для последующего использования почвенного слоя, создание специальных площадок для монтажа оборудования, сооружение первичных подъездных автомобильных или железных дорог к горным участкам и отвалам.

Одновременно выполняются работы по *осушению породного массива* в пределах карьерного поля и, в необходимых случаях, работы по укреплению прибрежных участков массива от оползания и обрушения.

В *строительный* период входят работы по вскрытию месторождения, созданию начального фронта вскрышных и добывочных работ, строительству транспортных коммуникаций. После выполненных полностью или частично

работ по подготовке поверхности и осушению месторождения *приступают к горно-капитальным работам (ГКР)*, включающим удаление покрывающих пород, созданию капитальных и разрезных траншей, котлованов и насыпей, позволяющих начать систематическое производство вскрышных и добычных работ в строгом соответствии с проектом. ГКР в период строительства карьера до сдачи его в эксплуатацию, называют горно-строительными работами. К ним относят работы по попутной добыче и комплекс работ по сооружению транспортных коммуникаций.

Эксплуатационный период охватывает горные работы по вскрыше и добыче в пределах плановых объемов выемки горной массы. *Эксплуатационные горные работы* включают вскрышные работы по выемке и перемещению в отвалы пустых пород и некондиционных руд с созданием подготовленных к разработке и вскрытых запасов полезного ископаемого и добычные работы по выемке и доставке полезного ископаемого на склады или потребителю. В состав эксплуатационных входят работы по зачистке вскрытых запасов полезного ископаемого, устройству транспортных коммуникаций, проведению очередных участков разрезных траншей на вскрытых уступах для увеличения длины фронта добычных и вскрышных работ и работы по развитию отвального хозяйства.

После сдачи карьера в эксплуатацию с неполной проектной мощностью все горные работы относятся к эксплуатационным или, наряду с эксплуатационными, продолжают выполнять ГКР на очередных участках карьерного поля. По мере увеличения длины фронта горных работ и подготовленных к разработке запасов сдаются в эксплуатацию следующие очереди карьера. Период от сдачи карьера в эксплуатацию до достижения им проектной мощности называют *периодом освоения проектной мощности карьера*.

Работы по созданию вскрывающих и разрезных горных выработок называют горно-подготовительными.

При установлении дополнительных разведочных данных о месторождении и переутверждении запасов полезных ископаемых или при переходе от одного этапа горных работ к другому по проекту возникает необходимость в *реконструкции карьерного хозяйства* с заменой горного и транспортного оборудования, реконструкцией вскрывающих выработок и отвалов и изменением производственной мощности карьера. Работы по реконструкции относятся к ГКР и осуществляются по специальным проектам.

Заключительной стадией разработки месторождения, обычно связанной с истощением запасов или переходом на подземный способ из-за большой глубины, является *период затухания (погашения) горных работ*, продолжающийся несколько лет. Этот период включает и 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 вы-

емке, погрузке и перемещении полезного ископаемого к месту приёмки. В результате вскрышных и добычных работ образуется выработанное пространство карьера как система выработок.

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. 5.6 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.

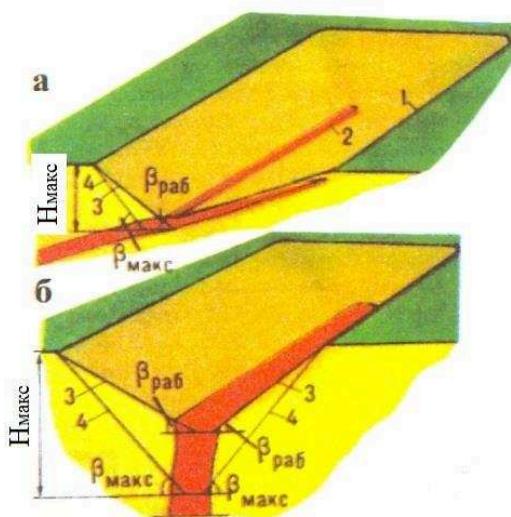


Рис. 5.6. Этапы развития открытых горных работ при разработке пологих (а) и крутопадающих (б) залежей:

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

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 создаваться земли, пригодные для сельского и лесного хозяйства, организации отдыха, устройства водоёмов, 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 приёмными пунктами на поверхности.

Рабочими горизонтами в карьере являются рабочие площадки уступов. Приёмные устройства на поверхности – обогатительные фабрики, перегрузочные бункеры, склады, отвалы или электростанции. Траншеи и съезды оборудуются транспортными путями для соответствующих средств 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 попечечное сечение. При разработке неглубоких горизонтальных или пологих месторождений при числе уступов не более трёх 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.

Если при разработке горизонтальных месторождений вскрывают сразу все горизонты и работы по вскрытию заканчиваются в период строительства карьера, то при разработке наклонных и крутопадающих месторождений 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. 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 $i = \operatorname{tg} \alpha$ связаны отношением

$$L = H/i$$

Угол α показывает наклон дна траншеи к горизонтальной плоскости. Уклон определяется видом транспорта, поэтому 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 подъёмников 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 проходит 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 её 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* (рис. 5.7).

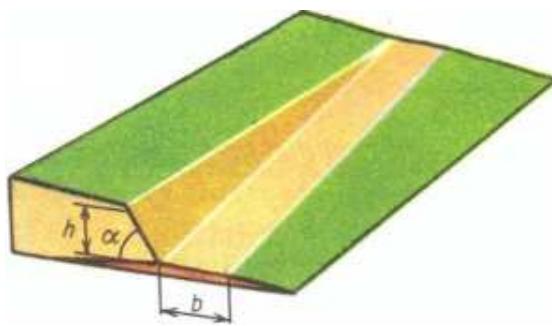


Рис. 5.7. Капитальная полутраншея

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. 5.8, а). 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, 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 (рис. 5.8, б). Широкие траншеи экскаватор проходит за два хода, размещая породу вначале на одну сторону траншеи, а затем на другую сторону (рис. 5.8, в). 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.

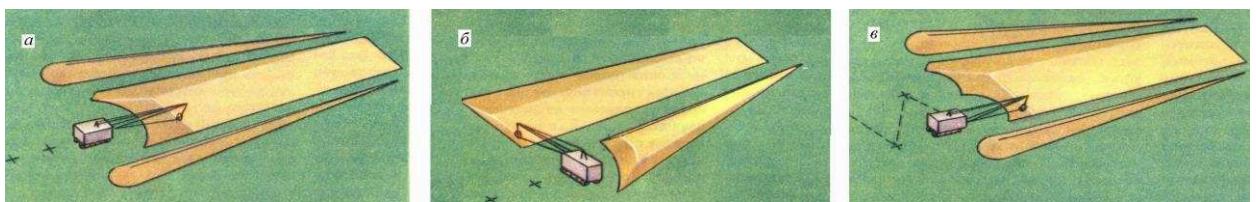


Рис. 5.8. Бестранспортные способы проходки капитальных траншей

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. 5.9 показана проходка траншеи сплошным забоем с нижней и верхней погрузкой породы в железнодорожные вагоны.

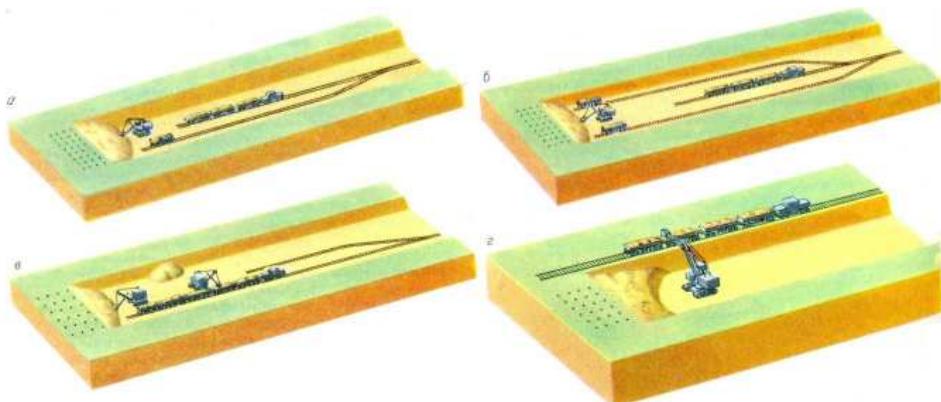


Рис. 5.9. Проведение разрезной траншеи в скальных породах прямой лопатой с железнодорожным транспортом:

а – с подачей думпкаров в один тупик; б – с подачей думпкаров в два тупика; в – с погрузкой думпкаров в одном тупике двумя экскаваторами; г – с верхней погрузкой экскаватором с удлинённым оборудованием

После взрывания горная масса экскаватором грузится в вагон. Так как забой тупиковый, то экскаватором можно загрузить только один вагон, после чего состав отходит от забоя за стрелку и электровоз подает вагоны в тупик, 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 по мере проходки траншеи переносят ближе к забою.

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 манёврами транспорта, не позволяет обеспечить высокую скорость проходки траншей. Коэффициент использования экскаватора и скорость проходки можно повысить, если вести проходку траншей сплошным забоем с верхней погрузкой породы вскрышным экскаватором. Рельсовый путь укладывают на одном из бортов траншеи, и при загрузке состава вагоны не расцепляют (рис. 5.9, *г*). 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. Применение автотранспорта при этом способе на 20-30 % снижает простоя 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. 5.10, *в*).

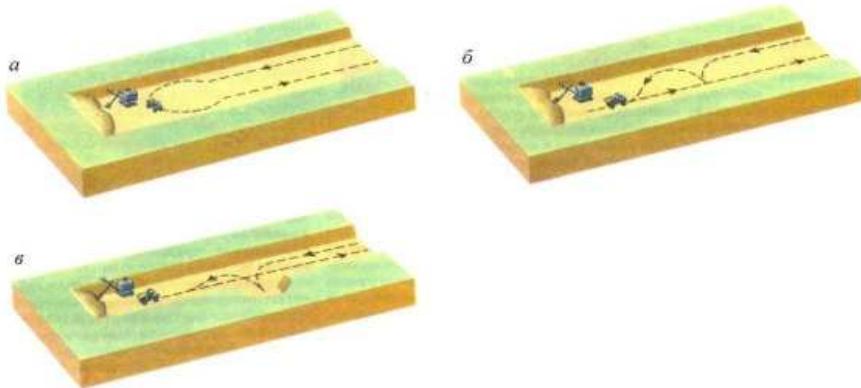


Рис. 5.10. Проведение разрезной траншеи прямой лопатой с автомобильным транспортом:
а – с кольцевым разворотом; б – с тупиковым; в – с разворотом в нише

В комбинированных технологических схемах проходки капитальных траншей используют сочетания вариантов из первых двух групп.

Траншеи можно проходить многоковшовыми экскаваторами, колёсными 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 (рис. 5.11, а), когда траншеи располагают за предельным контуром карьера, и внутренними траншеями, когда траншеи размещены внутри контуров карьера (рис. 5.11, б).

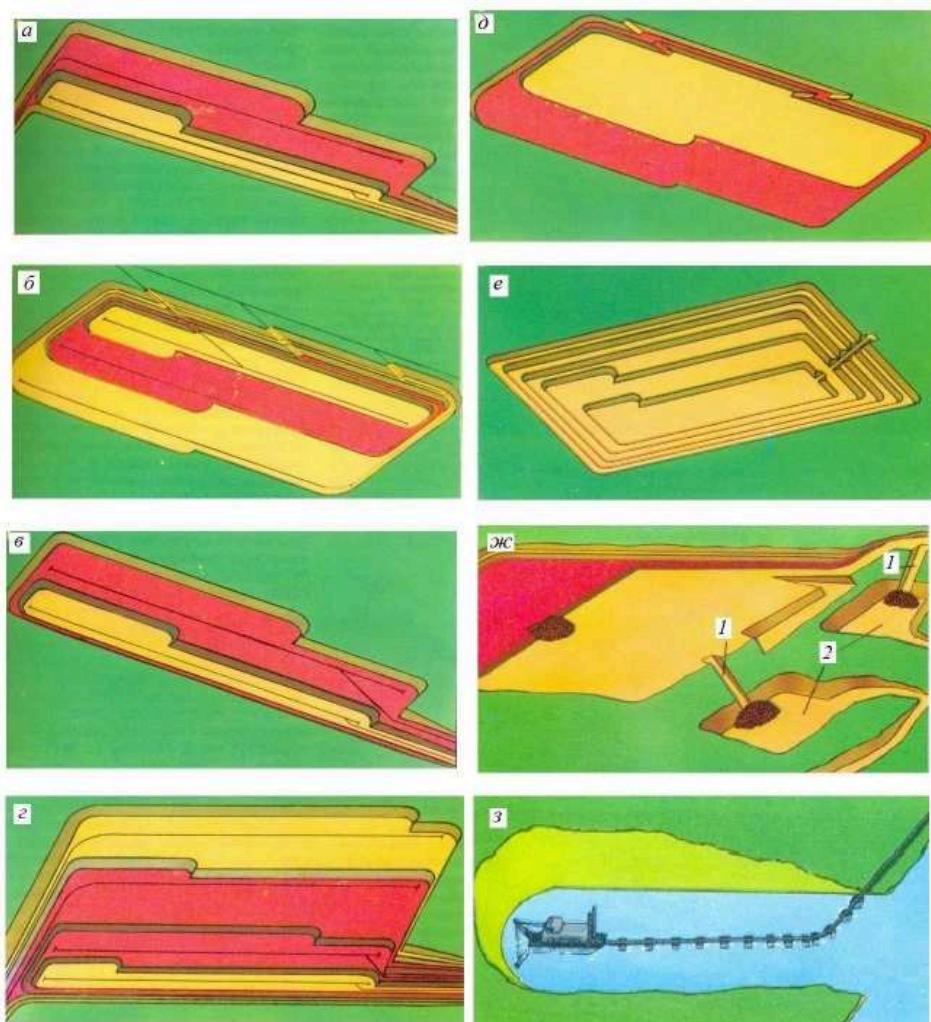


Рис. 5.11. Вскрытие карьерного поля:
а – внешними траншеями; б – внутренними траншеями; в – общей траншеей;
г – групповыми траншеями; д – парными траншеями; е – крутой траншеей;
жс – рудоскатами; ж – траншеей-каналом

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 траншееей (рис. 5.11, *а*). Способ обеспечивает независимость транспортирования породы с каждого горизонта, но отличается высоким объёмом проходческих работ, т. к. с увеличением глубины вскрываемого горизонта объём 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 объём выработок (полутраншей) уменьшается.

Для уменьшения объёма работ по вскрытию применяют вскрытие общими (или групповыми) внешними траншеями (рис. 5.11, *г*). 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 – добывчные.

Вскрытие внутренними траншеями позволяет значительно сократить объем породных работ вследствие расположения траншей внутри контуров карьера (рис. 5.11, *б*). 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 вскрывающие траншеи располагают на нерабочем борту карьера во взаимно обратных направлениях. Каждый съезд на рабочем горизонте заканчивается тупиковой площадкой, на которой состав при спуске или подъёме меняет направление своего движения. 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 манёвры подвижного состава на тупиковых площадках.

При вскрытии спиральными съездами их располагают в виде спирали по рабочему и нерабочему бортам карьера. Вскрытие спиральными съездами позволяет упростить манёвры транспорта и тем самым увеличить его производительность. Однако потребность больших радиусов закруглений железнодорожных путей (до 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. 5.12).

Вследствие более жёстких условий применения и более сложной организации добывчных 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 (рис. 5.11, *e*).

*a**b*

Рис. 5.12. Карьеры трубки «Мир» (*a*) и Учалинский (*b*) со спиральными съездами

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 – измельчённые породы, переотложенные и перенесённые.

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 (твёрдые глины, мел, бурье и каменные угли) отделяются горными машинами без предварительного рыхления. Эти породы сохраняют в массиве угол откоса до $60\text{-}70^\circ$ при высоте уступа 10-20 м.

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

Скальные породы отделяются от массива только энергией взрыва. 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_{cp} и имеет пять категорий. Первая категория (очень мелкоразрушенные породы) характеризуется d_{cp} менее 10 см; вторая – d_{cp} от 10 до 30 см; третья – d_{cp} от 30 до 50 см; четвертая – d_{cp} от 50 до 70 см и пятая (весьма крупноразрушенные) – d_{cp} от 70 до 90 см.

5.5.1. Подготовка горных пород к выемке буровзрывными работами

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 или гидравлических экскаваторах. 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 равен, м.:

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

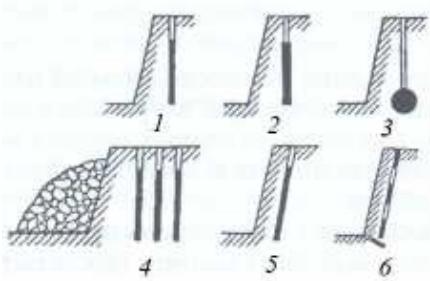
где q – вместимость ковша экскаватора (погрузчика), m^3 ; Q – вместимость кузова автосамосвала или думпкара, m^3 ; B_l – ширина конвейерной ленты, м; B_d – ширина приемного отверстия дробилки, м.

Куски, имеющие размеры больше допустимых, называют негабаритными, их подвергают дополнительному дроблению.

Применяют различные методы взрывного разрушения скальных пород (рис. 5.13, а). На большинстве карьеров и в разнообразных условиях применяют скважинные заряды. К основным параметрам взрывных скважин относятся глубина, диаметр и угол наклона (рис. 5.13, б). Глубина скважины L определяется высотой взрываемого уступа H , углом наклона скважины к горизонту α и величиной перебора скважины l_{nep} ниже отметки подошвы уступа. Перебур необходим для качественного разрушения пород в подошве уступа.

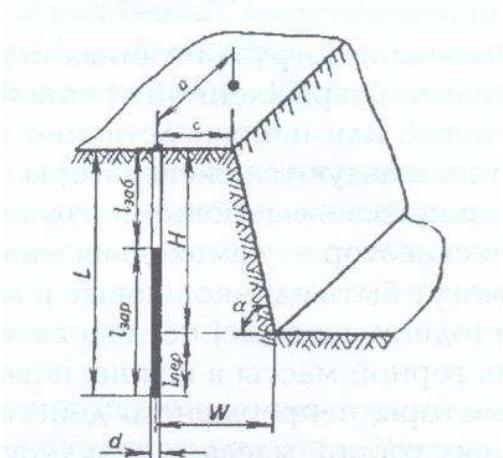
Забойка скважины должна быть плотной, а ее длина $l_{заб}$ – достаточной для предотвращения утечек продуктов взрыва, выброса породы и образования сильной ударной воздушной волны. Для забойки используют песок и буровую мелочь с размерами частиц до 50 мм.

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.



Методы взрывных работ на карьерах:

- 1 - вертикальными скважинами;
- 2 - с расширением зарядной полости;
- 3 - котловыми зарядами;
- 4 - многорядным взрыванием;
- 5 - наклонными скважинными зарядами;
- 6 - рассредоточенными зарядами



Параметры взрывных скважин

a

b

Рис. 5.13. Методы взрывных работ на карьерах (*a*) и параметры зарядов (*b*)

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 несколько рядов при помощи станков вращательного или ударно-вращательного действия, которые подразделяются на шарошечные и ударно-вращательные. Станки ударно-вращательного бурения, например, фирмы Atlas Copco ROC L8 применяют для бурения наклонных и вертикальных скважин диаметром 110-165 мм и глубиной до 25 м (рис. 5.14).



a



b

Рис. 5.14. Станок нового поколения ROC L8 с погружным пневмоударником для бурения скважин диаметром 110-165 мм (*a*) и его возможности наклонного бурения скважин (*b*)

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 лёгкие (до 40 т), средние (до 60 т) и тяжёлые (до 120 т). К лёгким относятся станки СБШ-200 ($d_{скв} = 150-200$ мм); к средним – 2СБШ-200Н, СБШ-250МН, СБШ-250К ($d_{скв} = 220-270$ мм); к тяжелым – 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 (рис. 5.15).



Рис. 5.15. Шарошечные буровые станки

Для ведения взрывных работ в качестве взрывчатого вещества применяют гранулированные ВВ (гранулиты, игданиты), льющиеся (водосодержащие и эмульсионные), реже – порошкообразные ВВ (аммониты, аммоналы). Взрывают скважинные заряды, собранные в единую взрывную сеть, главным образом при помощи детонирующего шнура или неэлектрическими системами с волноводами.

К вспомогательным процессам при взрывном разрушении относятся погрузочно-разгрузочные работы на складах ВМ, транспортирование ВВ к месту заряжания, заряжение и забойка скважин. Доставка ВВ в карьер и заряжение скважин осуществляются с помощью зарядных машин МЗ-3, МЗ-4 и др. (рис. 5.16). Сменная производительность машин по зарядке составляет 15-20 т.

Забойка скважин производится с помощью забоечных машин бункерного типа ЗС-2 и ЗС-1Б, транспортирующих и засыпающих в скважину забоечный материал. Производительность их – до 150 скважин в смену.

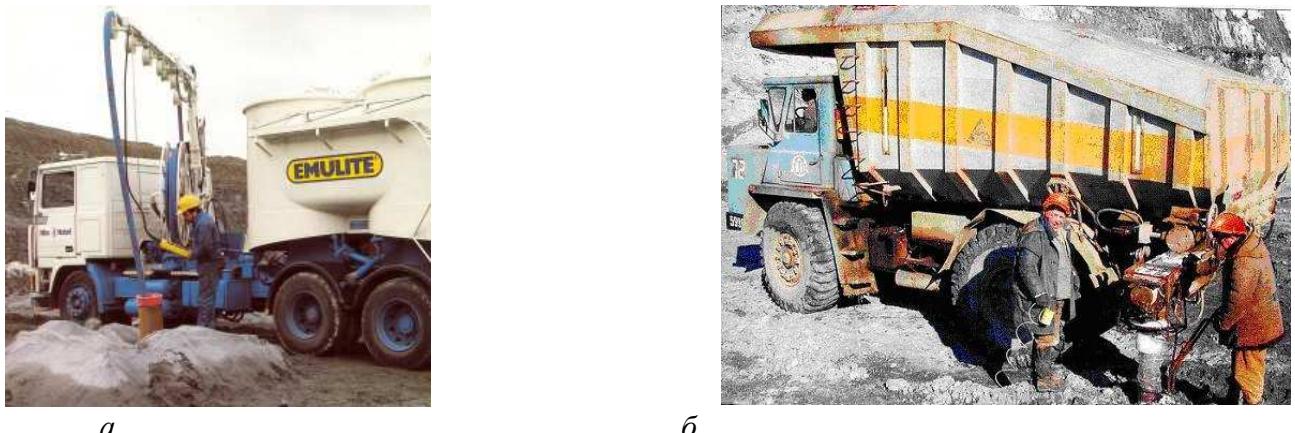


Рис. 5.16. Зарядные машины для эмульсионных (а) и сыпучих ВВ (б)

5.5.2. Выемочно-погрузочные работы

Выемка и погрузка горных пород – это отделение от массива мягкой или предварительно разрыхленной крепкой породы с последующей погрузкой в средства транспорта или разгрузкой непосредственно в отвал.

Карьерные выемочные машины по *отношению к средствам транспорта* разделяют на:

- *выемочно-транспортирующие*, предназначенные для выемки горной массы и транспортирования её на экономически целесообразные расстояния (колёсные погрузчики, скреперы и бульдозеры). Одноковшовые погрузчики в зависимости от выполняемых функций относятся к выемочно-погрузочным или выемочно-транспортирующим машинам.
- *выемочно-погрузочные*, которые предназначены для выемки и погрузки горной массы в средства транспорта в забое; к выемочно-погрузочным машинам относятся все экскаваторы, предназначенные для разработки забоя, перемещения горной массы в ковше на фиксированное конструкцией машины расстояние и разгрузки в средство транспорта или в отвал (драглайны);

Колёсные скреперы экономичны при выемке мягких и механически разрыхленных плотных и полускальных пород при дальности транспортирования до 2–3 км. В настоящее время они применяются при разработке строительных горных пород и россыпей, а также на вспомогательных работах. Большегрузные скреперы могут успешно применяться на вскрышных работах и в мощных карьерах, особенно в период строительства. *Недостатки* скреперов: сезонность выемки мягких пород, сравнительно небольшой срок службы, резкое снижение производительности с увеличением длины транспортирования, кусковатости (более 40 см) и обводнённости (более 10–15 %) экскавируемых пород.

Бульдозеры, характеризующиеся мобильностью, маневренностью, высокой проходимостью и простотой конструкции, широко используются на вспомогательных работах. В качестве выемочных машин применяются при разработке россыпей, строительных горных пород и сложноструктурных залежей. Эффективность бульдозерной выемки ограничивается экскавируемостью пород

($\Pi_s < 5$ при мощности бульдозеров до 180 кВт) и расстоянием перемещения 100–200 м.

Ковшовые погрузчики имеют высокую мобильность, небольшие размеры, меньшую металлоёмкость на 1 м³ ёмкости ковша и в 1,5–2 раза меньшую стоимость по сравнению с экскаваторами той же производительности. Погрузчики с грузоподъёмностью ковша до 40 т эффективны при выемке мягких и разрушенных пород (Π_s до 5) и их перемещении на расстояние до 80–700 м на карьерах производственной мощностью 1–5 млн. т/год.

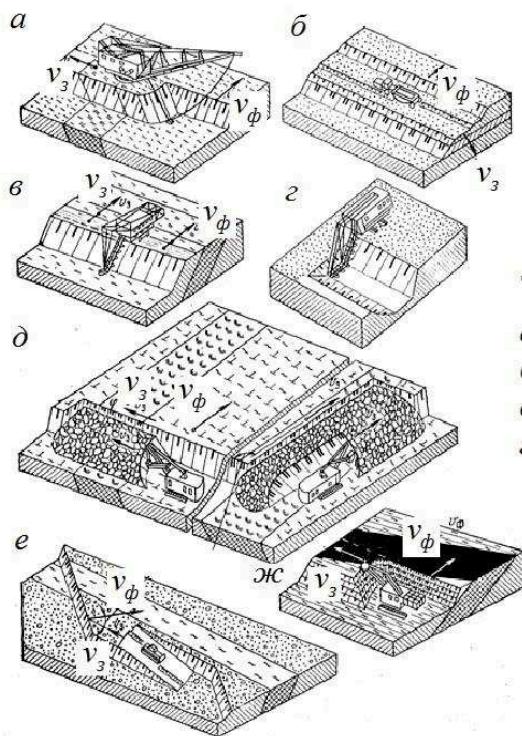
Прямые механические лопаты верхнего черпания характеризуются высоким усилием копания (до 0,3–0,5 МПа), большим числом типоразмеров (ёмкость ковша $E = 0,25$ –100 м³ и более) и прочностью рабочего оборудования. Это обуславливает возможность эффективного применения их для выемки мягких, плотных и разрушенных пород ($\Pi_s \leq 8$) с последующей погрузкой в транспортные средства в различных горных, климатических и гидрогеологических условиях. В стопорном режиме прямыми мехлопатами можно вести выемку пород практически любой экскавируемости. Основной недостаток мехлопат — прерывность (цикличность) рабочего процесса: на собственно экскавацию (черпание) затрачивается лишь 20–30 % общего времени цикла. Увеличение же мощности экскаватора ведет к резкому росту его массы. Этот недостаток менее характерен для лопат с гидравлическим приводом, созданных в настоящее время.

Драглайны благодаря гибкой подвеске рабочего органа обеспечивают большую дальность перемещения породы. Это позволяет эффективно использовать мощные драглайны для выемки и перевалки мягких и разрушенных пород ($\Pi_s < 6$) в выработанное пространство, возведения насыпей, проведения траншей. Нижнее черпание позволяет разрабатывать драглайнами обводнённые породы и подводные участки. Широко применяются драглайны для вторичной перевалки пород на отвалах, а также на вспомогательных работах (зачистка, проведение канав и др.). Поскольку напорное усилие у драглайнов отсутствует, эффективность выемки разрушенных пород (по кусковатости и связности) зависит от массы и ёмкости их ковшей. При увеличении ёмкости ковша с 6 до 15 м³ область применения драглайнов по экскавируемости пород расширяется с $\Pi_s = 4$ до $\Pi_s = 6$.

Цепные многоковшовые экскаваторы используют для выемки мягких и плотных пород ($\Pi_s < 3$). Вследствие этого выемка сезонная даже в районах с мягким климатом. *Достоинства:* высокая удельная производительность на 1 т массы экскаватора (на 20–30 % выше, чем у одноковшовых), большая высота уступа, непрерывность и безударность загрузки транспортных средств, что позволяет снизить коэффициент тары вагонов, а также широко применять высокопроизводительные ленточные конвейеры. *Недостатки:* использование рабочего органа для перемещения породы по забою до пункта разгрузки, что обуславливает большой износ направляющих устройств и ковшовой цепи, увеличивает энергоёмкость процесса и снижает развиваемое усилие копания.

У роторных экскаваторов разделение функций выемки и транспортирования породы снижает по сравнению с цепными массу экскаватора на единицу производительности, позволяет увеличить усилие копания до 1,0–2,1 МПа и уменьшить расход электроэнергии. Повышенные усилия копания и широкий диапазон регулирования толщины стружки позволяют экскавировать плотные и слабые мёрзлые породы ($P_s < 10$). Эффективно осуществляется роторными экскаваторами раздельная выемка. Недостатки: сезонность работы при нормальных усилиях копания, большие динамические колебания роторной стрелы у крупных моделей, затруднённость борьбы с налипанием на рабочий орган и конвейерные ленты экскавируемых влажных и вязких глин.

Выемка сыпучих, мягких и плотных пород обычно производится непосредственно из массива, а разрушенных (взорванных) пород – из развала горной массы или разрыхленного слоя. Поверхность горных пород в массиве или развале, являющаяся объектом выемки, называют забоем. При выемке пород из массива забоями могут быть следующие поверхности уступа: торец, площадка, продольный откос (рис. 5.17).



Типовые схемы забоев:

- a, d, e, ж - торцовий;*
- б - забой-площадка;*
- в - фронтальний;*
- г - комбинированый*

Рис. 5.17. Типовые схемы забоев

При выемке разрушенных пород забоями могут быть торцовый, продольный откос развала, иногда его верхняя поверхность. Соответственно забой называют *торцовым, продольным и забоем-площадкой*. Чаще всего продольный откос уступа совпадает с фронтом его работ и продольный забой называют *фронтальным*. Разновидность торцового забоя – *траншейный* забой. Продольный и торцовый откосы относятся к *разрабатываемой части* уступа или раз-

вала. Забои всех типов по структуре могут быть *однородными (простыми)*, если породы имеют сравнительно одинаковые свойства и *разнородными (сложными)*, если в их пределах перемежаются породы или руды с разными свойствами. В простых забоях производится *валовая (сплошная) выемка* пород, в сложных – *валовая или раздельная выемка*.

Выемка пород любого типа осуществляется *слоями выемки*, толщина которых (десятки сантиметров) определяется глубиной внедрения в забой рабочих органов выемочных машин. В пределах слоя выемка проводится стружками, ширина которых определяется шириной режущего рабочего органа выемочной машины (ковша экскаватора, лемеха бульдозера, скрепера). При разработке слоя забой перемещается в нормальном к нему направлении: фронтальный и торцовый – в плане, а забой-площадка – вниз.

Форма забоев экскаваторов типа мехлопата округлая в плане и вогнутая в профиле, что предопределется характером движения ковша и поворотами экскаватора, а забой бульдозера или драглайна имеет клиновидную форму.

По взаимному расположению забоя и горизонта установки экскаватора различают *способы выемки и погрузки*: верхним черпанием (верхнюю погрузку) – забой выше горизонта машины, нижним черпанием (нижняя погрузка) – забой ниже уровня стояния машины.

При перемещении забоев в пределах определённого участка массива уступа или развала последовательно отрабатываются породные полосы – *заходки*. По расположению относительно фронта работ уступа заходки разделяют на продольные (вдоль фронта), поперечные (вкrest фронта) и диагональные. Ширина заходки при торцовом и забое-площадке соответствует ширине этих забоев, а при продольном забое – толщине одного или нескольких слоёв выемки. По ширине заходки делят на *нормальные* – положение оси движения выемочных машин по длине заходки постоянно при максимальном использовании рабочих параметров; *узкие* – неполное использование рабочих параметров машин и *широкие* – переменное положение оси движения машин в плане при выемке породы по длине заходки.

По характеру движения транспортных средств при выемке пород в пределах заходок последние делят на *тупиковые* (движение транспорта только в пределах выработанного пространства отрабатываемой заходки) и *сквозные* (движение транспорта в пределах всей длины заходки).

Выемка (копание) пород в массиве производится последовательным отделением стружек в слое выемки. Процесс копания характеризуют величиной удельного сопротивления копанию K_F (МПа), которая зависит не только от прочности породы в куске, но и от трещиноватости массива – чем более трещиноват массив, тем меньше K_F . Снижение усилия копания достигается уменьшением толщины стружки, применением свободной схемы копания (с дополнительными поверхностями обнажения), использованием силы тяжести породы для самообрушения её в верхней части забоя, уменьшением длины стружки.

Выемка горных пород экскаваторами

Экскаватор – самоходная машина цикличного или непрерывного действия. Они могут быть одноковшовые и многоковшовые. Экскаваторы циклического 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.

Рабочее оборудование экскаваторов с прямой и обратной лопатой состоит из ковша (как правило), стрелы и рукояти. Рабочее оборудование экскаваторов с драглайном не имеет рукояти, а ковш подвешивается к стреле на канате с помощью упряжки. К рабочему оборудованию относятся также блоки, направляющие устройства и канаты, которые передают движения различным элементам рабочего оборудования. Помимо ковша разработано и другое навесное оборудование. Это грейфер (копающий или погрузочный), гидромолот (для разрушения негабарита и рыхления мёрзлого грунта и полускальных горных пород), фрезерная головка (для рыхления и планировки грунта).

Из экскаваторов с жесткой связью наиболее широко применяются экскаваторы карьерные гусеничные: ЭКГ-5А, ЭКГ-8и, ЭКГ-12,5 (рис. 5.18, а), ЭКГ-20 (рис. 5.18, б), а также гидравлические (прямая и обратная лопаты): ЭГ-8, ЭГ-12 и ЭГ-20.

*a**б*

Рис. 5.18. Карьерные канатные экскаваторы типа прямая механическая лопата

В последние годы наметилась тенденция широкого внедрения в практику открытых горных работ нового типа выемочно-погрузочных машин – гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием прямой (рис. 5.19, а) и обратной (рис. 5.19, б) мехлопаты (наибольшую долю будут составлять гидравлические экскаваторы с гидроприводом рабочего оборудования, поворотной платформы, механизма хода). В отечественной и зарубежной практике уже созданы гидравлические экскаваторы с ковшом вместимостью 2,5-20 м³, массой 60-500 т, усилием копания 200-125 кН.

*a**b*

Рис. 5.19. Гидравлические экскаваторы типа прямая (*а*) и обратная (*б*) лопата

Тенденция широкого внедрения гидравлических экскаваторов в практику открытых горных работ объясняется наличием у этих экскаваторов конструктивных и технологических преимуществ по сравнению с канатными мехлопатами. основными из них являются:

- 1) дополнительная степень свободы рабочего оборудования (одновременная подвижность стрелы, рукояти и ковша), обеспечивающая получение регулируемой траектории черпания и слоевую (сверху вниз) разработку пород;
- 2) в 1,5-2,5 раза меньшая удельная (на 1м³ вместимость ковша) металлоёмкость конструкции;
- 3) большое (реализуемое на зубьях ковша) усилие копания;
- 4) быстрый монтаж (демонтаж) рабочего оборудования, позволяющий использовать на одной машине различные его конструкции, что обеспечивает в заданный момент соответствие технологических параметров экскаватора условиям разработки.

Обратные гидравлические мхлопаты по сравнению с прямыми мхлопатами имеют следующие преимущества:

- 1) большой радиус черпания на уровне стояния экскаватора;
- 2) возможность верхнего и нижнего черпания и погрузки транспортных средств на уровне стояния экскаватора, а также ниже и выше него;
- 3) лучшую возможность селективной выемки пород при установке экскаватора на кровле разрабатываемого уступа и возможность выемки из под слоя воды. Первый отечественный карьерный гидравлический экскаватор ЭГ-12 конструкции Уралмашзавода прошел промышленные испытания в 1979 г. на угольном разрезе "Кедровский" (в Кузбассе). Широкие технологические возможности и конструктивные достоинства мхлопат с гидроприводом говорят о настоятельной необходимости серийного производства таких машин для открытых горных работ.

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. Однако количество таких экскаваторов в мире неуклонно снижается. Экскаваторы с меньшим объемом ковша и удлиненным оборудованием применяют для верхней

погрузки в средства транспорта (рис. 5.20). Передвижение всех экскаваторов осуществляется за счёт гусеничного хода.

*a**b*

Рис. 5.20. Экскаватор с удлинённым оборудованием ЭКГ-4у в забое (*а*) и на верхней погрузке (*б*)

Из экскаваторов с канатной связью ковша со стрелой на карьерах широко применяются драглайны – шагающие экскаваторы. Драглайны типа ЭШ-15/90 (рис. 5.21, *а*), 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 м³ и длиной стрелы до 125 м. При ёмкости ковша до 10 м³ их используют для погрузки в автомобильный и железнодорожный транспорт (рис. 5.21, *б*).

*a**b*

Рис. 5.21. Драглайн ЭШ-15/90 в забое (*а*), погрузка драглайном ЭШ-10/70 угля в автосамосвал

Экскаватор-драглайн и обратная механическая лопата, в отличие от прямой лопаты, разрабатывают породу ниже уровня машины. В драглайне ковш закреплен на подъёмном канате, а черпание осуществляется его подтягиванием вторым, "тяговым" канатом. Ковш экскаватора врезается в грунт под тяжестью собственного веса, что позволяет разрабатывать даже крепкую породу, предварительно разрыхленную взрывом.

Большие драглайны устанавливают на шагающем ходу. Механизм "шагания" состоит из центральной опорной плиты, боковых лыж и механизма, приводящего их в движение (кулачкового или рычажного). Когда экскаватор опирается на плиту, лыжи приподняты и могут перемещаться. После их опускания экскаватор вместе с центральной плитой приподнимается, опирается на лыжи и перемещается. Благодаря тому, что лыжи закреплены на платформе и её поворотом можно изменить направление перемещения, машина может двигаться даже в боковом направлении.

Экскаватор-драглайн, стрела которого заменена натянутым между двумя башнями канатом, несущим ковш, называется "башенным" (рис. 5.22). Такой драглайн может иметь "вылет стрелы" (расстояние между башнями) до 500 м. Ковш разгружается через дно, для чего ему часто придают серповидную форму, в противном случае разгрузкой управляет тяговый канат.

Схема башенного экскаватора: 1, 2 — машинная и опорная башни; 3, 6, 8 — соответственно несущий, разгрузочный и тяговый канаты; 4 — каретка; 5 — ковш клапанный; 7 — балансир; 9, 13 — соответственно породный и угольный бункеры; 10 — отвальный конвейер;

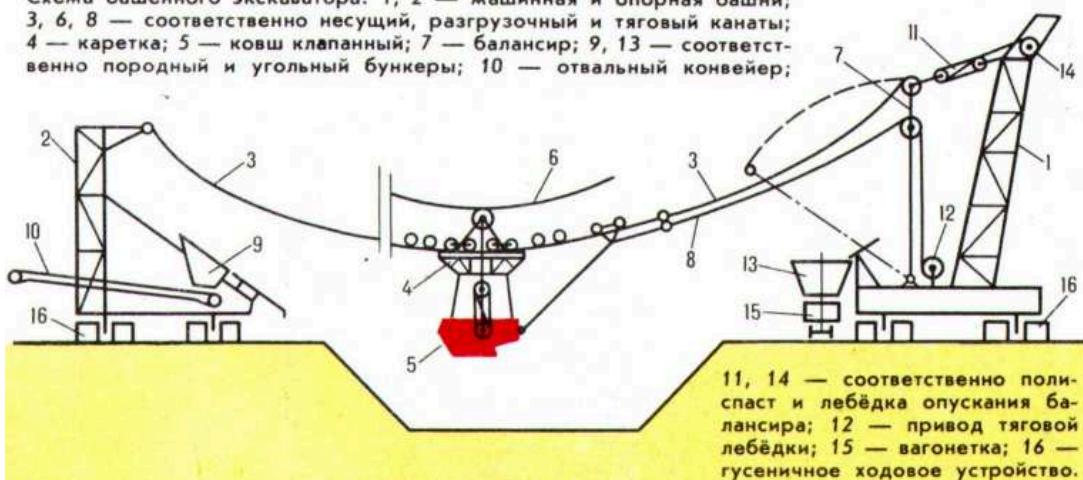


Рис. 5.22. Схема башенного экскаватора-драглайна

При подводной добыче полезных ископаемых часто применяют *грейферы* — экскаваторы с подвешенным на канатах челюстным ковшом (рис. 5.23).



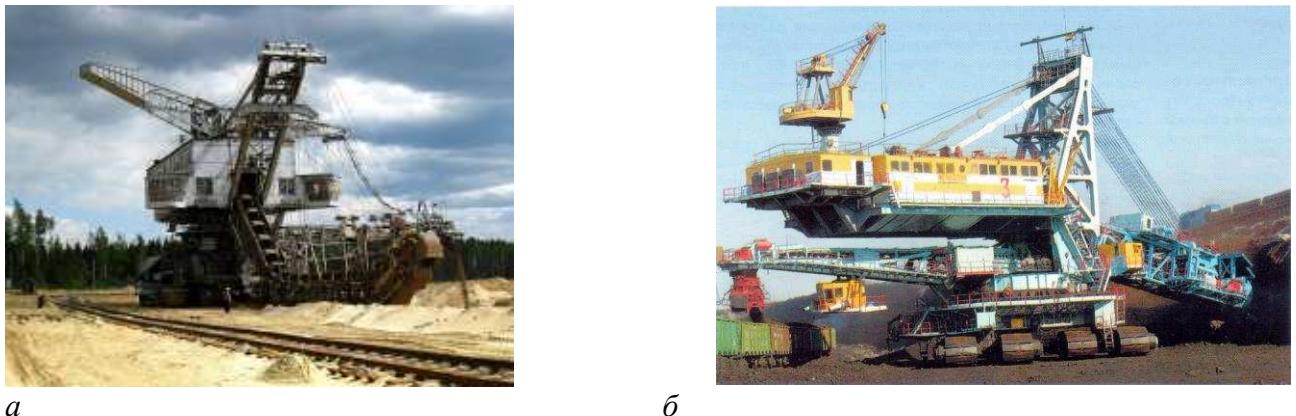
a



б

Рис. 5.23. Грейферный экскаватор в работе (*a*) и грейфер на выходе из-под воды (*б*)

Важнейшими типами многоковшовых экскаваторов являются цепные (рис. 5.24, а) и роторные (рис. 5.24, б).



а

б

Рис. 5.24. Цепной (а) и роторный (б) экскаваторы в забое

Цепной экскаватор непрерывного действия оснащен цепным рабочим органом, который состоит из одной или двух, идущих параллельно друг другу, многорядных втулочно-роликовых цепей, на которых закреплены ковши. При движении экскаватора и цепей ковши срезают с поверхности забоя стружку породы и выносят её в разгрузочную зону. Огибая верхнюю ведущую звёздочку, ковши опрокидываются, и порода разгружается через их пологую заднюю стенку. При работе на прочных породах ковши оснащаются рыхлящими зубьями. Чтобы облегчить рабочее оборудование, на соседних ковшах устанавливают неравное число зубьев. Тогда зубья идущего сзади ковша разрушают нетронутую породу, оставшуюся в промежутках между зубьями предыдущего ковша.

Самый большой многоковшовый цепной экскаватор, находящийся в эксплуатации, – это Tenova TAKRAF ERs 3750 с максимальной производительностью 14 500 м³/ч, глубиной заходки 31 м и высотой копания 34 м.

Роторные экскаваторы типа ЭР имеют рабочий орган в виде роторного колеса диаметром от 2,5 до 18 м с ковшами, установленного на конце стрелы. Число ковшей на роторе изменяется от 6 до 12, а ёмкость ковшей от 300-800 до 4000-8000 л. Экскаваторы бывают небольшой (до 630 м³/ч), средней (630-2500 м³/ч), большой производительности (2500-5000 м³/ч), сверхмощные – производительностью выше 5000 м³/ч.

Марки экскаваторов: ЭРГ-1600 40/10-31: 1600 – емкость ковша, л; 40 – высота черпания, м; 10 – глубина черпания, м; 31 – ход выдвижения стрелы, м. *Недостатки:* сезонность работы, налипание на рабочий орган и конвейерные ленты влажных и вязких глин, большие динамические колебания роторной стрелы у крупных моделей.

Главным для многоковшовых цепных и роторных экскаваторов является то, что их работа основана на поточности всего комплекса производственных процессов: выемки, транспортирования, разгрузки и отвалообразования. При-

менение этих машин возможно только на рыхлых или сыпучих породах и лишь в тёплое время года.

Выемка горных пород скреперами и погрузчиками

На карьерах с годовым объемом работ до 3 млн. т и расстоянием транспортирования 0,3-0,5 км в качестве основного выемочно-транспортного оборудования используются колёсные скреперы и ковшовые погрузчики. Тягачом скрепера могут быть трактор К-700, автомобили типа МоАЗ или БелАЗ. Вместимость ковша скрепера составляет 6-15 м³, а у мощных – до 40 м³ (рис. 5.25). Производительность скреперов с ковшом вместимостью 15 м³ составляет 250-400 м³/ч.



Рис. 5.25. Двухмоторный скрепер ДЗ-107-1 с ковшом ёмкостью 25 м³:
1 – одноосный специальный тягач БелАЗ-531Б; 2 – передок; 3 – ковш;
4 – задняя силовая установка

Колёсные скреперы в процессе работы совершают выемку горной массы, её перемещение и разгрузку на отвале (складе) или в транспортные сосуды; в последнем случае необходимы специальные бункера.

Большинство скреперов по способу загрузки скребковые (рис. 5.26, а). При этом загрузка мощных скреперов осуществляется, как правило, с подталкиванием их бульдозером. Выпускаются также скреперы, у которых срезаемая скребком порода подается в ковш элеватором, являющимся его передней стенкой (рис. 5.26, б); их применение эффективно при разработке сыпучих пород. Максимальная скорость мощных скреперов достигает 40–60 км/ч при порожнем пробеге и 20–30 км/ч с грузом.

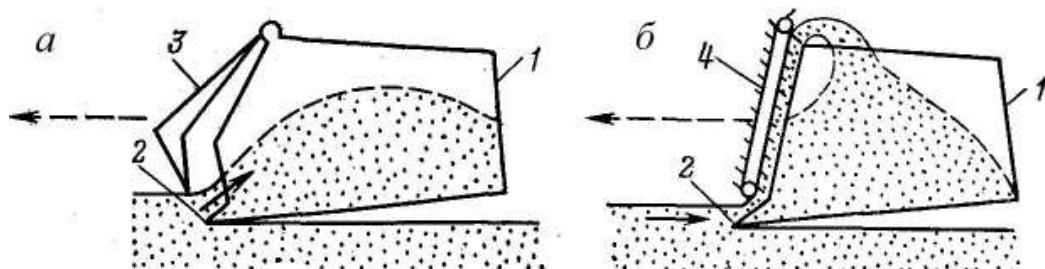


Рис 5.26. Схемы загрузки ковша скребкового (а) и элеваторного (б) скреперов:
1 – ковш; 2 – режущая кромка ковша (лемех); 3 – заслонка; 4 – элеватор

При подходе скрепера к забою ковш опускается, а передняя его заслонка поднимается. При движении по забою скребок срезает слой (стружку) породы толщиной t . В мягких и песчаных породах $t = 0,2\text{--}0,3$ м, в плотных и разрушенных породах $t = 0,10\text{--}0,15$ м. Длительность и путь загрузки скрепера определяются величиной t .

Степень наполнения ковша зависит от влажности пород. При выемке сухих песчаных пород полного наполнения ковша не происходит. Ковш наполняется «с шапкой» при выемке супесчаных и суглинистых пород естественной влажности (соответственно 4–12 и 8–18 %). С дальнейшим увеличением влажности глинистых пород резко уменьшается их несущая способность. По условиям проходимости скрепера обычно невозможна разработка глинистых пород влажностью более 24–27 % без предварительного осушения.

При использовании трактора-толкача в процессе экскавации плотных и разрушенных пород мощными скребковыми скреперами коэффициент наполнения ковша $k_{n,k}$ возрастает на 10–12 % (иногда на 20–30 %), а время загрузки ковша сокращается на 30–50%; снижается также износ машины. Один толкач обслуживают два–четыре скрепера.

Большое влияние на загрузку ковша оказывает режим открывания и закрывания его заслонки. Закрывать заслонку начинают в то время, когда ковш загружен на 75–85 % объема.

Ковшовый фронтальный погрузчик представляет собой колёсное самоходное шасси с опускающейся стрелой, на конце которой шарнирно закреплен ковш, снабжённый зубьями, как ковш экскаватора. На шины погрузчика, как правило, надевают кольчужные цепи для защиты от порезов острыми кусками горной массы (рис. 5. 27). Ковшовые погрузчики предназначены для работы в качестве выемочно-погрузочного, выемочно-транспортного или вспомогательного оборудования. В комплексе с погрузчиками обычно применяют автомобильный транспорт.



Рис. 5.27. Ковшовый погрузчик в забое

Погрузчики с ковшами грузоподъёмностью 2–5 т при мощности машин 55–175 кВт, массе их 9–32 т, наибольшем тяговом усилии 60–170 кН и высоте разгрузки 2,7–4,1 м применяют для погрузочно-разгрузочных и земляных работ объёмом до 150–250 тыс. м³/год. Выпускают большегрузные пневмоколесные погрузчики грузоподъёмностью 10, 15, 25 и 40 т при мощности 260–1100 кВт и тяговом усилии 150–500 кН и более. Ковши погрузчиков изготавливают со сплошной режущей кромкой или зубьями (для выемки взорванных пород).

Погрузчики имеют сменное рабочее оборудование (до 30 видов), включая ковши различной ёмкости, обратную лопату, грейдер, скелетный ковш для камня, бульдозерный лемех, рыхлитель, челюстный и вилочный захваты, крановую стрелу, проволочную щетку для зачистки автодорог и др. На замену навесного оборудования необходимо только 0,6–1 ч, что позволяет увеличить коэффициент использования базовых тягачей.

Погрузчиками можно производить выемку мягких пород непосредственно из массива, механически разрушенных пород (тракторными рыхлителями или зубьями, закрепленными на погрузчиках) или взорванных пород из раз渲ала. При выемке более плотных и тяжёлых пород целесообразно использовать специальные усиленные ковши уменьшенной ёмкости и выемочные подхваты.

Выемка породы осуществляется за счёт напорного усилия, поворота ковша и подъёма стрелы погрузчика. Различают способы выемки: *раздельный, совмещённый, экскавационный и послойный*

При раздельном способе, применяемом для экскавации сыпучих пород малой плотности из раз渲ала, выемка производится за три последовательные операции. Сначала осуществляется внедрение ковша на уровне подошвы забоя в породу до упора в неё задней стенкой при поступательном движении погрузчика со скоростью 0,6–1,1 м/с (на первой или второй передачах). Далее ковш поворачивается на полный угол запрокидывания без продвижения погрузчика. Третья операция заключается в подъёме наполненного ковша в транспортное положение (на высоту 0,3–0,4 м), после чего погрузчик задним ходом отъезжает от забоя.

При совмещённом способе выемки опущенный ковш напорным усилием внедряется на уровне подошвы забоя в породу на глубину (0,2–0,5)l_к (l_к – длина ковша), после чего одновременно осуществляются подъём стрелы и поворот ковша при непрерывном поступательном движении погрузчика. При этом необходимо равенство скоростей движения погрузчика (на первой-второй передачах) и подъёма ковша. Совмещённый способ обычно применяется при выемке мягких и мелковзорванных пород, обеспечивая высокую степень наполнения ковша и сокращение времени черпания, ибо позволяет снизить горизонтальное усилие внедрения ковша в два-три раза по сравнению с раздельным способом выемки.

С дальнейшим увеличением трудности экскавации пород применяется *экскавационный способ выемки*, при котором совмещаются внедрение в породу ковша (на глубину 0,3 l_к) и его подъём за счет одновременного подъёма стрелы

и поступательного движения погрузчика. После вывода режущей кромки ковша из забоя выполняются поворот ковша и отъезд погрузчика от забоя.

Внедрение ковша при выемке связных и среднекусковатых взорванных пород производится в стопорном режиме с подъёмом передней части погрузчика при одновременном покачивании ковша в вертикальной плоскости и постепенном движении погрузчика к забою. При этом усилие внедрения максимальное, а сопротивление породы копанию уменьшается.

Послойный способ выемки является разновидностью раздельного способа при тонких горизонтальных или наклонных слоях выемки, когда ковш постепенно наполняется при непрерывном движении погрузчика на первой или второй передаче, что аналогично выемке скреперами.

Забой одноковшового погрузчика — торцовый, фронтальный или забойплощадка. При использовании погрузчика в качестве выемочно-погрузочного оборудования он после наполнения ковша отъезжает от забоя, совмещая подъезд к автосамосвалу с подъёмом ковша на необходимую высоту разгрузки. Применяется ряд схем работы погрузчиков в забое.

Выемка горных пород комбайнами

Традиционная технология горных работ на основе буровзрывной подготовки горной массы к выемочно-погрузочным работам характеризуется, наряду с ухудшением горнотехнических и экологических условий разработки, ростом затрат на производство горных работ, обусловленным постоянным повышением цен на ВВ, топливо, материалы и услуги.

Один из путей снижения затрат на горные работы и карьерный транспорт – переход на высокорентабельные технологии с применением принципиально нового для открытой разработки оборудования – горного комбайна, способного при работе совмещать основные процессы горного производства, такие, как бурение, взрывание, погрузка и значительную часть дробильного передела.

Идея создания безвзрывных технологий разработки крепких пород существует не один десяток лет. Работа велась в основном в направлении создания горных комбайнов, оборудованных рабочим органом фрезерного типа. В шахтах очистные и проходческие комплексы с использованием горных комбайнов и стругов начали применять еще в середине XX века. Подземные комбайны (очистные и проходческие) создавались преимущественно для разработки каменных углей или проходки подготовительных горных выработок по вмещающим породам слабой и средней крепости.

На открытых горных работах безвзрывные технологии до недавнего времени не получали настоящего развития. Первая попытка внедрить подобные технологии в России – начатые в 1996 г. на разрезе Талдинский (Кузбасс) промышленные испытания комбайна послойного фрезерования КСМ-2000Р производства фирмы Thyssen Krupp Fordertechnik концерна Thyssen Krupp AG. Комбайн явился результатом совместной работы немецких и российских раз-

работчиков – фирмы Krupp Fordertechnik, ИГД им. А.А. Скочинского, АО «Ижорский завод», АО «Пигма».

В целях достижения высокой производительности комбайн был оборудован многоковшовым исполнительным органом, расположенным в передней части машины, и рассчитан на отработку блока значительной ширины и мощности. Испытания показали, что энергоёмкость разрушения породного массива при такой конструктивной схеме очень высока, применялись даже специально разработанные разупрочняющие химические составы, которыми обрабатывали грунт перед прохождением комбайна. Все это снижало эффективность применения комбайнов подобного типа при разработке крепких пород. В итоге после проведения испытаний на разрезе продолжили проведение буровзрывных работ. Испытания, однако, показали и жизнеспособность новой технологии, была получена важная информация для дальнейшего совершенствования горных комбайнов.

Эти машины различных конструкций изготовлены специально для открытых горных работ или переделаны из проходческих комбайнов: с режущими дисками, колёсами и цепями, одной или двумя врачающимися фрезами. Ряд моделей предназначен для разработки торцевого забоя. Рабочий орган таких машин устанавливается на штангах. Однако на открытых горных работах наибольшее распространение получили машины, забоем которых служит площадка уступа. Они имеют более низкие показатели по металло- и энергоёмкости. Рабочий орган этих комбайнов – фреза цилиндрической формы, на поверхности которой по винтовой линии размещены резцы. Такие комбайны способны разрабатывать природный массив слоями от 1 до 60 см с одновременным дроблением и погрузкой полезного ископаемого, это позволяет не только обеспечить поточность выемки, погрузки и дробления, но и улучшить качество добываемого полезного ископаемого за счёт снижения засорения.

Последние десятилетия характеризуются активным поиском оптимальных конструктивно-компоновочных решений при создании различными машиностроительными фирмами экскавационной техники класса Continuous Surface Miner (CSM). Создан целый класс машин нового типа для безвзрывной высокоселективной отработки полезного ископаемого и вскрышных пород. Технология производства открытых горных работ с использованием машин нового технического уровня в наибольшей мере удовлетворяет требованиям ресурсосбережения, обеспечивает минимизацию экологической нагрузки, полноту извлечения и высокое качество минерального сырья. При проектировании машин CSM используется принцип отбойки горных пород «холодными» фрезами, заимствованный из металлообработки: рабочие органы машин осуществляют отбойку полезного ископаемого посредством резцов различных конструкций.

Согласно расчётам применение машин CSM на карьерах позволит:

- улучшить потребительские качества полезного ископаемого за счёт регулирования гранулометрического состава отбиваемого материала;

- резко уменьшить засорённость полезного ископаемого и, как следствие, снизить (в 1,5-2,5 раза) объёмы вторичных переделов;
- исключить комплекс буровых и взрывных работ;
- сохранить качество и природные характеристики минерального сырья;
- снизить затраты на транспортирование и добычу;
- обеспечить возможности извлечения попутных полезных ископаемых из вмещающих пород;
- повысить качество формирования стационарных бортов на предельном контуре.

В зависимости от конструкции и способа работы машины КСМ можно подразделить на следующие типы: шнеково-фрезерные машины; машины с роторными колесами, расположенными спереди или сзади машины; стреловые фрезерные комбайны; фронтальные роторные агрегаты.

К машинам с роторными колесами относится комбайн фирмы Krupp КСМ, принцип работы которого основан на режущем роторе. Четыре роторных колеса расположены фронтально (рис. 5.28) и разрабатывают породу прочностью 20-30 МПа, а в отдельных случаях до 70 МПа, высота разрабатываемого уступа – 3 м.



Рис. 5.28. Карьерный комбайн фирмы Krupp типа КСМ

Техническая производительность комбайнов Krupp при одинаковом диаметре роторного колеса у КСМ-2000 составляет 1750 т/ч, а у КСМ-4000 – 3500 т/ч. Различие достигается увеличением ширины заходки у КСМ-4000 до 7,16 м, против 5,6 м у КСМ-2000.

Компания MAN Takraf Fordertechnik предлагает целую серию фрезерных комбайнов Surface Miner. Машины предназначены для селективной добычи полезных ископаемых малой и средней крепости – бурых и каменных углей, слабых известняков, фосфоритов и т.д.

В отличие от КСМ-2000Р у комбайнов MAN Takraf в качестве рабочего органа выступает фрезерный барабан, вращающийся вниз (резцы внедряются в породу сверху вниз) по ходу движения машины (рис. 5.29).

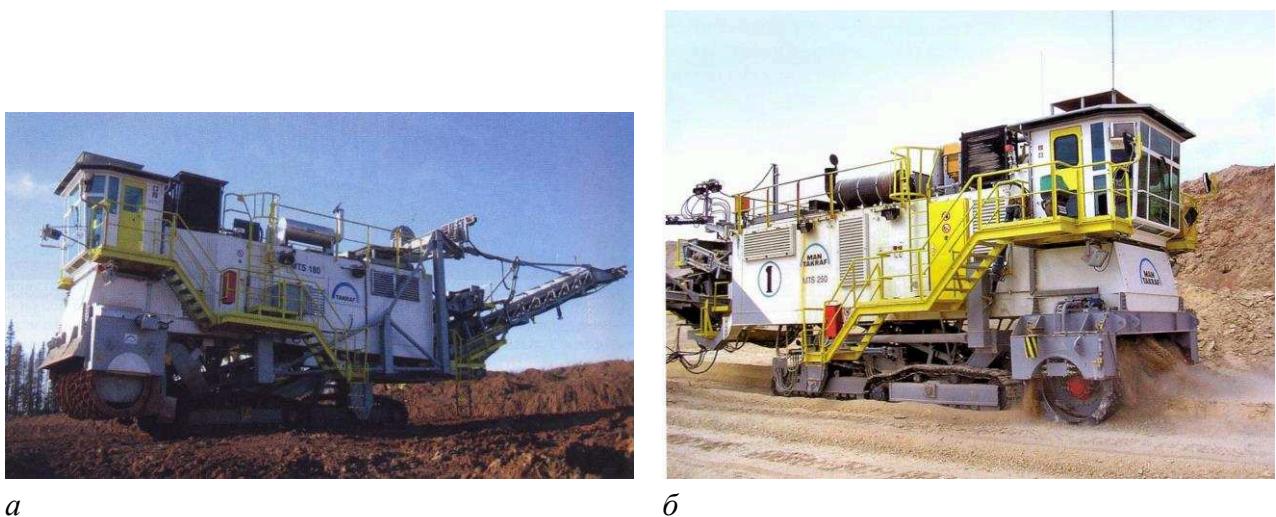


Рис. 5.29. Комбайн фирмы MAN Takraf в карьер (а) и в забое (б)

Такая схема позволяет избежать выламывания негабаритных плитняков перед исполнительным органом при разработке крепких пород слоистого строения, как это было при работе КСМ-2000Р. Комбайны производства Thyssen Krupp AG и MAN Takraf изначально создавались именно как горные машины «майнера», приспособленные к специфическим условиям ведения горных работ. Их отличают значительная металлоёмкость, высокая расчётная производительность, значительные мощность и ширина фрезеруемого породного блока.

Фрезерные комбайны Takraf могут перерабатывать горную породу с пределом прочности на одноосное сжатие до 80 МПа, например, известняк, бокситы, бурый и каменный уголь, фосфориты и железную руду. Техническая производительность машин изменяется от 500 м³/ч (в целике) у MTS500 до 2000 м³/ч у MTS2000 при ширине заходки 3,6 и 6,5 м и толщине снимаемого слоя 0,9 и 1,4 м соответственно. Непосредственный процесс резки отрегулирован с учётом индивидуальных особенностей, режущий барабан в передней части машины обеспечивает простой доступ. Вместе с тем возможна быстрая замена режущих исполнительных органов. Компактный привод барабана позволяет осуществлять работу на наклонных плоскостях и повышает эффективную высоту резки на 60 % от диаметра барабана.

Компания Vermeer, известная своей сельскохозяйственной техникой, предлагает линейку землеройно-фрезерных машин (Terrain Leveler), предназначенных только для фрезерования. Карьерный комбайн (SEM) T1255 Terrain Leveler был сконструирован таким образом, чтобы отбитая порода отгружалась на рабочей площадке позади машины, оборудованной фрезой, установленной на своеобразной «качалке» (рис. 5.30, а). Машина фрезерует блок позади себя по ходу движения, при этом резцы внедряются в массив сверху вниз, скальвая куски породы. Глубину фрезерования устанавливают, регулируя угол наклона «качалки», однако она не может превышать диаметра фрезерного барабана.

Преимущество конструктивной схемы машин Vermeer в том, что исполнительный орган находится на выносе и влияние ударных колебательных нагрузок на основные механизмы ослаблено, а благодаря тому, что барабан шире гусениц и крепится в центре, имеется возможность формирования вертикальных откосов уступов в процессе разработки (рис. 5.30, *б*).

Барабан комбайна T1255 Terrain Leveler SEM наклоняется на 5 градусов относительно рамы машины. Наклон барабана важен при формировании поверхности рабочей площадки на карьере. Он позволяет сформировать плоскую ровную поверхность рабочей площадки с возможным уклоном в сторону отстойника для отвода воды.

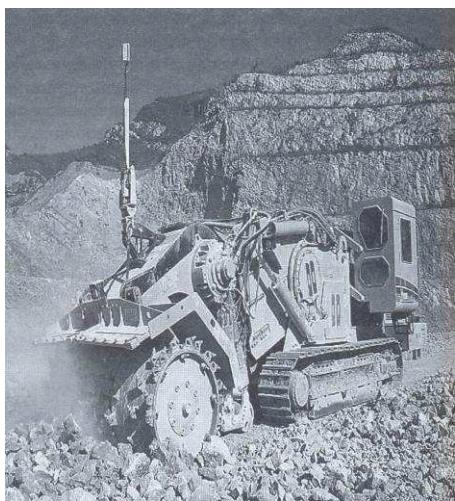
*a**б*

Рис. 5.30. Карьерный комбайн (SEM) T1255 Terrain Leveler в забое (*а*) и сформированный им вертикальный откос (*б*)

К недостаткам машины следует отнести то, что машина только рыхлит (рис. 5.31, *а*), а отгрузку надо вести отдельными агрегатами, например, фронтальными погрузчиками (рис. 5.31, *б*) поэтому название её фирмой *комбайном* является не корректным.

*а**б*

Рис. 5.31. Рыхление породы в забое (*а*) и её отгрузка с площадки (*б*)

Более чем двадцатилетний опыт производства и эксплуатации проходческих и добычных комбайнов для подземных работ фирмы VOEST-ALPINE, а также многочисленные эксперименты на испытательных стендах привели к созданию комбайнов непрерывного действия для открытых горных работ, предназначенных для разработки торцевого забоя со следующими характеристиками: комбайн обеспечивает отработку пород прочностью 20-80 МПа; выемка ведётся уступами высотой 5-10 м, в зависимости от технических параметров комбайна, при ширине отрабатываемого блока 6,5-16,7 м; производительность комбайнов составляет 870-2300 м³/ч в пересчёте на антрацит в плотном теле; комбайн имеет модульную конструкцию режущего узла при максимальной типизации конструктивных компонентов различных типов машин; конструкция комбайна обеспечивает возможность фрезерования откосов уступов карьеров на высоту вылета стрелы, т. е. до 10 м, а также ведение селективной выемки даже при разработке крутопадающих пластов; конструкция рабочего органа обеспечивает возможность адаптации режимов его работы к типу отрабатываемых пород за счёт изменения скорости вращения и вибрации рабочего органа, а также скорости подвигания комбайна на забой.

Основным отличием комбайнов VASM является расположение рабочего органа на специальной стреле, что позволяет вести отработку массива пород уступами (рис. 5.32).

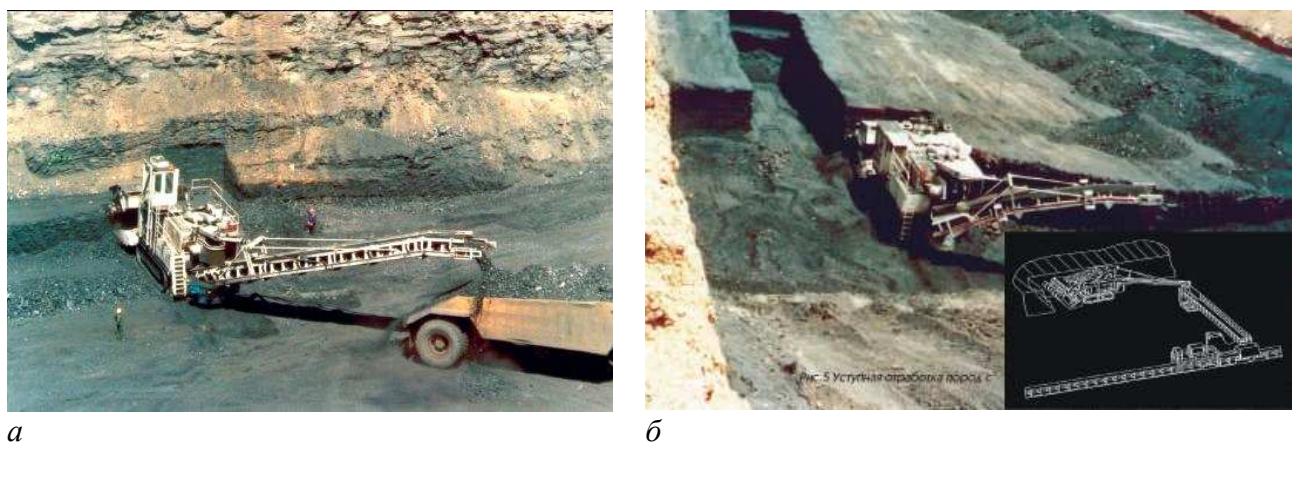


Рис. 5.32. Стреловой комбайн с фрезерным рабочим органом VASM 2D

В процессе работы комбайнов VASM производится скальвание породы рабочим органом – режущим барабаном, закреплённым на поднимающейся и опускающейся с помощью гидроцилиндров стреле, при одновременном поступательном и вибрационном движении. Погрузочное устройство, находящееся на уровне подошвы забоя, принимает разрушенную горную массу и перепускает её в центр комбайна. Расположенный посередине пластинчатый конвейер транспортирует материал на погрузочную стрелу, с которой порода передаётся на разгрузочный конвейер. В качестве ходового механизма используется двухгусеничная тележка. Привод хода – гидравлический. Рабочий орган состоит из двух или более (в зависимости от размера комбайна) одинаковых режущих уз-

лов, каждый из которых содержит в себе двигатель, предохранительную муфту, привод и два отвальных сегмента, смонтированных на общем кронштейне. Узел привода установлен в режущем барабане. Специальное гидравлическое устройство обеспечивает смещение барабана в рабочей стреле, что позволяет отбивать породу, находящуюся между отдельными отвальными сегментами. Такое конструктивно-компоновочное решение позволяет отрабатывать слои высотой до 5 м, исключает предпосылки образования крупнокускового материала за счёт скола пород у верхней поверхности забоя, но в то же время делает машину динамически менее устойчивой и, в частности, сложной в техническом обслуживании механизма, обеспечивающего колебательные движения элементов исполнительного органа.

Машины типа VASM с теоретической производительностью от 400 до 800 м³/ч наиболее успешно применяются на открытых горных работах при отработке выдержаных угольных пластов, а также на карьерах стройиндустрии. Прочностные свойства массивов, отрабатываемых машинами типа VASM, характеризуются пределом прочности пород на сжатие до 35 МПа, при отработке же более крепких пород производительность снижается, а энергоёмкость процесса растет, динамические показатели ухудшаются, коэффициент готовности машины падает, что приводит к частой замене породоразрушающего инструмента и трудоёмкому ремонту.

В России разработан комбайн послойного фрезерования КГФ-60, промышленные испытания проводились на Афанасьевском карьере (рис. 5.33). Комбайн КГФ-60 работает по двум основным технологическим схемам: схема, при которой предусматривается непосредственная погрузка отбиваемого материала в средства транспорта; схема, предполагающая укладку отбиваемого материала в штабель, с последующей его погрузкой либо самим комбайном, либо колёсным погрузчиком.



Рис. 5.33. Комбайн КГФ-60 на испытаниях

Следует отметить, что в 1970-х годах ряд горнодобывающих компаний, в основном в Австралии и США, поддержали программы научных исследований и проекты машиностроительных фирм, направленные на создание машин и механизмов для открытой безвзрывной разработки месторождений полезных ископаемых. Многие известные фирмы-производители горнодобывающих машин участвовали в этих программах и разработали пионерные образцы машин для разрушения горных пород механическим способом. Однако, к настоящему времени ни одна из фирм не продолжила разработок в этой области и только немецкая компания Wirtgen Group последовательно продолжает свою деятельность в области создания новых и совершенствования освоенных машин для безвзрывной тонкослоевой выемки полезных ископаемых при открытом способе разработки месторождений.

Специально для горной промышленности созданы модели 1900 SM, 2100 SM, 2500 SM, 3000 SM и последняя – 4200 SM (цифры обозначают ширину барабана в мм). Четыре первые модели имеют два задних гусеничных тракта и один передний, модель 4200 SM – по паре гусеничных трактов спереди и сзади. На комбайнах Wirtgen крутящий момент от двигателя посредством ремённой передачи передается на планетарный редуктор, встроенный непосредственно во фрезерный барабан. Между передними и задними гусеницами расположен горизонтально режущий орган, представляющий собой фрезу, армированную твердосплавными зубцами. Когда машина продвигается вперёд и отрабатывает слой на определённую глубину, дроблённое полезное ископаемое направляется по спирали барабана режущего органа на боковой конвейер, оттуда на погрузочный конвейер, расположенный в хвостовой части машины. Ходовая часть представляет собой четыре свободно качающиеся в вертикальной плоскости гусеничные тележки, привод – от гидромоторов с регулировкой частоты вращения. Тележки объединены рычажной системой с приводом от гидроцилиндров. Поворот комбайна осуществляется за счет поворота гусеничных тележек вокруг гидравлических стоек, на которые эти самые тележки навешиваются. Комбайн благодаря такой системе отличается высокой маневренностью. Транспортирование в пределах машины и погрузка в средства транспорта экскавируемой горной массы осуществляется ленточными конвейерами и совмещается во времени с процессом экскавации. По характеру работы машины этого типа относятся к машинам непрерывного действия. Отсутствие традиционных для роторных экскаваторов поворота верхнего строения и стрелы ротора позволяет существенно снизить влияние усилий копания на конструктивные элементы машины, уменьшить её габариты и массу, расширить диапазон разрабатываемых горных пород по крепости.

Горные комбайны Wirtgen Surface Miner представляют собой один из доминирующих видов оборудования, которое осуществляет фрезерование массива с одновременной погрузкой и получением в забое куска крупностью менее 50 мм (около 80-90% общего количества), что позволяет снижать затраты на горное производство и дробление. В течение последних 25 лет фирма Wirtgen

GmbH освоила производство принципиально нового для открытой разработки месторождений оборудования – карьерных комбайнов Wirtgen Surface Miner.

В 1989 г. было принято решение на базе самой удачной дорожной фрезы 2100 DC создать версию горного комбайна 2100 SM для горнодобывающей промышленности. Первые модели комбайнов 4200 SM и 3700 SM стали «родителями» новой концепции комбайна 4200 SM.

Год 2000-й оказался переломным в деле модернизации конструкции всего ряда комбайнов. Принципиальным стал полный перевод всех машин на гидромеханическую (клинеремённую) передачу и на четырехтегельческий ход; возросли мощность и рабочая масса машин, был внесен также ряд усовершенствований в системы управления и обслуживания машин, в том числе с использованием непрерывной компьютерной диагностики всех операций, выполняемых комбайном. Начиная с 2000 г. по настоящее время, из 470-ти выпущенных машин Wirtgen модели W2200, 125 выполнены в модификации горный комбайн модели 2200 SM, из них 101 – с обычным и 24 – с расширенным барабанами.

Комбайны с расширенным барабаном используются при технологии «windrows», при которой отбитая комбайном горная порода не загружается через конвейер в транспортный сосуд, а укладывается на рабочей площадке рядами («валками»), располагаемыми в межгусеничном пространстве комбайна (рис. 5.34).



Рис. 5.34. Комбайн Wirtgen 2200 SM с технологией «windrows» на карьере известняков

Опыт создания и эксплуатации карьерных комбайнов Wirtgen Surface Miner позволил крупномасштабно реализовать концепцию безвзрывной разработки массивов горных пород, как в горной промышленности, так и в гражданском строительстве. При этом каждый комбайн создается для конкретных горно-геологических условий. Комбайн для добычи угля может оснащаться барабаном шириной 3800 мм, для разработки некрепких известняков – шириной 2500 мм. В настоящее время накоплен значительный опыт использования этих

комбайнов в Японии (породы с прочностными характеристиками 120-250 МПа), в США (до 120 МПа), в Ливии (80-140 МПа) и в Индии.

Особое место в ряду комбайнов Wirtgen занимает новая концепция модели 4200 SM, выпущенной в начале 2009 г. и созданной конструкторами фирмы с учетом пожеланий австралийских инженеров (рис. 5.35).



Рис. 5.35. Комбайн Wirtgen 4200 SM на выставке (а) и на выемке угля (б)

Особое внимание было уделено созданию комфортных условий работы оператора, для чего кабина размещена на левой передней ходовой тележке на специальных резиновых амортизаторах и таким образом изолирована от основного корпуса машины. Благодаря такой компоновке при работе комбайна обеспечивается защита от вибрации и снижение шумовых нагрузок от двигателя. Предусмотрена дополнительная шумоизоляция, кондиционирование воздуха, удобное поворотное ($\pm 135^\circ$) кресло и панорамное остекление, органы контроля и управления комбайном размещены в подлокотниках. Кабина комбайна может поворачиваться в горизонтальной плоскости на угол $\pm 45^\circ$ относительно оси его движения при фрезеровании. Разгрузочный конвейер поворачивается на угол 180° . Конструктивно комбайн способен вести безопасную погрузку горной массы в карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 240 т в непосредственной близости к верхней бровке откоса уступа.

Пионером в области интенсивного освоения безвзрывной тонкослоевой технологии разработки месторождений полезных ископаемых с использованием комбайнов фирмы Wirtgen в России является холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ групп», на карьерах которого к настоящему времени по новой технологии добыто свыше 20 млн. т сырья. Фактический коэффициент использования комбайнов по времени составил 0.74 при непрерывном режиме горных работ. В рамках этой программы на ряде карьеров цементных заводов в настоящее время применяются комбайны большего типоразмера. Так, с целью расширения производства ОАО «Кавказцемент», на Джегутинском карьере перешли на более мощные комбайны модели 2500 SM (2 шт.), первый из которых за два месяца работы добыл около 400 тыс. т известняка, при сменной производительности около 5 тыс. т. Следующим объектом выбран карьер известняка Липец-

кого цементного завода (рис. 5.36). С момента ввода комбайнов в эксплуатацию и до конца 2008 г. по безвзрывной технологии было добыто около 530 тыс. т сырья.



Рис. 5.36. Работа комбайна Wirtgen 2500 SM на Сокольско-Ситовском карьере
ОАО «Липецкцемент»

При разработке бокситовых месторождений Киндия и Баландугу (Гвинея) новая технология используется РУСАЛОм уже около 10 лет, в работе находятся 5 комбайнов моделей 2100 SM, 2200 SM и 2500 SM (рис. 5.37). За эти годы было добыто около 8 млн. т бокситов, в том числе около 3 млн. т высококачественных руд, ранее отчужденных в целики взрывоохраных зон. Накопленный опыт комбайновой технологии позволил специалистам РУСАЛА в этот период ввести в эксплуатацию месторождение Баландугу без сооружения традиционного дробильного корпуса, что позволило значительно уменьшить при этом капиталовложения на строительство рудника. За 2005-2008 гг. на этом месторождении было добыто свыше 5 млн. т руды. Таким образом, с 2000 г. в Гвинее комбайнами Wirtgen добыто свыше 12 млн. т бокситов.



Рис. 5.37. Работа комбайна Wirtgen 2500 SM на бокситах Гвинеи

В Австралии компанией Fortescue Metals Group Ltd. в течение трёх лет реализуется один из крупнейших в мире проектов по разработке железорудного месторождения (район Пилбара). В настоящее время, основным добычным оборудованием служат 19 комбайнов модели 2500 SM. Проектная годовая производительность карьера составляет около 45 млн. т.

Безвзрывная разработка массивов горных пород комбайнами Surface Miner позволяют обеспечить 100 % безопасность горных работ в районах, где они запрещены с применением буровзрывного рыхления. Это обеспечивает эксплуатацию запасов, заключенных в целиках взрывоохраных зон: это, как правило, участки, расположенные близко к заводу, к жилым зданиям, к транспортным и другим магистралям. Одновременно, в определённых горнотехнических условиях, сокращается дальность транспортирования добываемого полезного ископаемого при соответствующем уменьшении доли транспортной составляющей в себестоимости продукции.

Мировой опыт, накопленный за более чем 20-летний период ведения горных работ по безвзрывной, экологически более безопасной технологии, позволяет утверждать, что карьерные комбайны Wirtgen Suiface Miner на открытых горных работах при добыче различных полезных ископаемых могут являться основной горнодобывающей машиной и обеспечивать возможность:

- производительной, без применения БВР, выемки горных пород прочностью до 120 МПа (в отдельных случаях до 200-250 МПа);
- тонкослоевой селективной разработки месторождений полезных ископаемых, представленных любыми залежами, в том числе сложноструктурными пачками и пластами, обеспечивая высокую степень полноты и качества извлечения полезного ископаемого из недр;
- получать из карьера горную массу, фракционный состав которой не требует последующего крупного и, частично, среднего дробления и пригодную для транспортировки конвейерным транспортом;
- работы автосамосвалов на спрофилированной поверхности с заданными поперечными и продольными уклонами для движения машин.

5.5.3. Транспортные работы

Карьерный транспорт – это комплекс средств перемещения из экскаваторных забоев вскрышных пород к отвалам; полезного ископаемого – к приёмным бункерам обогатительных фабрик, складам полезного ископаемого и т.п. От чёткой работы карьерного транспорта во многом зависит эффективность разработки месторождения. Он является связующим звеном в общем технологическом процессе и одним из наиболее трудоёмких 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.

Интенсивность работы карьерного транспорта характеризуется *грузооборотом карьера*. Грузооборотом называется количество полезного груза (в т

или в м³), перемещаемого в единицу времени (в час, смену, сутки, год). Масштаб горных работ карьера определяется величиной грузооборота. Он слагается из объёмов перевозок вскрыши, полезного ископаемого и хозяйствственно-технических грузов. Основной объём в грузообороте обычно составляет вскрыша. Минимальный объём приходится на хозяйствственно-технические грузы.

Грузооборот (или часть его), характеризуемый устойчивым во времени направлением перемещения, называется *грузопотоком*. Таким образом, под *грузопотоком* понимается поток грузов, характеризуемый направлением относительно контура карьера, объёмом и качеством транспортируемого груза, а также длительностью периода функционирования. При формировании грузопотоков обычно стремятся к разделению грузов по качественному признаку (вскрыша и полезное ископаемое) и пунктам назначения. Грузооборот карьера и отдельные грузопотоки изменяются по мере развития горных работ. Вопрос о выделении отдельных грузопотоков решается при проектировании карьера на основании технико-экономических расчетов (с учетом схемы вскрытия месторождения).

К особенностям карьерного транспорта, определяемым спецификой открытых разработок, относятся:

- значительная мощность грузопотоков, составляющая десятки миллионов тонн в год, и длительные сроки их функционирования (от нескольких лет до 20–30 и более);
- относительно небольшие расстояния транспортирования (от нескольких сотен метров до 10–15 км, в среднем 2–4 км);
- движение в грузовом направлении происходит, как правило, при крутом (часто предельном по техническим возможностям данного транспортного средства) подъёме;
- значительная плотность (от 2 до 5 т/м³), повышенная прочность и абразивность, неоднородная кусковатость перемещаемой горной массы, ударные воздействия при погрузке и разгрузке;
- нестационарность пунктов погрузки горной массы и разгрузки вскрышных пород, что обуславливает систематическое переустройство транспортных коммуникаций на уступах в карьере и на отвалах;
- высокий удельный вес затрат на транспортирование горной массы в затратах на добычу полезного ископаемого (обычно не менее 40 %, в отдельных случаях — до 65–75 %).

Основные транспортируемые на карьерах грузы — полезное ископаемое и вскрышные породы — относятся к насыпным.

Карьерный транспорт подразделяют на *циклический* (железнодорожный; автомобильный, канатный подъём); *непрерывный* (конвейерный, гидравлический) и *комбинированный* (различные сочетания циклического и непрерывного видов транспорта).

Продолжительность цикла (оборота) транспорта складывается из продолжительности отдельных операций: погрузки, движения с грузом к пункту разгрузки, разгрузки, движения к месту погрузки и пауз между перечисленными операциями. При циклическом транспорте погрузка, движение с грузом, разгрузка и движение без груза осуществляются последовательно. При транспорте непрерывного действия эти операции совмещаются.

По функциональному признаку различают самостоятельные и специальные виды карьерного транспорта. *Самостоятельным транспортом* (железнодорожным, автомобильным, конвейерным, гидравлическим) возможно перемещение горной массы от забоев до пунктов приёма. *Специальные виды транспорта* (скиповой, гравитационный, канатные подвесные дороги и др.) могут использоваться только на отдельных участках перемещения груза (обычно для подъёма или спуска из карьера) и являются звеном комбинированного транспорта.

Выбор карьерного транспорта определяется горно-геологическими условиями разрабатываемого месторождения; величиной грузооборота; глубиной карьера; расстояниями транспортирования, климатическими условиями. На открытых горных работах используют почти все известные виды и технические средства перемещения грузов. Наибольшее распространение получили железнодорожный, автомобильный и конвейерный транспорт.

Железнодорожный транспорт

Железнодорожный транспорт рекомендуется применять на карьерах с большим годовым грузооборотом (25 млн. т и выше) при длине транспортирования 4 км и более. При использовании новейших тяговых агрегатов и уклонах путей до 60 % глубина применения железнодорожного транспорта может быть увеличена до 350 м и более.

Достоинства железнодорожного транспорта:

- небольшой расход энергии вследствие малого удельного сопротивления движению подвижного состава по рельсовым путям (20-25 Н на 1 т массы поезда);
- возможность достижения практически любой производственной мощности карьера при любом расстоянии перевозок за счёт большой пропускной способности путей и увеличения массы поезда до 1500 т и более; возможность автоматизации движения транспортных средств и управления транспортными операциями;
- надёжность работы в любых климатических и горно-геологических условиях; весьма низкая себестоимость 1 т. км перевозки (меньше, чем при автомобильном и конвейерном транспорте, в 4–6 раз).

Основной недостаток состоит в том, что при железнодорожном транспорте предъявляются наибольшие требования к плану и профилю пути. Необходимы большая протяженность фронта работ на уступах: не менее 300–500 м (рис. 5.38), кривые большого радиуса (не менее 100–120 м), небольшие подъ-

ёмы и уклоны путей (до 25–30, реже 40–60 %). Резко возрастают длина и объёмы наклонных траншей, общий объём горных работ и срок строительства карьера; снижается маневренность транспортных средств и возможная производительность экскаваторов при раздельной выемке. Весьма трудоёмки перемещение и содержание путей.



Рис. 5.38. Погрузка руды в железнодорожный транспорт в забоях Лебединского карьера

Средствами железнодорожного транспорта являются рельсовые пути и подвижной состав. Железнодорожные пути на карьерах бывают стационарными, сохраняющими своё положение постоянно или в течение длительного времени (пути на поверхности, в транспортных бермах и капитальных траншеях), и временными, периодически перемещаемыми вслед за подвижанием фронта работ на уступах и отвалах. Ширина колеи равна 1524 мм, строение пути и его содержание не отличаются от мировой практики в гражданских отраслях промышленности.

Железнодорожный путь состоит из нижнего и верхнего строений. Нижнее строение представляет собой земляное полотно с водоотводными и искусственными сооружениями. Земляным полотном выездных путей является основание траншей, земляным полотном забойных путей – рабочая площадка уступа, отвальных путей – насыпь отвалов. Верхнее строение пути состоит из балласта, шпал, рельсов со скреплениями и противоугонов.

Балласт из щебня крупностью 20–79 мм необходим для равномерного распределения давления и смягчения ударов от подвижного состава на земляное полотно, а также защиты его от промерзания, отвода поверхностных вод. Его толщина 15–20 см на временных и 25–40 см на стационарных путях.

Шпалы служат для передачи давления от подвижного состава на балласт, их стандартная длина 270 см, материал преимущественно дерево с пропиткой антисептиком. Число шпал в зависимости от нагрузки на ось и интенсивности движения поездов составляет 1440–2000 шт. на 1 км пути.

Стандартная длина рельса 12,5 и 25 м. На постоянных путях применяется сварка рельсов в длинные плети. На криволинейных участках используются короткие отрезки рельсов требуемой длины. К шпалам рельсы прикрепляют костылями, реже шурупами и болтами. Болтовое крепление, при котором используются сквозные болты, является наиболее прочным. Концы рельсов соединяются между собой стыковыми накладками и болтами.

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. 5.39, *а*). 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 (рис. 5.39, *б*). Наличие моторных думпкаров в составе тягового агрегата позволяет значительно (в 2–2,5 раза) увеличить сцепной вес и полезную массу поезда по сравнению с электровозами или руководящий подъём (до 60 %). Дизельная секция в составе тягового агрегата позволяет исключить контактную сеть на передвижных путях. В некоторых тяговых агрегатах дизельная секция отсутствует. Тяговые агрегаты успешно эксплуатируются на карьерах страны и область их применения постоянно расширяется.

*а**б*

Рис. 5.39. Подвижной состав железнодорожного транспорта карьеров

Для перевозки горной массы применяются *думпкары* ВС-60, ВС-105, ВС-180 – саморазгружающиеся вагоны с двухсторонней разгрузкой грузоподъёмностью 60–180 т. Думпкары разгружают наклоном кузова при одновременном опускании борта, наклон кузова производится пневматическими цилиндрами, открывание бортов – рычажным механизмом. Ходовые части выполняют в виде двух-, трех- и четырёхосных тележек. Основными элементами вагонных тележек являются рамы, колесные пары, тормозные устройства, подвески и опоры.

лежек являются колёсные пары с буксовыми узлами, рессоры, тележки, тормозные устройства. Саморазгружающиеся вагоны получили наибольшее распространение на открытых разработках для перевозки вскрышных пород, поскольку частое перемещение пунктов разгрузки породы на отвалах затрудняет применение здесь громоздких стационарных разгрузочных устройств, а также для транспортирования руды на обогатительные фабрики.

Кроме того, для перевозок различных грузов, включая хозяйственые, на карьерах применяют практически весь парк вагонов, используемых в гражданской практике РЖД.

Автомобильный транспорт

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 автотранспорта:*

- гибкость, маневренность и взаимная независимость работы автосамосвалов, что упрощает схемы движения;
- радиусы поворота – 15–25 м, подъём и уклоны до 80–100 %;
- меньшие по сравнению с железнодорожным транспортом объёмы наклонных траншей и горно-строительных работ (на 40–50 %), а следовательно, меньшие сроки и затраты (на 20–25 %) на строительство карьеров.
- отсутствие рельсовых путей и контактной сети упрощает организацию работ, производительность экскаваторов возрастает на 20–25 % по сравнению с железнодорожным транспортом;
- увеличивается темп углубки горных работ и скорость подвигания забоев.

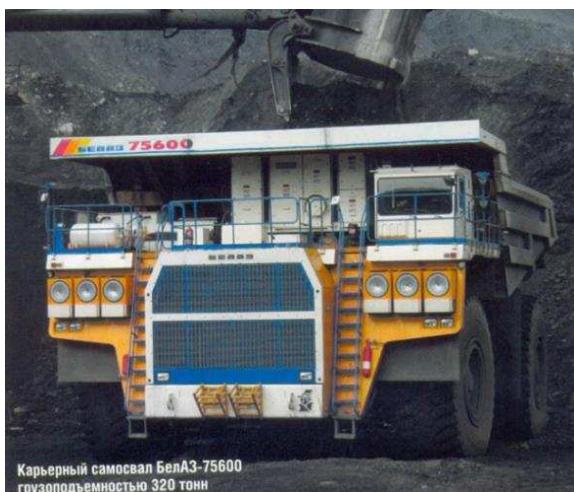
Автотранспорт эффективен при строительстве карьеров, разработке залежей сложных форм, малых размерах карьерных полей, сложной топографии поверхности. Он успешно применяется при раздельной выемке сложноструктурных залежей; может использоваться как вспомогательный и дополнительный к другим видам транспорта, особенно при горно-подготовительных работах.

Недостатки автотранспорта:

- высокая стоимость большегрузных автомашин, а также большие эксплуатационные расходы, вследствие чего высокие затраты на транспортирование 1 т горной массы;
- жёсткая зависимость от климатических условий и состояния автодорог: снижение производительности в период снегопадов, распутицы, дождей, туманов и гололёда; загазованность атмосферы карьеров при большой интенсивности перевозок.

В настоящее время доля перевозок автомобильным транспортом на карьерах России достигла 75% от всего объема транспортируемой горной массы. При этом укрепилась основная тенденция – рост грузоподъёмности самосва-

лов. В 2010 г. на предприятиях Кузбасса введены в эксплуатацию первые самосвалы БелАЗ 75600 грузоподъёмностью 320 т (рис. 5.40, а). Уже более 250 единиц самосвалов грузоподъемностью 220 т работают на карьерах России.



а



б

Рис. 5.40. Карьерные автосамосвалы завода БелАЗ грузоподъёмностью 320 т (а) и 105 т (б)

Общий парк работающих карьерных самосвалов грузоподъёмностью 30-320 т насчитывает 8300 единиц. На долю самосвалов производства ПО БелАЗ приходится 95 %. Вместе с тем в последние годы растёт доля машин зарубежного производства: Caterpillar – 180 ед., Komatsu – 160 ед., Terex – 45 ед., особенно в классе грузоподъёмности 60-100 т. Для транспортирования угля применяются углевозы – самосвалы типа БелАЗ грузоподъемностью 40 и 105 т (рис 5.40, б), их основное отличие – увеличенная глубина кузова ввиду малого объёмного веса угля. Применяют полуприцепы с донной разгрузкой (рис. 5.41, а), а также троллейвозы (рис. 5.41, б), которые на самом тяжёлом участке – в выездной траншее – передвигаются на электротяге от сети.



а



б

Рис. 5.41. Полуприцеп с донной разгрузкой (а) и троллейвоз (б)

Конвейерный транспорт

Конвейеры являются перспективным видом карьерного транспорта. Они обеспечивают высокую производительность предприятий и позволяют значительно улучшить использование выемочного оборудования.

Конвейерный транспорт получил широкое распространение в карьерах для доставки мягких и разрыхленных руд, угля и пород. Практически конвейерами с лентой шириной 900-2200 мм можно перемещать все породы в мелко-раздробленном состоянии.

Достоинства конвейерного транспорта:

- непрерывность и ритмичность перемещения грузов: возможность повышения производительности выемочно-погрузочного (на 25-30 % по сравнению с железнодорожным транспортом) и отвального оборудования; улучшение условий и повышение безопасности труда;
- благоприятные условия для автоматизации и централизованного управления;
- высокая производительность конвейерной установки, возможность использования при пересечённом рельефе местности.

Наиболее эффективен конвейерный транспорт при грузообороте 20-30 млн. т в год и более на карьерах с мощной толщей покрывающих мягких пород, а при выемке взорванных пород – на карьерах глубиной более 150 м при расстоянии транспортирования горной массы до 2,5-3 км (при пересечённой местности 10-20 км и более) и мощных грузопотоках.

Основные недостатки конвейерного транспорта:

- большая зависимость от климатических условий (низкие температуры, осадки);
- при транспортировании скальных пород необходимость их предварительного дробления до кусков размером 150-250 мм, значительные технические затруднения и, как правило, экономическая нецелесообразность раздельной выемки и раздельного транспортирования, что делает нецелесообразным применение конвейерного транспорта при разработке многосортных руд;
- ограниченность создания мощных однородных грузопотоков.

Конвейерный транспорт получил наибольшее распространение на угольных разрезах. Конвейеры чаще всего используют в комплексе с многочерпаковыми роторными и цепными экскаваторами.

В комплексе с одноковшовыми экскаваторами и передвижными дробильно-грохотильными агрегатами они используются в схемах циклично-поточной технологии (ЦПТ) горных работ при разработке полускальных и скальных пород (рис. 5.42).

В общем виде в состав технологической схемы карьерного конвейерного транспорта входят: забойные, сборочные, подъёмные, магистральные и отвальные конвейерные установки.

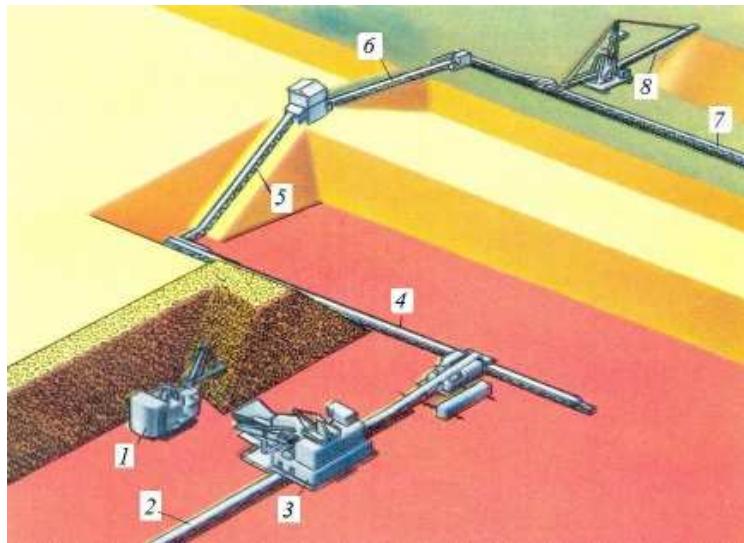


Рис. 5.42. Схема ЦПТ выемки и транспорта скальных горных пород:

1 – прямая лопата; 2 – забойный конвейер; 3 – мобильная дробилка; 4 – сборочный конвейер;
5 – подъёмный конвейер; 6 – магистральный конвейер; 7 – отвальный конвейер;
8 – отвалообразователь

Забойные конвейеры (типа КЛЗ) располагают на рабочей площадке уступа для перемещения горной массы из забоев экскаваторов к сборочным конвейерам.

Сборочные конвейеры служат для транспортирования руды и породы от одного или нескольких забойных конвейеров к подъёмной конвейерной установке. Располагаются на нерабочем борту карьера или в торцевой части в полустанционарном или стационарном положении.

Подъёмные конвейеры являются стационарными. Они принимают горную породу от сборочных конвейеров и перемещают её на поверхность карьера. Подъёмные конвейеры обычной конструкции преодолевают угол подъема от 12-14 до 18°. Увеличить угол подъёма можно, применяя специальные конструкции конвейеров.

Магистральные конвейеры (КЛМ) являются стационарными установками, с помощью которых горную массу транспортируют по поверхности карьеров от подъёмных конвейеров к отвалам или приёмным бункерам обогатительных фабрик.

Отвальные конвейеры (КЛО) конструктивно аналогичны забойным установкам и служат для перемещения породы от магистральных конвейеров к отвалообразователям.

Крупность подаваемых на конвейер кусков руды не должна превышать 300-350 мм, поэтому устанавливают передвижные дробильные станции либо вблизи выемочной машины с загрузкой горной массы в бункер дробилки непосредственно экскаватором (рис. 5.43), либо применяют сборочную дробилку одну на несколько горизонтов, тогда горную массу в неё подают автотранспортом (рис. 5.44).



Рис. 5.43. Мобильный комплекс внутрикарьерного дробления:
1 – экскаватор-мехлопата; 2 – мобильный комплекс дробления; 3 – конвейерный перегружатель; 4 – забойный конвейер



Рис. 5.44. Передвижная дробильная станция производительностью 5 500 т/ч

Типы конвейеров: *ленточные, ленточно-канатные, ленточно-цепные и пластиначатые*.

При низких температурах (минус 40-45 °C) применяют специальные морозоустойчивые ленты. Высокопрочные ленты изготавливают 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, сплетённых из тонких проволок и укладываемых в один слой. Производительность конвейеров колеблется от 300 до 15 000 т/ч.

Длина ставов забойных ленточных конвейеров с однобарабанным приводом на практике изменяется от 80-100 до 900-1000 м. Длина ставов магистральных конвейеров изменяется в широких пределах (0,4-3 км, иногда до 4-5 км); при длинных ставах применяют двух- и трехбарабанный привод с незави-

симыми двигателями или головной и хвостовой приводы (с двумя и более двигателями каждый).

Допустимые углы подъёма и спуска материала ленточными конвейерами зависят от физико-технических характеристик транспортируемых пород. Максимальный угол подъёма конвейеров может достигать $20\text{--}22^\circ$. При транспортировании взорванных и дроблённых пород допустимый угол подъёма снижается до $16\text{--}18^\circ$, а при материале округлой формы (гравий и др.) – до $13\text{--}15^\circ$. Равномерная загрузка ленты позволяет увеличить угол подъёма полустационарных и стационарных конвейеров на $1\text{--}2^\circ$. При спуске груза максимальная величина наклона конвейера на $2\text{--}3^\circ$ меньше допустимого подъёма. Обычно на практике углы подъёма и спуска конвейерами на $2\text{--}3^\circ$ меньше допустимых.

Для увеличения преодолеваемого подъёма разработан ряд конструкций крутонаклонных ленточных конвейеров:

- с дополнительным прижатием породы к ленте внешней силой: конвейеры с прижимной лентой-сеткой, с прижимаемой лентой и дополнительными прижимными роликами и др.; у таких конвейеров ограничение угла наклона $\beta=35\text{--}45^\circ$ обусловливается ростом массы прижимных элементов и сложностью всей установки;

- с лентой глубокой желобчатости, что позволяет увеличить угол β до $25\text{--}30^\circ$ благодаря возрастанию нормального давления породы на ленту из-за возникновения дополнительных распорных усилий;

- с высокими подпорными элементами (металлическими, пластмассовыми, резиновыми поперечными перегородками), что позволяет увеличить β до $40\text{--}45^\circ$.

Увеличение угла наклона конвейера позволяет существенно сократить его длину и, тем самым, уменьшить размер карьера поверху (рис. 5.45).

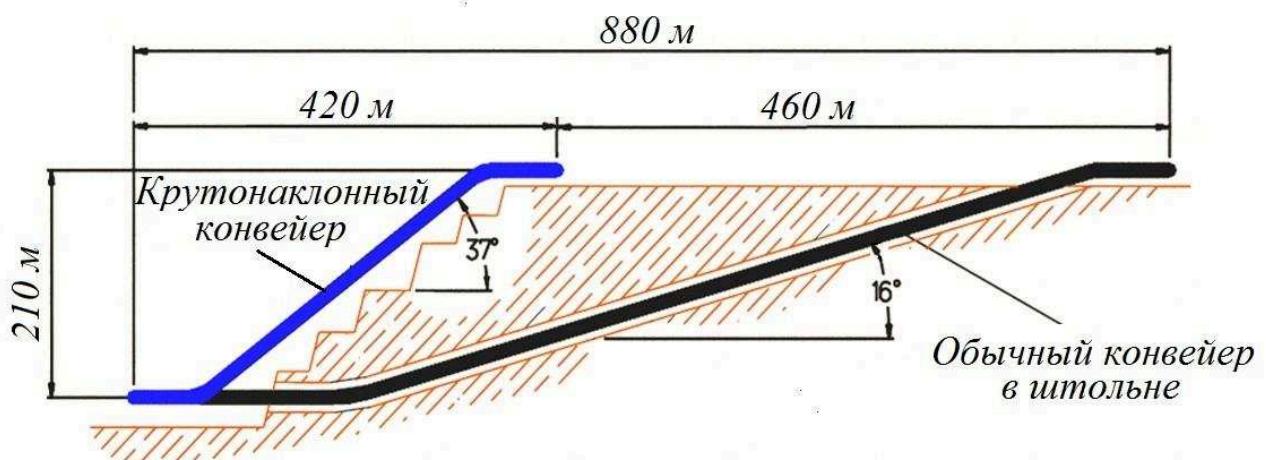


Рис. 5.45. Схема параметров крутонаклонного и обычного конвейеров

Один из наиболее удачных примеров применения ЦПТ на базе крутонаклонного конвейера с прижимной лентой КНК-270/3500 – карьер «Мурунтау» Навоийского ГМК в Узбекистане (рис. 5.46).



Рис. 5.46. Наклонная часть КНК-270/3500 на карьере «Мурунтау»

Конвейер крутонаклонный предназначен для приема 3500 т/ч горной массы и подъёма её с горизонта +285 м на горизонт +555 м с суммарной высотой подъёма 270 м под углом 37^0 и последующей её передачи на магистральный конвейер и далее на складской конвейер производительностью 3500 т/ч. Последний, вместе с тележкой перегрузочной и погрузчиком штабелеукладчиком скальным ПШС-3500, составляет комплекс для погрузки руды в думпкары (рис. 5.47, а) или в штабель на промежуточный склад (рис. 5.47, б).

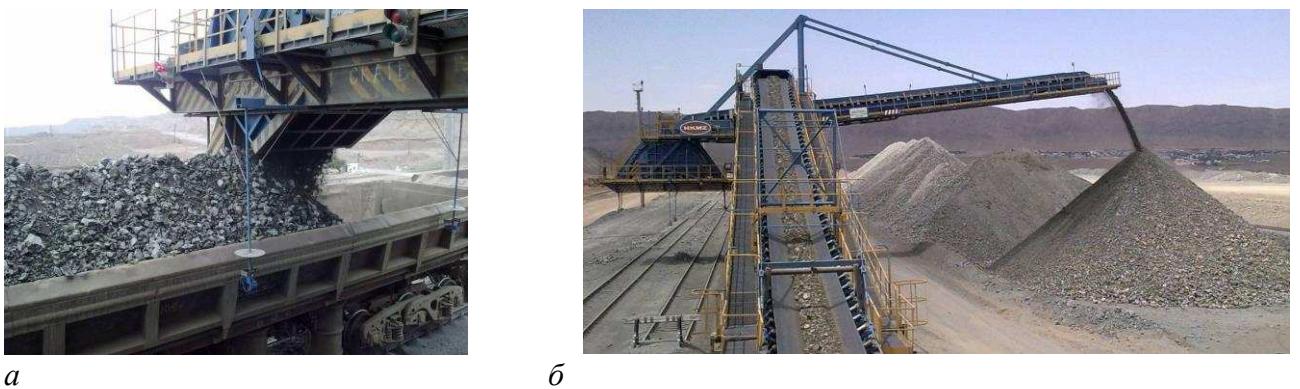


Рис. 5.47. Выгрузка горной массы с конвейера в думпкары (а) и штабель (б)

Комбинированный транспорт

Применение комбинированных схем транспорта связано с эксплуатацией двух или более видов транспортных средств. Комбинированный транспорт в карьерах применяют в тех случаях, когда один из видов транспорта не обеспечивает эффективной и экономичной разработки месторождения. Так, если при глубине карьера 150-200 м затраты на транспорт составляют около 50 % всех расходов на добычу полезного ископаемого, то, по мере понижения горных работ, эти расходы возрастают до 65-70 %.

Целесообразность применения комбинированных схем карьерного транспорта вызывается: большой скоростью углубки карьера; сложным залеганием полезного ископаемого; значительным расстоянием транспортирования, ограниченными размерами карьера в плане. В этих условиях переход на комбинированные схемы транспорта позволяет снизить затраты на транспортирование, уменьшить трудоёмкость, металлоёмкость и энергоёмкость горных работ. Вместе с тем, применение комбинированных схем затрудняет обслуживание, ремонт и содержание оборудования, требует строительства перегрузочных пунктов в карьерах, что усложняет технологические процессы.

В комбинированных схемах обычно выделяют *три звена*: транспорт на уступах карьера; подъём на поверхность и транспорт на поверхности до пунктов разгрузки.

Транспорт первого звена (внутрикарьерный) непосредственно обслуживает добывчные забои. Он должен обладать большой маневренностью для обеспечения высокой производительности добывчных машин, полноты выемки и требуемого качества полезного ископаемого. Транспорт первого звена является сборочным, формирующим грузопоток.

Транспорт второго звена должен обеспечить перемещение горной массы по кратчайшим наклонным участкам пути.

Транспорт третьего звена (на поверхности) характеризуется транспортированием горной массы на большое расстояние по относительно горизонтальным участкам пути.

При комбинированном транспорте на отдельных звеньях транспортной цепи применяются различные виды и средства транспорта что позволяет достичнуть более высоких технико-экономических показателей его работы в целом, так как каждый из входящих в комбинацию видов транспорта эксплуатируется в наиболее благоприятных для него условиях. При этом необходима перегрузка горной массы из одних транспортных средств в другие, осуществляемая на перегрузочных пунктах, устраиваемых на поверхности, борту карьера (рис. 5.48) или его дне. Место расположения перегрузочных пунктов обосновывается технико-экономическими расчётами.



Рис. 5.48. Прегрузочные пункты на борту карьера

Чаще всего функции сборочного транспортного звена выполняет автомобильный транспорт. Основной недостаток его – резкое (в 1,5-2 раза) уменьшение производительности при увеличении расстояния перевозок с одновременным ростом затрат на транспортирование. Поэтому необходимо стремиться сократить длину откатки автосамосвалами до 0,7-1,5 км, а функции третьего или второго и третьего звеньев выполнять другими видами транспорта, которые обеспечивают меньшие затраты на перевозки при больших расстояниях или позволяют резко сократить длину подъёма (спуска) горной массы из карьера на господствующую поверхность.

Для подъёма горной массы наиболее высокие технико-экономические показатели достигаются при использовании скиповых и конвейерных подъёмников. Для транспортирования горной массы на поверхности лучшие результаты дает железнодорожный транспорт. Основные виды комбинированного карьерного транспорта показаны на рис. 5.49.

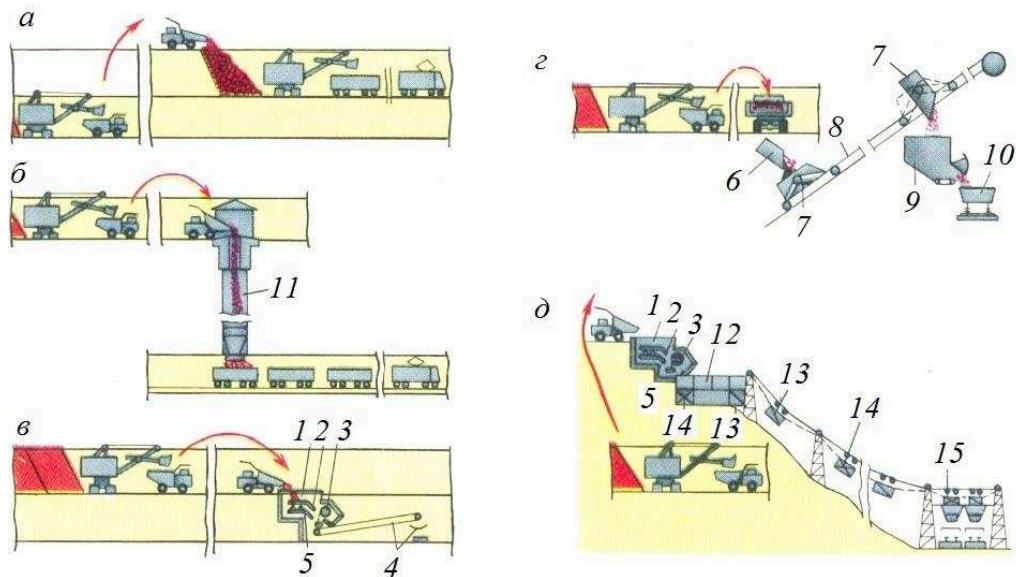


Рис. 5.49. Схемы комбинированного транспорта:

- а – автомобильно-железнодорожный с внутрикарьерным перегрузочным пунктом;
б – то же сrudоспуском; в – автомобильно-конвейерный с полустационарной грохотильно-дробильной установкой; г – автомобильный с подвесной канатной дорогой и полустационарной грохотильно-дробильной установкой:
1 – приемный бункер; 2 – грохот; 3 – дробилка; 4 – конвейер; 5 – питатель; 6 – бункер-дозатор; 7 – скип; 8 – подъемный канат; 9 – бункер на поверхности; 10 – думпкар;
11 –rudоспуск; 12 – пункт загрузки; 13 – гружёные вагонетки; 14 – порожние вагонетки;
15 – пункт разгрузки

Наибольшее распространение получили следующие сочетания транспорта: автомобильного с железнодорожным; автомобильного со сквозным или конвейерными подъёмниками.

Сквозной подъём (рис. 5. 50) в несколько раз сокращает длину пути перемещения грузов из карьера на поверхность, кроме того, большая грузоподъ-

ёмность скипа (до 200 т) и высокая скорость его движения (до 10 м/с) при высоте подъёма груза до 240 м позволяет достичь производительности в 2000 т/ч.

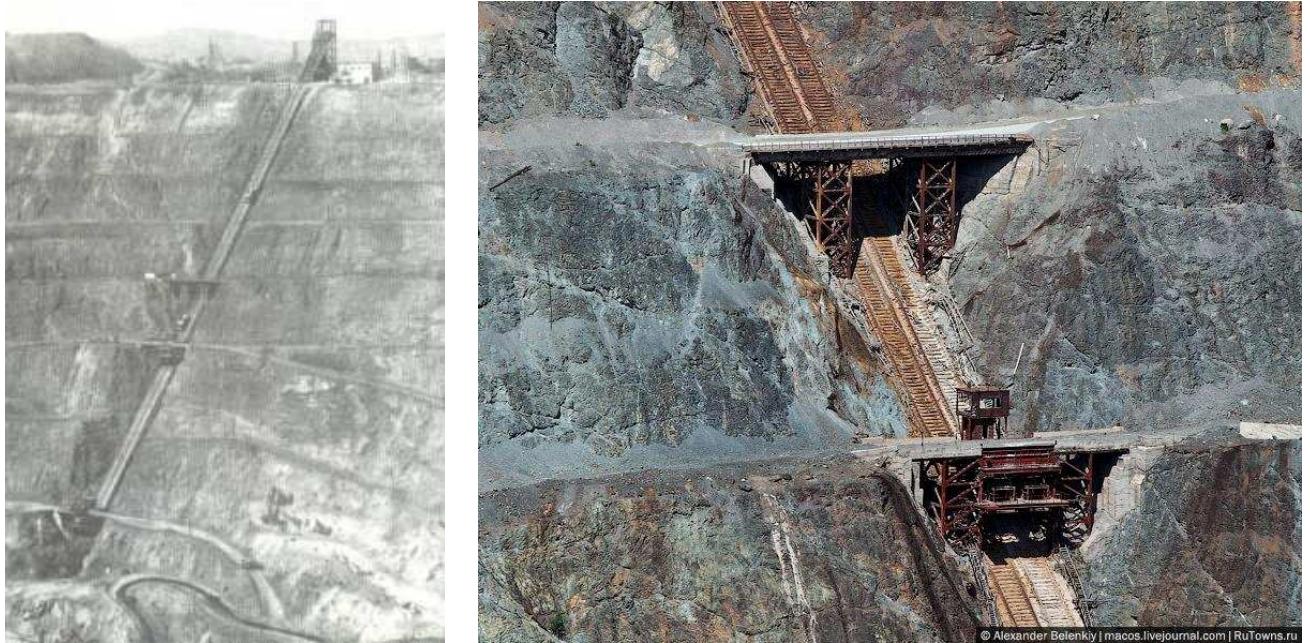


Рис. 5.50. Наклонный скраповой подъёмник в карьере

Канатные подвесные дороги состоят из погрузочной и разгрузочной станций (бункера, питатели, дозатор, рельсовые круговые обгонные пути, приводные механизмы или кольцевые шкивы тягового каната, механизмы присоединения и отсоединения вагонеток к тяговому канату), линейных опор для несущего и тягового канатов (двуихканатные дороги) или несуще-тягового каната (одноканатные дороги), подвижного состава (вагонетки), приводных и натяжных устройств, промежуточных и угловых станций (рис. 5.51). Обычно применяются двухканатные подвесные дороги с кольцевым движением вагонеток.



Рис. 5.51. Канатная подвесная дорога

Линейные металлические или бетонные опоры консольного типа с направляющими шкивами в верхней части имеют высоту 15–75 м. Расстояние

между опорами 100-300 м, при резко пересечённом рельефе иногда достигает 500-1000 м. Уклон канатно-подвесных дорог составляет 50-60 %. Диаметр тяговых канатов 25-40 мм, а несущих 30-80 мм.

Главное преимущество таких дорог проявляется в горной, пересечённой, а также труднопроходимой местности, поскольку расстояние между опорами, поддерживающими канат, может изменяться от сотен метров до километров. При вместимости вагонетки до 3 т и скорости её движения до 5 м/с производительность канатной дороги может достигать 650 т/ч, а её длина практически не ограничена, т.к. она может состоять из нескольких последовательно соединённых самостоятельных секций длиной до 10 км и более. Так, канатная дорога «Кристенберг – Булиден» (Швеция), служащая для транспортирования руды, имеет протяжённость 96 км.

Рудоспуски и рудоскаты, как и канатные подвесные дороги, применяют преимущественно на нагорных карьерах или при комбинированной (открыто-подземной) разработке месторождений. Кроме многократного сокращения пути движения горной массы, особо важным преимуществом рудоспусков и рудоскатов является перемещение её под действием собственной массы, без дополнительных затрат энергии. Кроме того, рудоспуски и рудоскаты служат буфером в технологии, позволяя за счёт накопленной в них горной массы сделать менее взаимозависимыми транспорт и добывочные работы.

Рудоспуски состоят из устья, ствола и выпускных устройств (рис. 5.52). По мере отработки уступа верхнюю часть внутренних рудоспусков периодически погашают, а устье оборудуют на нижележащем горизонте. Перегрузочные пункты над устьями внешних рудоспусков иногда оборудуют щековыми дробилками.

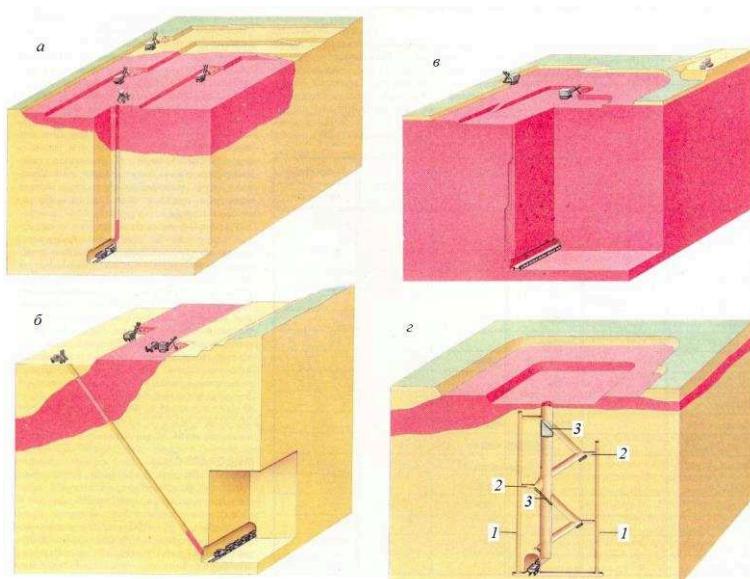


Рис. 5.52. Карьерные рудоспуски: вертикальный (а); наклонный (б); ступенчатый (в); ступенчато-наклонный (г):
1 – восстающий; 2 – смотровой ходок; 3 – грохот

Ствол рудоспуска – вертикальный (иногда наклонный), круглого (диаметра $d_p=3\text{--}6\text{ м}$) сечения, рудоспуски не крепят. Для контроля за движением руды и ликвидации зависаний параллельно нижней части рудоспуска проходят контрольный восстающий высотой 50 м и более, который через 10–12 м соединяют со стволовом смотровыми ходками. Нижняя часть ствола служит аккумулирующей емкостью для магазинирования руды, что увеличивает производительность рудоспуска и предотвращает разрушение выпускных устройств. Общая глубина рудоспусков на карьерах изменяется в пределах 50–700 м. Из нижней части ствола руда перегружается в железнодорожные вагоны или на конвейер через люковые выпускные устройства, состоящие из днища и затворов. Производительность рудоспуска определяется в основном транспортными условиями его загрузки и погрузки поездов в штольне и при диаметре рудоспуска 6 м достигает 10–12 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$

Достоинства карьерных рудоспусков: минимальное расстояние транспортирования (в 3–20 раз меньше, чем автосамосвалами), относительно небольшие капитальные вложения, низкие эксплуатационные расходы, небольшие трудоемкость и энергоемкость, гибкость связи между сборочным и внешним транспортом.

Недостатки: зависимость от климатических условий и свойств руды, жесткие требования к режиму эксплуатации, значительный износ транспортных устройств и выработок, затруднения с разделением руд по сортаменту.

Карьерный рудоскат представляет собой траншею, проложенную по откосу косогора под углом более 35° (рис. 5.53). Глубина траншеи зависит от рельефа поверхности косогора. Карьерные рудоскаты устраиваемые на естественных склонах нагорных карьеров, различаются:

- по углу наклона (наклонные – до 45° , крутые – $45\text{--}60^\circ$ и весьма крутые – $60\text{--}80^\circ$);
- по форме в плане, профиле, поперечном сечении;
- по конструктивному устройству (типу покрытия и виду погрузочных устройств на нижней площадке).



Рис. 5.53. Рудоскаты:
1 – траншея рудоската; 2 – приемная площадка

Рудоскаты с бункерами и специальными погрузочными устройствами целесообразно применять в южных районах либо при сезонном режиме работ, так как зимой горная масса в нижней закрытой части скатов замерзает и зависает. Высота таких рудоскатов ограничивается (до 60-80 м) для предотвращения разрушения погрузочных устройств.

Рудоскаты без погрузочных устройств надёжны в любых климатических условиях и независимо от высоты перепада горной массы, просты по устройству, но обуславливают дополнительную переэкскавацию породы. Они состоят из верхней разгрузочной площадки, собственно ската и нижней приемной площадки, где работает экскавационное оборудование.

При значительной высоте рудоскатов практикуется изменение углов их наклона в продольном профиле или трассы рудоската в плане для снижения конечной скорости и кинетической энергии крупных кусков. При угле поворота трассы ската на 10–90° скорость движения горной массы снижается от 3 до 100 %. Повышение угла наклона β безбункерных рудоскатов, особенно в нижней части, позволяет уменьшить их износ, увеличить объем складируемой на приемной площадке горной массы.

Расширение нижней части рудоската до ширины приемной площадки способствует увеличению его пропускной способности. До этой величины иногда расширяются скаты и по всей высоте. Ширина подошвы рудоската должна не менее чем в 3 раза превышать максимальный размер транспортируемого куска.

Производительность безбункерных рудоскатов зависит в первую очередь от конструкции их нижних частей, а рудоскатов с перегрузочными устройствами – от вместимости бункеров и интервала подачи транспортных средств.

5.5.4. Отвальные работы

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

При подземной разработке месторождений на каждую 1000 т добываемого 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 объём извлекаемых и размещаемых в отвалах пустых пород в несколько раз превышает объём добываемого полезного ископаемого и несопоставимо больше, чем при подземной разработке. На крупных карьерах объём отвальных работ достигает иногда десятков миллионов кубометров в год.

Отвалообразование – комплекс производственных операций по приёму 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 м³ вскрыши составляет в среднем около 20 %, а в мягких породах достигает 30 %. Поэтому все основные технико-экономические показатели работы карьера зависят от правильности выбора способа отвалообразования.

Различают три типа отвалов по размещению относительно контура карьера: внешние, внутренние и комбинированные. Внутренними называют отвалы, расположенные в выработанном пространстве; внешними – вне контуров карьера, комбинированными – с частичным размещением пород в отработанном пространстве карьера и за пределами карьерного поля.

Внутренние отвалы образуют преимущественно при бестранспортных (рис. 5.54, *а*) и транспортно-отвальных (рис. 5.54, *б*) системах 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.

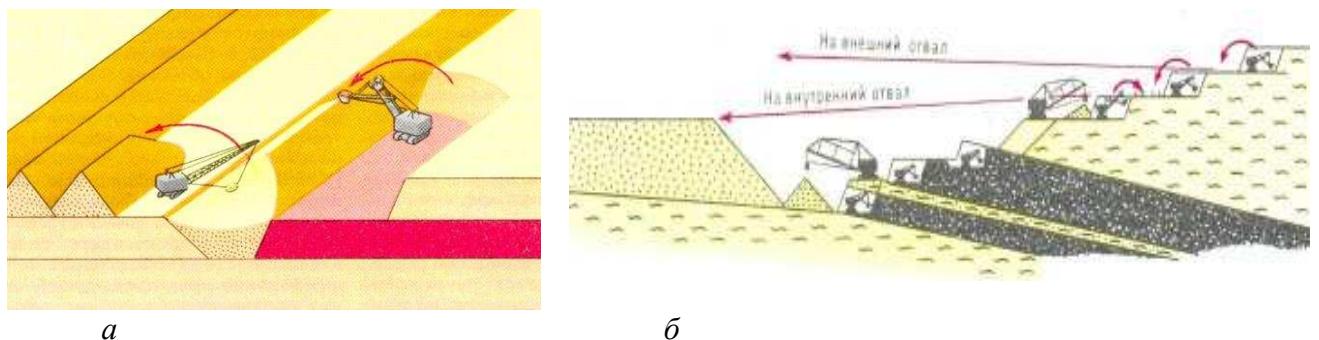


Рис. 5.54. Внутренние отвалы по бестранспортной (*а*) и комбинированной (*б*) схеме

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

Способы отвалообразования зависят, прежде всего, от вида применяемого транспорта и типа рабочего оборудования. При железнодорожном транспорте применяются экскаваторные (с механическими лопатами, драглайнами, абзетцерами), плужные и бульдозерные отвалы, при автомобильном транспорте – бульдозерные и экскаваторные отвалы, при конвейерном транспорте для механизации укладки породы в отвал используются консольные отвалообразователи (табл. 5.1).

Способы отвалообразования выбираются в зависимости от условий залегания полезного ископаемого, рельефа поверхности, характеристики пород, климатических и гидрогеологических особенностей района. Всё многообразие

возможных условий формирования и конструкций отвалов систематизировано в классификации акад. Н.В. Мельникова (табл. 5.2).

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-отвальных 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
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 (внешние 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

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).

Высота отвалов в зависимости от характера пород и способа отвалообразования

Таблица 5.3

Средства механизации отвальных работ	Породы	Высота отвала, яруса, м	
		равнинного	нагорного
<i>Одноковшовые экскаваторы:</i>			
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	—

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.

По основному виду горного оборудования, применяемому при отвалообразовании, различают экскаваторные, плужные и бульдозерные отвалы.

Процесс отвалообразования включает возведение первоначальных отвальных насыпей, разгрузку и складирование вскрышных пород, планировку поверхности отвала и перемещение транспортных коммуникаций на отвале.

В процессе развития отвалов фронт отвалообразования перемещается по различным схемам, поэтому отвалы различают и по способу их образования: параллельное, веерное, криволинейное, 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 посте-

пенно (если не противодействовать этому специальными мерами) укорачивается. При криволинейном развитии отвала этого можно избежать.

Экскаваторные отвалы

На крупных карьерах, разрабатывающих полускальные и скальные горные породы, в качестве отвального оборудования широко применяют одноковшовые экскаваторы и драглайны (рис. 5.55). Экскаваторное отвалообразование при использовании железнодорожного транспорта на отечественных карьерах является ведущим (на его долю приходится 85-90 % объёма складируемых пород).

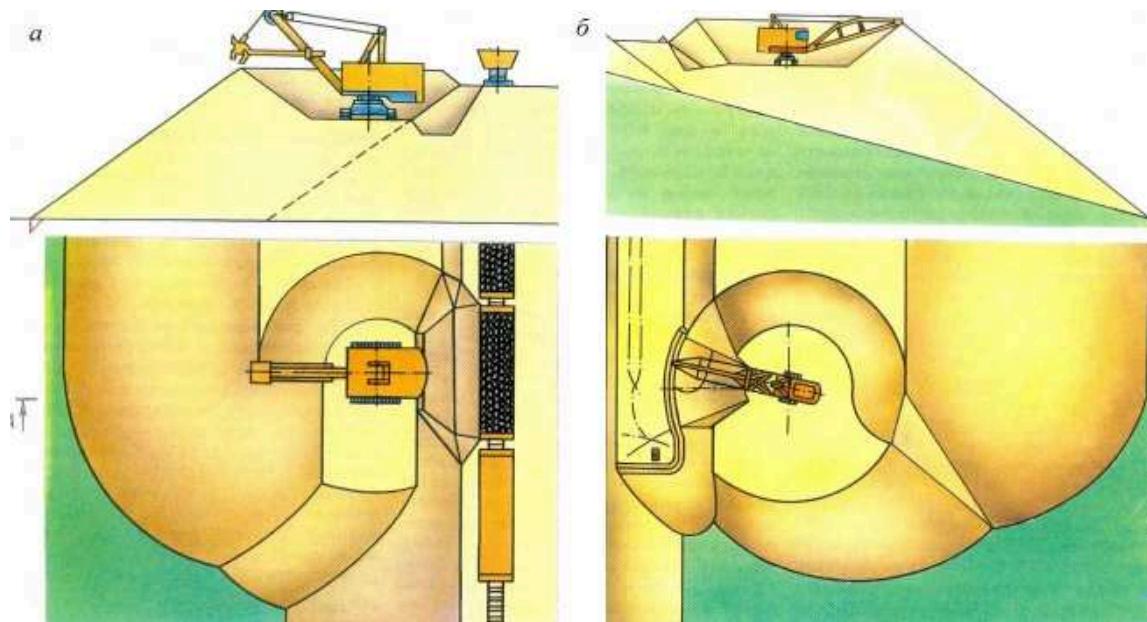


Рис. 5.55. Экскаваторное отвалообразование механической лопатой (а) и драглайном (б)

В этом случае процесс отвалообразования включает в себя приём и размещение пород в отвальные уступы экскаваторами, перевод экскаватора на новую заходку, переукладку железнодорожного пути.

При отвалообразовании *механической лопатой* уступ делят на два подуступа; на верхнем подуступе укладывают железнодорожные пути, экскаватор устанавливают на промежуточном горизонте. Для удобства приёма и последующей экскавации разгружаемой породы из думпкаров экскаватор на кровле нижнего подуступа образует специальную приемную выемку (канаву) длиной, равной полуторной или двойной длине думпкара, и глубиной 0,8-1 м. Локомотивосостав на отвал подается вагонами вперёд. В приемную выемку думпкары разгружаются поочерёдно. Укладка породы экскаватором в отвал производится в трёх направлениях: вперёд по ходу в нижний подуступ, в сторону развития отвала под откос нижнего подуступа и назад в верхний подуступ. Высота верхнего подуступа зависит от высоты разгрузки экскаватора и составляет 4-6, 6-8 и 7-9 м соответственно для экскаваторов ЭКГ-5, ЭКГ-8И и ЭКГ-12,5.

Переукладку железнодорожного пути в новое положение ведут железнодорожными кранами с шагом передвижки 20-25 м.

Рациональная высота отвального уступа меняется в широких пределах и зависит в основном от физико-технических характеристик складируемых пород и пород основания отвалов, рельефа поверхности, параметров экскаватора и составляет на равнине 15-30 м, а в гористой местности 70 м и более.

К достоинствам экскаваторного отвалообразования относят: большую величину приёмной способности отвального тупика; уменьшение трудоёмкости путевых работ; возможность применения более тяжёлого (в сравнении с плужным способом) подвижного состава.

Недостатками способа являются: большая стоимость отвального оборудования; небольшой фронт разгрузки вагонов на отвальном тупике; необходимость двукратной переэкскавации всего объёма вскрытых пород: сначала в забое, затем на отвале.

Плужные отвалы

Плужное отвалообразование предшествовало экскаваторному, но из-за небольшой производительности было в основном заменено экскаваторным; находит применение на карьерах с небольшим объёмом скальных вскрытых пород при большом числе тупиков, расположенных на разных горизонтах.

Процесс плужного отвалообразования включает выполнение следующих операций: разгрузку породы из думпкаров под откос отвального уступа, профилирование откоса уступа (вспашку), планировку поверхности отвала и передвижку пути.

Рельсовые пути располагают вдоль верхней бровки отвала, и порода из думпкаров разгружается непосредственно под откос отвального уступа. По мере заполнения отвала происходит увеличение ширины площадки между рельсовым путём и верхней бровкой отвала, и часть породы задерживается на ней. Оставшуюся породу сваливают под откос отвальным плугом. Разгрузка производится одновременно из двух-трёх думпкаров состава. Время разгрузки состава скальных пород 5-7 мин. летом и 15-20 мин. зимой, а мягких влажных – в 1,5-2 раза больше.

После разгрузки всего состава по всей длине выполняют профилирование (вспашку) отвальным плугом, который разравнивает сваленную породу боковым лемехом. Часть породы сталкивается плугом под откос и на отвальной бровке создается свободная площадка. Вспашку осуществляют в два – четыре прохода плуга. На свободную площадку вновь разгружают породу. Такая операция повторяется до тех пор (обычно четыре – девять циклов) пока разгрузка становится невозможной и создаётся площадка шириной 3,5 м. Куда переносят рельсовые пути вместе со шпалами.

Отвальный плуг представляет собой агрегат, исполнительным органом которого является система подвижных лемехов и передних щитов, которые вместе с пультом управления смонтированы на железнодорожной платформе.

Масса тяжелых отвальных плугов составляет 50-70 т, максимальный вылет главного крыла (лемеха) 7,5 м, рабочая скорость 6-10 км/ч, тяговое усилие до 180 кН, средняя производительность 3-3,5 тыс. м³/смену.

Перед передвижкой путей отвальная бровка планируется с превышением на 0,3 – 0,5 м уровня железнодорожных путей, поскольку в дальнейшем породы дают усадку. Передвижка путей без разборки осуществляется путепередвигателями цикличного действия.

Плужные отвалы имеют высоту 8-15 м.

Достоинства: небольшие капитальные затраты, т. к. один отвальный плуг и путепередвигатель могут обслуживать несколько отвальных тупиков; низкая энергоёмкость работ, ибо значительная часть породы складируется в отвал под действием силы тяжести; приёмная способность отвальных тупиков – 300-400 тыс. м³/год.

Недостатки: низкая высота отвального уступа (яруса): в мягких породах не более 15 м, в скальных породах не более 20 м из-за недостаточной устойчивости ж/пути; отсутствие эффективной механизации для передвижки железнодорожных путей и поддержания их в безопасном состоянии. Эти работы требуют больших ручных затрат и эксплуатационных расходов; невозможность использования плужных отвалов на неосущенных болотах и озёрах.

Бульдозерные отвалы

Бульдозерные отвалы применяют в основном при автомобильном транспорте (рис. 5. 56). 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 м³ за смену. Бульдозеры также используются на строительстве и ремонте не только отвальных, но и карьерных дорог.

*a**б*

Рис. 5. 56. Бульдозерные автомобильные отвалы: внутренний (*а*) и внешний (*б*)

При бульдозерном отвалообразовании с железнодорожным транспортом после возведения пионерной насыпи ж/д пути укладываются на расстоянии 4-5 м от бровки отвала. Ниже уровня путей на 1,5-2,0 м подрезкой бульдозером отвального откоса (до угла 60-80°) создается рабочая площадка, на которую из думпкаров выгружается порода, перемещаемая дальше к откосу отвала бульдозером. Минимальная ширина площадки должна быть достаточной для разворота бульдозера (не менее 8 м), длина равна примерно двум длинам составов (300-400 м), с уклоном 5-6° в сторону откоса отвала. После разгрузки состава бульдозер перемещает породу в отвал или в промежуточный штабель. Удельные приведенные затраты в 1,5-2,0 раза меньше, а производительность на 1 т массы оборудования в 6-7 раз больше, чем при использовании мехлопат ЭКГ – 4,6 и ЭКГ – 8. Основными недостатками являются: большой расход дизтоплива, кусковатость пород 350-400 мм.

К числу достоинств бульдозерного отвалообразования относятся возможность создавать высокие ярусы (при устойчивых породах – 20-40 м), что значительно увеличивает приёмную способность отвала, простоту строительства отвала и работы на нём; небольшие капитальные и эксплуатационные расходы; маневренность оборудования.

Гидромеханизация отвальных работ возможна при рыхлых вскрышных породах, при достаточных запасах воды в районе, намеченном для отвалообразования (рис. 5.57).

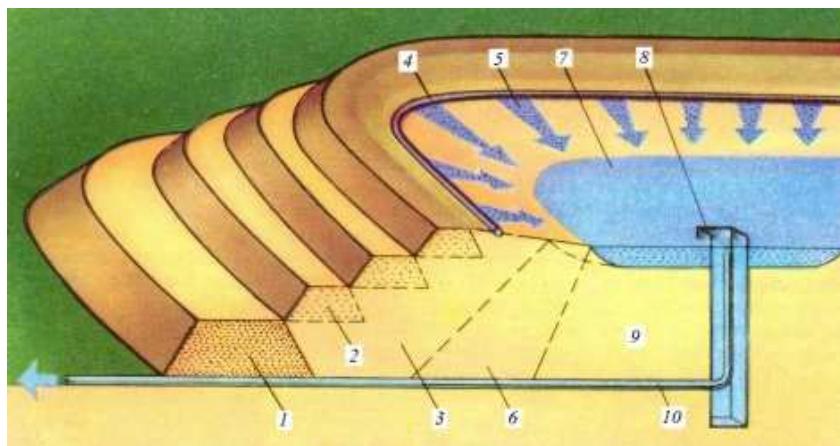


Рис. 5.57. Схема основных элементов гидроотвала:

- 1 – первичная дамба отвалообразования (дамба начального отвалообразования); 2 – дамбы последующего отвалообразования, возводимые поясами; 3 – упорная призма состоящая из наиболее крупных фракций намывного грунта; 4 – намывной пульповод на эстакаде; 5 – пляж (поверхность между дамбой обвалования и прудком); 6 – промежуточная зона; 7 – прудок (пруд-отстойник), обеспечивающий водоосветление и водоснабжение; 8 – водобросной (водозаборный) колодец; 9 – ядро (центральная зона); 10 – водобросная труба

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 же-

железнодорожным транспортом наиболее распространено отвалообразование экскаваторами ЭКГ-8и и ЭКГ-12,5.

Внутреннее отвалообразование применяется при разработке горизонтальных и пологих месторождений. Для перемещения породы во внутренние отвалы применяют мощные драглайны с вместимостью ковша 25-80 м³ и длиной стрелы до 100 м (ЭШ-25/100, ЭШ-80/100); механические лопаты с вместимостью ковша 35 м³ и длиной стрелы до 65 м (ЭВГ-35/65) (рис. 5.58).

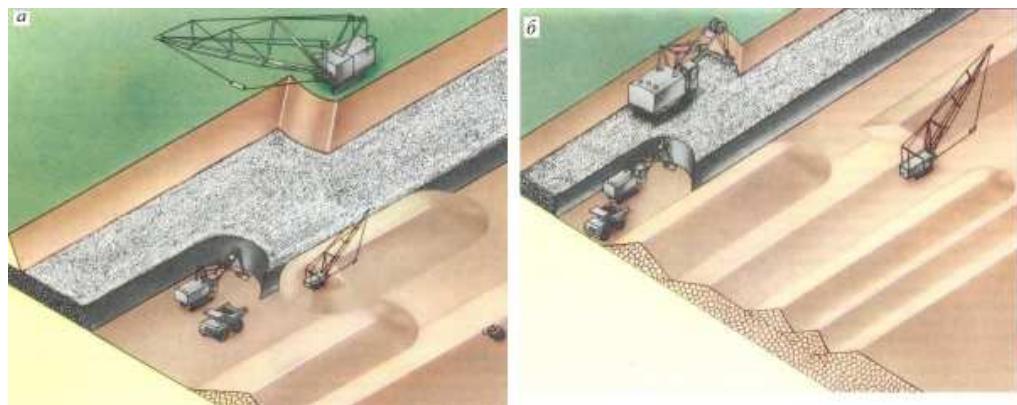


Рис. 5.58. Перемещение пород во внутренние отвалы шагающими драглайнами (а) и мехлопатой и драглайном (б)

Отвалообразование при конвейерном транспорте осуществляется консольными ленточными отвалообразователями (рис. 5.59) или транспортно-отвальными мостами (рис. 5.60, 5.61), которые ведут приём, транспортирование и укладку породы в отвал.



Рис. 5.59. Консольный отвалообразователь в работе

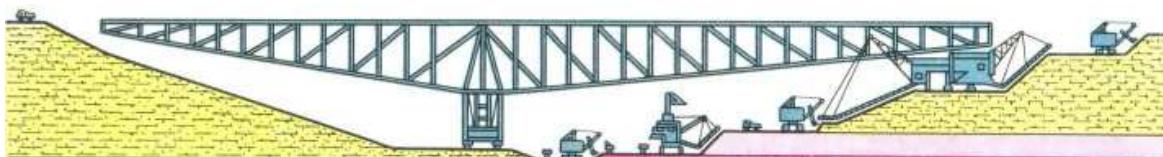


Рис. 5.60. Технологическая схема разработки месторождения с использованием транспортно-отвального моста



Рис. 5.61. Транспортно-отвальный мост в карьере

5.5.5. Восстановление и использование нарушенных открытыми горными работами территорий

Под *рекультивацией* понимается восстановление нарушенных открытыми горными работами 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 водоёмов, жилищного и промышленного строительства. Однако необходимо ориентироваться на создание наиболее ценных и продуктивных угодий. Для этого каждое горное предприятие перед началом работ должно снять и заскладировать плодородный почвенный слой (рис. 5.62).



a



б

Рис. 5.62. Плодородный слой почвы в навале

В зависимости от целевого назначения различают следующие виды рекультивации:

- *сельскохозяйственная* – создание земель, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, разведения садов, пастбищ и сенокосных угодий (рис. 5.63);

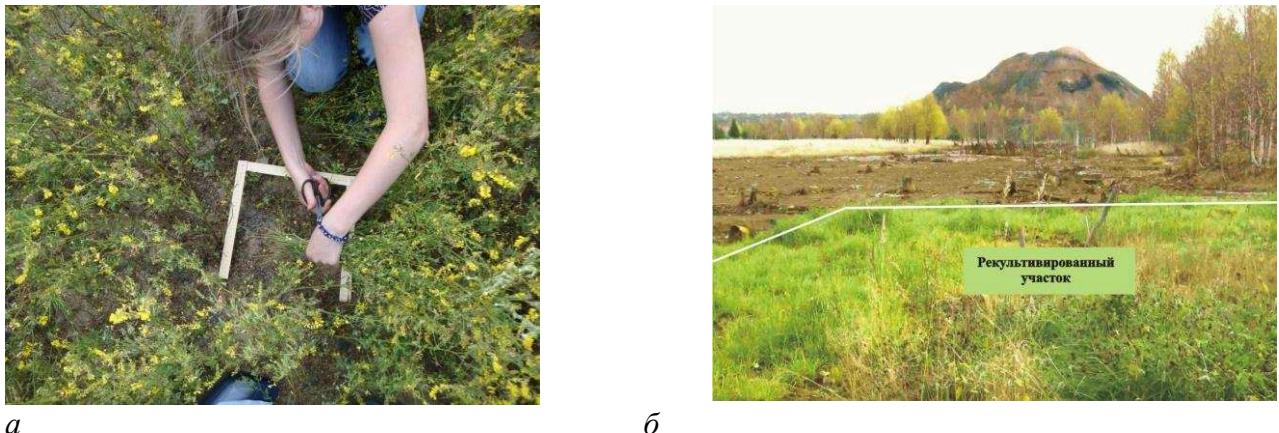
*a**b*

Рис. 5.63. Сельскохозяйственная рекультивация

- *лесохозяйственная* – создание лесонасаждений целевого назначения (почвозащитные, водоохраные, климатические, лесопарковые и парковые), а также лесов деловой древесины (рис. 5.64);

*a**b*

Рис. 5.64. Примеры лесохозяйственной реклтывации

- *природоохранная* – создание зон отдыха, озеленение отвалов, загрязняющих окружающую среду, и др. (рис. 5.65);



Рис. 5.65. Озеленение отвала

- *водохозяйственная* – создание водоемов различного назначения: водохранилища для разведения рыбы, дичи и др. (рис. 5.66);



Рис. 5.66. Водохозяйственная рекультивация

- *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, выполнение откосов, укладка плодородных пород для создания растительного слоя, мелиоративные работы, строительство дорог с использованием скреперов, бульдозеров, а также основное оборудование для вскрышных работ (рис. 5.67).

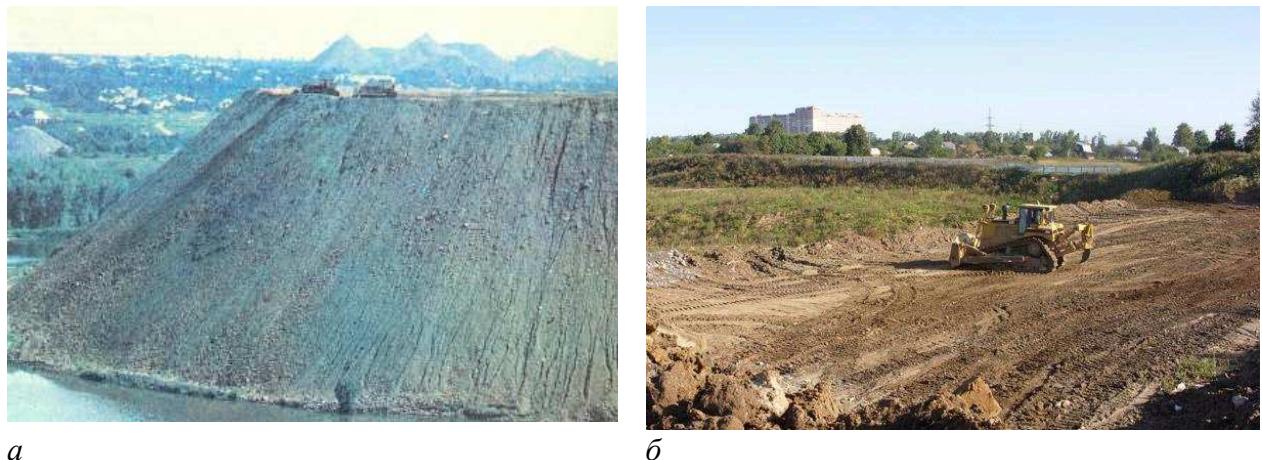


Рис. 5.67. Горнотехническая рекультивация угольного террикона (а) и отвала (б)

Биологическая рекультивация проводится после окончания горнотехнической. Это восстановление плодородия и биологической нарушенности земель нанесением специальных составов (рис. 5.68), создание сельскохозяйственных и лесных угодий, разведение рыбы в водоемах, дичи в лесах, создание ландшафтов, благоприятных для жизни человека.



Рис. 5.68. Биологическая рекультивация

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 попечерчным 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
A-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
A-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 бесструктурным перемещением породы на внутренние отвалы
A-3 — с забойными отвалообразователями	Б-6 — с транспортированием породы частично на внутренние и частично на внешние отвалы	
A-0 — с незначительным объемом вскрышных работ, когда способы перемещения породы в отвал не имеют существенного значения		

Главным классификационным признаком в первых двух случаях является способ перемещения пустых пород. По этому признаку все системы разделяются на бесструктурные, транспортные и комбинированные.

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		
			То же, вкрест простирания	Переменная			
	Выемка и отвалообразование		То же, смешанное				
			Двустороннее по простиранию				
			То же, вкрест простирания				
			То же, смешанное				
Транспортно-овальная	Выемка	Внутреннее	Одностороннее по простиранию	Постоянная	Сквозной		
			То же, по простиранию				
	Дробление		Двустороннее по простиранию				
			То же, вкрест простирания				
			Веерное				
			Смешанное				
Транспортная	Рыхление	Внешнее	Одностороннее по простиранию	Переменная			
	Погрузка	Внутреннее	То же, вкрест простирания				
	Дробление	Комбинированное	Двустороннее по простиранию				
	Транспортирование		То же, вкрест простирания				
	Отвалообразование		Веерное				
			По периметру карьера				
			Смешанное				
Специальная		Внешнее	То же	Постоянная			
Комбинированная	Любая комбинация систем разработки			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».

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. При системе разработки с кратной экскаваторной перевалкой вскрыши перемещение породы из забоя до отвала производится вскрышными и отвальными экскаваторами, работающими совместно.

При системе разработки с перевалкой вскрыши отвалообразователями перемещение породы из забоя до отвала производится консольными отвалообразователями и транспортно-отвальными мостами.

При всех бестранспортных системах порода перемещается поперёк 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 добывными 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 расстояния: 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 %, 90 % в железорудной и почти 100 % на карьерах при добыче руд цветных металлов.

Транспортные системы разработки характеризуются следующими элементами, параметрами и удельными показателями (рис. 5.69).

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_{pn} , угол откоса рабочего борта карьера γ_p , 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_ϕ , годовая производительность с единицы длины фронта и площадок рабочей зоны.

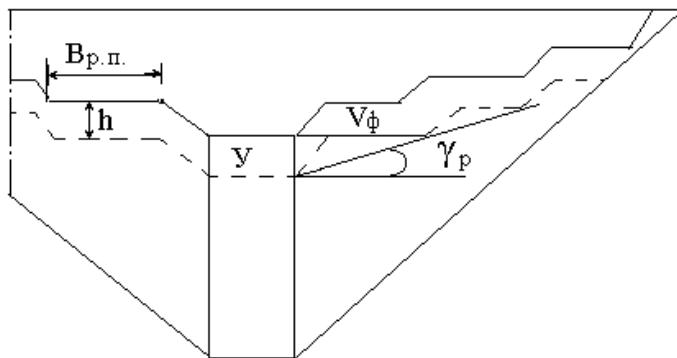


Рис. 5.69. Элементы и параметры системы разработки

Высота уступа h зависит от типа погрузочного оборудования и его рабочих параметров. 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_{pn} устанавливается с учетом физико-механических свойств горных пород, рабочих параметров экскаватора и вида транспорта (рис. 5.70).

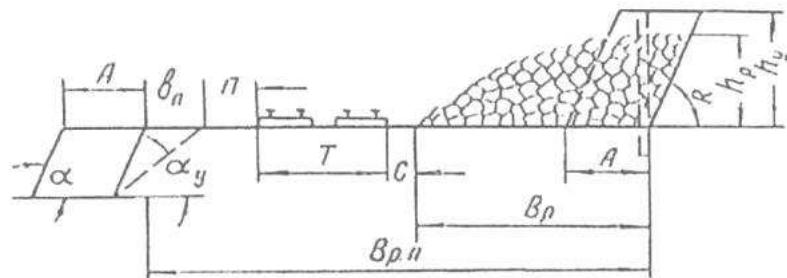


Рис. 5.70. Схема к определению ширины рабочей площадки

При разработке пород с предварительным их рыхлением буровзрывным способом минимальная ширина рабочей площадки определяется следующим образом:

$$B_{pn} = B_p + C + T + \Pi + b_n$$

где B_p - ширина развала, м; C - безопасный зазор между нижней бровкой развала и транспортной полосой, м; T - ширина транспортной полосы, м; Π - ширина полосы для размещения дополнительного оборудования и проезда вспомогательного транспорта, м; b_n - ширина полосы безопасности (призмы обрушения), м.

Безопасный зазор $C = 2\text{-}3$ м. Ширина транспортной полосы при одноколейном пути $T = 3$ м, при двухколейном $T = 7,5\text{-}15$ м в зависимости от принятой ширины междупутья. Минимальная ширина междупутья 4,5 м. Ширина полосы для размещения дополнительного оборудования $\Pi = 5\text{-}6$ м. Ширина полосы безопасности (призмы обрушения) определяется по формуле:

$$b_{\Pi} = h (\operatorname{ctg} a_y - \operatorname{ctg} a),$$

где h - высота уступа, м; a_y - угол устойчивого откоса уступа, град ($a_y = 35\text{-}60^0$); a - угол откоса рабочего уступа, град ($a = 65\text{-}80^0$).

Ширина заходки A при применении мхлопат 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 γ_p является функцией высоты уступа и ширины рабочей площадки и определяется как их отношение:

$$\operatorname{ctg} \gamma_p = h/B_{pp}$$

Угол откоса рабочего борта при железнодорожном транспорте составляет $7\text{-}12^0$, при автомобильном – $10\text{-}15^0$.

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 добывчных уступов в карьере определяется так:

$$m = \Pi_k l_b / Q_s L,$$

где Π_k - производственная мощность карьера по добыче, тыс. $m^3/\text{год}$; l_b - длина блока на уступе, м; Q_s - производительность экскаватора по добыче, тыс. $m^3/\text{год}$; L - длина уступа, м.

Интенсивность горных работ в карьере характеризуется скоростью понижения горных работ (Y) и скоростью подвигания фронта работ (V_ϕ) 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. 5.46):

$$V_\phi = Y \operatorname{ctg} \gamma_p;$$

где γ_p - угол откоса рабочего борта карьера ($\gamma_p = 14\text{-}18^0$).

Фактически на горных предприятиях средняя скорость понижения горных работ при использовании железнодорожного транспорта составляет 7-12 м/год, а скорость подвигания фронта работ (V_ϕ) 50-300 м/год соответственно.

Техническими направлениями развития открытого способа разработки предусматриваются:

- увеличение производственной мощности действующих и строительство новых крупных карьеров с годовой добычей полезного ископаемого до 10-50 млн т;
- разработка рыхлых и полускальных пород с применением комплексов непрерывного действия, в том числе роторных экскаваторов, ленточных конвейеров, консольных отвалообразователей с производительностью до 12,5 тыс. т/ч;
- расширение области применения технологических схем с перевалкой породы в выработанное пространство драглайнами с ковшами вместимостью 40-100 м³ 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 м³, автосамосвалов грузоподъемностью 180-360 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 позволяют 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.

Вопросы для контроля: 1. Преимущества и недостатки открытых горных работ. 2. Разделение месторождений и открытых горных разработок по расположению залежи относительно земной поверхности. 3. Карьерное поле. Конечная глубина разработок. Размеры карьера. 4. Горный и земельный отвод. Различие горного и земельного отводов и карьерного поля. 5. Подготовка поверхности. Осушение карьерного поля или его части. 6. Горно-капитальные (горно-строительные) работы. Эксплуатационные горные работы. Реконструкция. Затухание (погашение) горных работ. 7. Борта карьера. Углы откосов бортов карьера. Общий объем горной массы в контурах карьера. 8. Уступ, его площадки. Угол откоса, бровки уступа. Высота и устойчивость уступов и факторы на них влияющие. 9. Взаимосвязь ширины рабочей пло-

щадки с комплексом буровзрывных, выемочно-погрузочных и вспомогательных работ. 10. Призма возможного обрушения. Транспортные и предохранительные бермы, съезды. 11. Вскрышные породы, их использование. Коэффициенты вскрыши. 12. Вскрывающие горные выработки – капитальные и разрезные. Рабочие горизонты. 13. Бестранспортные способы проходки траншей. 14. Транспортные способы проходки траншей. 15. Способы вскрытия месторождений. 16. Торцовый, фронтальный забой, забой-площадка. Заходки продольные, поперечные, тупиковые, сквозные. 17. Способы выемки и погрузки. Валовая и раздельная выемка. 18. Колесные скреперы. Бульдозеры. Одноковшовые погрузчики. 19. Прямые и обратные мехлопаты. Драглайны. 20. Цепные и роторные экскаваторы. 21. Горные комбайны для карьеров. 22. Карьерный, цеховой и внешний транспорт. 23. Железнодорожный транспорт. 24. Автомобильный транспорт. 25. Конвейерный транспорт. 26. Комбинированный транспорт. 27. Карьерные рудоспуски и рудоскаты. 28. Канатный подъем (скиповой и клетевой). 29. Канатные подвесные дороги. 30. Отвалообразование плугами, мехлопатами, драглайнами, бульдозерами. 31. Отвалообразование при конвейерном и гидравлическом транспорте. 32. Зона вредного воздействия горных работ на природу. 33. Сельскохозяйственная, лесохозяйственная, природоохранная, водохозяйственная и строительная рекультивация. 34. Понятие системы открытой разработки. 35. Классификация систем разработки по Н.В. Мельникову. 36. Классификация систем разработки по В.В. Ржевскому. 37. Бестранспортные системы разработки, сущность, характерные признаки. 38. Транспортные системы разработки, сущность, характерные признаки. 39. Комбинированные системы разработки, сущность, характерные признаки. 40. Элементы и параметры системы разработки.

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				
			вымочно-погрузочные работы		дробление или грохочение	транспортные	
			максимальный размер куска, мм	технология		от забоя до перерабатывающего предприятия	до отвала
Циклический способ производства горных работ							
IA	Буровой станок — погрузчик — транспортное ср-во	Взрывной	—	Поперечными заходками	—	Автомобильный, железнодорожный	
IB	То же	То же	—	То же	—	Погрузчиками, автомобильный, вертолетный	
IB	То же	То же	—	Поперечными заходками (забоями-площадками)	—	Автомобильный, гравитационный, по рудоспускам, железнодорожный	
IIA	Буровой станок — погрузчик — механическая лопата — транспортное ср-во	Взрывной	—	Поперечными заходками высотой 6–8 м	—	Автомобильный	
IIB	То же	То же	—	Поперечными заходками (забоями-площадками)	—	Погрузчиками	
III	Буровой станок — драглайн — погрузчик — транспортное ср-во	То же	—	Продольными заходками	—	Автомобильный	
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	
IVB	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	
VI	Драглайн (вскрышная механическая лопата) — погрузчик — транспортное ср-во	—	—	Продольными заходками (фронтальными забоями)	—	Автомобильный	
						Драглайном или мехлопатой	

VII	Рыхлитель – скрепер – погрузчик	Механич., рыхление горизонт., слабонаклонными слоями	600	Послойная разработка	–	Скреперный, комбинированный
VIIА	Рыхлительно-бульдозерный агрегат – буровой станок	Механич. в комбинации с взрывным на встрихивание, 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 встрихивание, горизонт. слоями, с бульдозированием в штабели	1000 – 2000	Забоями-площадками (погрузочный механизм расположен в забое)	–	Автомобильный
<i>Циклично-поточный способ производства горных работ</i>						
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 (рохот-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
XIB	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

6. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ШТУЧНОГО КАМНЯ

6.1. Разработка месторождений строительных материалов

К этой категории полезных ископаемых относятся все виды минерально-го 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. Поэтому применяемые технологии аналогичны открытым работам с использованием многочерпаковых экскаваторов, драглайнов (см. раздел 5), разработке россыпных месторождений (см. подраздел 8.1) и подводной разработке (см. подраздел 8.4).

Особую специфику здесь имеет только добыча блоков горных пород, при которой применяются достаточно сложные геотехнологии.

6.2. Добыча камня (блоков горных пород)

Особенности разработки месторождений природного камня определяются необходимостью сохранения физико-технических характеристик, декоративных качеств, определённых размеров и формы камня (в т.ч. крупных блоков), учёта закономерностей в изменении прочности и трещиноватости добываемого камня в разных направлениях, строгого соблюдения размеров и направления уступов, удаления и переработки значительных объёмов попутной горной массы (бута, штыба, эродированного камня) при относительно небольшой мощности карьеров по основной продукции. Коэффициент извлечения (выхода) готовой продукции (блоков или штучного камня) из полезного ископаемого равен 0,1-0,3 на карьерах по добыче облицовочного и 0,3-0,7 – стено-вого камня. Указанные положения определяют специфичность применяемых способов и средств подготовки, выемки и транспортирования полезного ископаемого, а также особенности систем разработки и их параметров.

Горные породы издавна используются человеком для прикладных целей. Породы, добываемые из земных недр в виде каменных глыб (блоков или плит), представляют собой исходное сырьё 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 практическую 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 распространённая глубинная порода. Минеральный состав гранитов: кварц, щелочной полевой шпат, кислый плагиоклаз, биотит, мусковит, иногда роговая обманка. Строение породы однородное с равномерно зернистой структурой; плотность $2600\text{-}2700 \text{ кг}/\text{м}^3$, пористость в среднем 1,5 %, незначительное водопоглощение – не более 0,6 %, предел прочности при сжатии 120-250 МПа, хорошая 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 тёмных 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. Главные составляющие – калиевый полевой шпат и тёмный минерал (пироксен, биотит), кварц отсутствует или имеется в небольшом количестве. Структура сиенитов – полнокристаллическая, обычно среднезернистая, близка к гранитам и часто носит порфировидный характер. Плотность сиенитов $2700 \text{ кг}/\text{м}^3$, предел прочности при сжатии примерно 200 МПа. Применяют их в строительстве аналогично гранитам.

Габбро – кристаллическая глубинная порода среднезернистой структуры, состоящая из плагиоклаза и тёмных минералов (пироксена, оливина, роговой обманки). Цвет – от серого до чёрного. Плотность $2700\text{-}3200 \text{ кг}/\text{м}^3$, предел прочности при сжатии 200-300 МПа. Габбро пригодны для наружной отделки зданий, настилки полов, сооружения памятников.

Лабрадорит – габбро-норитовая порода, характеризуется преобладанием кристаллов лабрадора, имеющих иногда голубую, синюю, реже золотистую иризацию. Чем больше иризирующих кристаллов в лабрадорите, тем выше свойства породы. Плотность породы $2600\text{-}2900 \text{ кг}/\text{м}^3$, 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 тёмно-серый или зеленовато-чёрный. Плотность 2900-3100 кг/м³, предел прочности при сжатии 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 тёмно-серый или чёрный. Плотность 2800-3000 кг/м³, 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.

Анdezит – изверженная излившаяся порода неполнокристаллической структуры. Состоит из плагиоклаза и тёмноцветных минералов. Цвет серый и тёмно-серый. Плотность 2900 кг/м³, 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 мраморизованные известняки.

Мрамор – полнокристаллическая порода, состоящая из зёрен 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 чёрной, а также розовую, голубую, жёлтую, зелёную и др. Неравномерное распределение примесей вызывает полосчатую или пёструю, 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 2700 кг/м³, предел прочности 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. Цвет разнообразен, схожен с цветом мрамора. В отличие от мрамора мраморизованные известняки несколько хуже обрабатываются.

Кварцит – метаморфическая горная порода, образовавшаяся из кварцевового песчаника. Кварциты характеризуются высокой механической прочностью, кислото- и щёлочеупорностью, малой пористостью. Они хорошо полируются, но их обработка ввиду высокой твёрдости 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/м³, предел прочности при сжатии 206-557 МПа.

На территории России залежи мрамора имеют обширную географию распространения, однако абсолютным лидером является Урал (свыше 20 месторождений, правда добыча идет только в 8-ми из них). Коелгинское и Айдырлинское месторождения служат источником белого мрамора, Уфалейские и Мраморские залежи дают серый мрамор, Октябрьский и Починский карьеры – желтый, Першинское месторождение – черный, а Нижне-Тагильская залежь – розово-красный мрамор. Богаты мрамором также Алтай и Западная Сибирь – в этих регионах в настоящее время разрабатывают лишь три залежи, несмотря на то, что разведано свыше 50 месторождений мрамора. Уникальный по своим свойствам тонкозернистый белый мрамор с красно-зелеными прожилками добываются в Пуштулимском месторождении, сиренево-розовый камень дает Граматушинское месторождение, а источником серо-кремового мрамора служит Петеневский карьер. Красноярский край отнесен крупным Кибик-Кордонским месторождением, которое интересно, в первую очередь, разнообразием добываемых видов мрамора – более двадцати разновидностей кремового, белого, бледно-розового, оранжевого, зеленовато-серого и желтого мрамора. Месторождение Буровщина, расположенное в Иркутской области, является источником красновато-розового крупнозернистого мрамора с сиреневым, оранжевым, зеленым, серым оттенками. Именно этим камнем отделаны такие станции знаменитого московского метрополитена как «Третьяковская», «Марксистская» и многие другие. На Дальнем Востоке относительно недавно разведано и подготовлено к добыче месторождение зеленого мрамора различных оттенков.

Отдельно стоит отметить карельское месторождение Рускеала, окраска его мраморов очень вариативна – она изменяется от темно-серой и черной до снежно-белой, иногда с яркими желтыми и зелеными пятнами, и полосами. Это месторождение известно с XVIII в. И продолжает эксплуатироваться вплоть до наших дней. Рускеальский мрамор широко использовался для отделки уникального архитектурного комплекса Санкт-Петербурга, а также для украшения многих других городов северо-западной части России и Финляндии.

В Карелии, Ленинградской области и на Кольском полуострове добывают красные и розовые граниты (месторождения Шальское, Винга и Уккомяки). Мусаваар дает желто-розовый камень, а гранит знаменитого Шокшинского месторождения украшает саркофаг Наполеона в Париже, памятник Николаю I в Санкт-Петербурге и могилу Неизвестного солдата в Москве. На Елизаветинском месторождении добывают серо-коричневый камень, которой вполне можно назвать отечественным аналогом известнейшего американского гранита

"dacotamahogany". Расположенное в Мурманской области, Кузреченское месторождение поставляет серо-розовый и красный граниты, которые прекрасно зарекомендовали себя в строительстве и являются предметом экспорта в страны Западной Европы и Японию.

Технологические процессы на карьерах блочного камня

Добыча блочного камня осуществляется в определенной последовательности путём чередования основных технологических процессов. При этом структура и содержание их на вскрышных и добывочных работах имеют существенные различия.

Технологические процессы на вскрыше идентичны таковым на карьерах других отраслей. И здесь и там вскрышные породы, а также некондиционное полезное ископаемое разрушаются всплошную для облегчения последующей выемки, погрузки и транспорта. Отличие лишь в том, что на карьерах блочного камня во вскрышной грузопоток дополнительно включаются отходы камнедобычи в виде окола и мелочи. В равной мере при комплексном использовании пород направляемая в отвал горная масса может быть использована для производства дополнительной продукции или направлена на иные общественно полезные цели.

Ввиду штучного характера профильной каменной продукции технологические процессы при добыче блочного камня весьма специфичны. Главным здесь становится извлечь из массива породную отдельность без нарушения её монолитности. Для этого постепенно увеличивают число плоскостей обнажения извлекаемой отдельности вплоть до полного устранения её связи с массивом. В начале технологического цикла добычи (отработки заходки) массив имеет только две плоскости обнажения сообразно уступной форме фронта работ. Для создания дополнительных плоскостей обнажения, а также для ввода добывочного оборудования требуется выполнить некоторый объём подготовительных работ: пройти врубовые (поперечные) траншеи и отрезные щели, пробурить установочные скважины и др. Все эти работы можно объединить в рамках первого по счёту процесса – процесса подготовки массива к отделению камня.

Следующий процесс – собственно отделение камня от массива. Он на карьерах блочного камня является главенствующим и предопределяющим большую (до 80-90 %) часть затрат труда и средств. Этому процессу присуще многообразие способов отделения камня и соответствующих технических средств. В ряде случаев процесс подготовки массива к отделению камня и сам процесс отделения совмещены технологически и во времени, причём первый носит подчинённый характер. Поэтому оба эти процесса целесообразно рассматривать совместно под общим названием второго.

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 различных камнерезных машин (рис. 6.1).

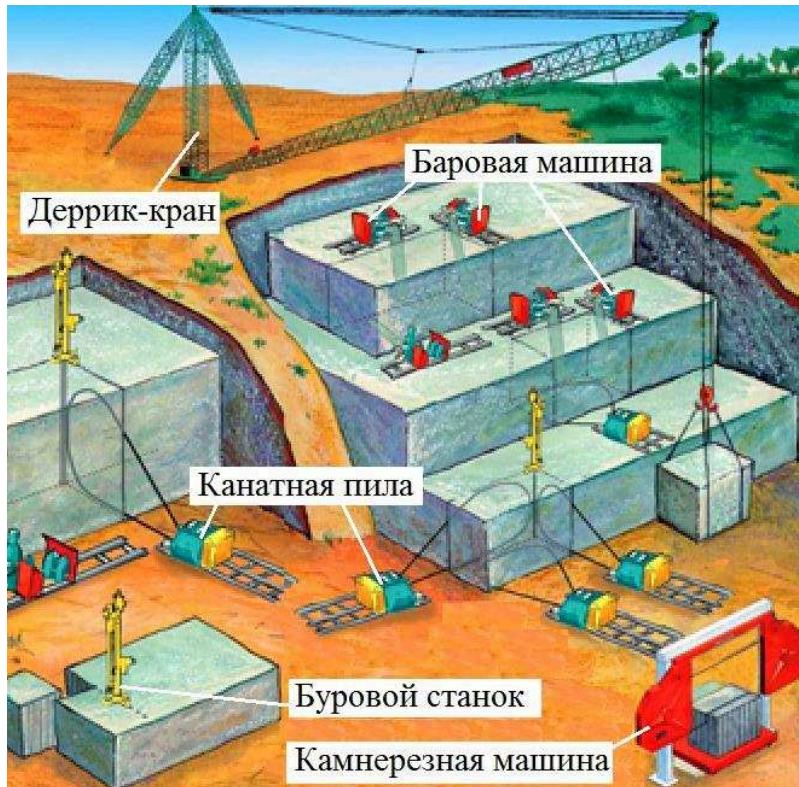


Рис. 6.1. Варианты технологических схем добычи камня баровыми машинами и канатными пилами

Однако, в отличие от добычи пород низкой прочности, 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 твёрдых пород (кварца, диорита и др.) применяются комбинированные способы добычи блоков. 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. При правильном их подборе уступы в карьерах по добыче блочного камня выглядят совершенными (рис. 6.2).

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 добывчного цикла. В связи с этим оборудованию для этого процесса будет отведено главное место при описании структур механизации горных работ.



Рис. 6.2. Карьер по добыче блочного камня

Добыча блоков камнерезными машинами с кольцевыми фрезами. На карьерах по добыче каменных блоков для резки щелей, отделяющих блоки от массива, используют машины с кольцевыми фрезами, перемещающиеся по рельсам, уложенным вдоль забоя. При этом возможны два технологических варианта выемки – в породах средней крепости и крепких машина прорезает только продольные вертикальные щели (рис. 6.3, а), а поперечные вертикальные щели для нарезки блоков осуществляют буроклиновым способом: бурят строчку шпурков и клиньями отделяют блоки для последующей уборки (рис. 6.3, б).



а



б

Рис. 6.3. Камнерезная машина с вертикальными кольцевыми фрезами

В породах низкой крепости машину оснащают вертикальными и горизонтальными фрезами, устанавливая их друг от друга на расстояния, обеспечивающем заданные параметры блоков (рис. 6.4). Уборку небольших по размеру отрезанных блоков осуществляют вручную.

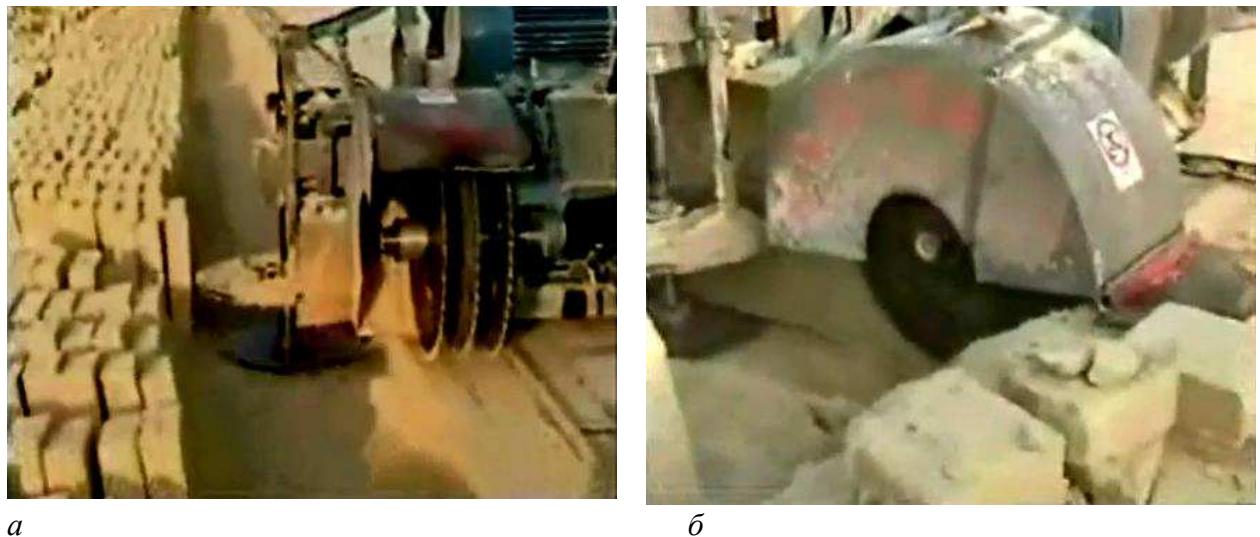
*a**b*

Рис. 6.4. Камнерезная машина с вертикальными и горизонтальными фрезами

Добыча блоков баровыми камнерезными машинами. В современном исполнении режущий орган баровых машин представляет собой так называемый бар – плоскую удлинённую конструкцию, соотношение длины и ширины которой варьирует в широких пределах. 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 (рис. 6.5).

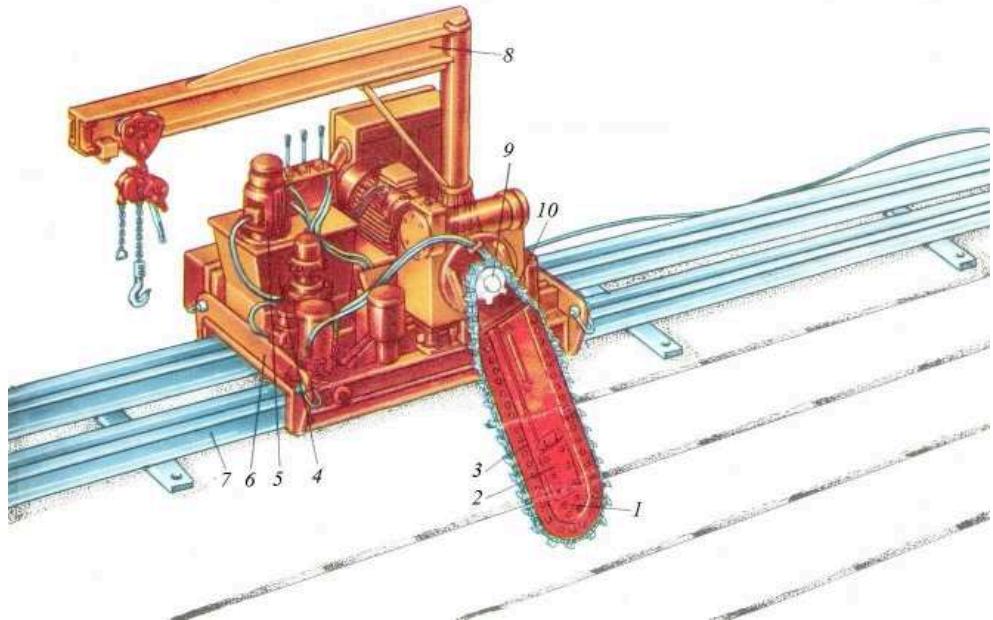


Рис. 6.5. Баровая камнерезная машина;
1 – ведомый шкив; 2 – исполнительный орган (бар); 3 – цепь; 4 – механизм подачи;
5 – привод механизма подачи; 6 – рама-основание; 7 – направляющие; 8 – консольный
кран; 9 – ведущая звёздочка; 10 – консоль бара

Процесс добычи блока баровой машиной заключается в отделении его от массива прорезанием щелей по трем взаимно перпендикулярным плоскостям (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Направления прорезки щелей баровой машиной

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 (рис. 6.7), добыча блоков чаще всего осуществляется в две стадии. Сначала от массива отделяют крупногабаритный монолит, а затем разрезают его на блоки необходимых размеров.

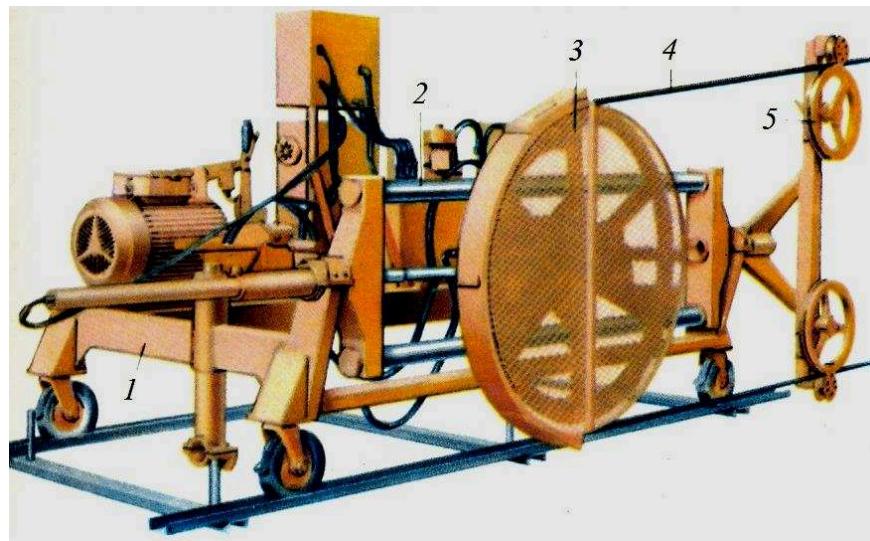


Рис. 6.7. Передвижная канатная пила:
*1 – тележка; 2 – гидравлический механизм рабочей подачи; 3 – ведущий шкив;
 4 – канат; 5 – направляющий ролик*

Канатная пила представляет собой нерасплетающийся канат, на котором через определённое расстояние размещены насадки с техническими алмазами. Диаметр каната и расстояние между алмазными насадками зависят от крепости пород (рис. 6.8).

*a**б**в*

Рис. 6.8. Алмазные канатные пилы:

*а – для резки крепкого гранита; б – для резки гранита низкой и средней крепости
в – насадка с алмазами крупным планом*

Работы по канатному пилению начинают с бурения установочных скважин (рис. 6.9, а) в которые затем заводят канатную пилу (рис. 6.9, б). После вывода канатной пилы из установочных скважин её направляют на трассу пропила с помощью вспомогательных блоков (рис. 6.9, в).

*а**б**в*

Рис. 6.9. Подготовка канатной пилы к работе

Работа канатной пилы начинается с подачи в установочную скважину воды (рис. 6.10, а), которая подаётся в дальнейшем непрерывно. В процессе работы канатная пила движется со скоростью 8-12 м/с, продукты резания выносятся в виде парогазовой смеси (рис. 6.10, б). Работает пила как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, оставляя после себя пропилы по заданному профилю (рис. 6.10, в).

*а**б**в*

Рис. 6.10. Канатная пила в работе

Алмазно-канатное пиление обеспечивает производительность до $2,5 \text{ м}^2$ плоскости реза в час, процесс нетрудоёмкий – один оператор обслуживает 2-3 канатные установки. Вместе с тем канатный способ добычи блочного камня нуждается в совершенствовании, в частности в обеспечении нормальной работы импортных канатных пил при минусовых температурах, так как существующие составы подаваемого в пропил жидкого абразива нередко замерзают, что приводит к обрыву каната. Испытания различных составов водоабразивных смесей с подогревом и антифризными добавками в условиях отрицательных температур в 1977-1978 гг. проводились при добыче блоков камня на Кибик-Кордонском карьере мрамора в Красноярском крае. Проблема канатной добычи блочного камня при минусовых температурах может быть кардинально решена после завершения конструкторских работ по созданию отечественного образца компактной камнерезной пилы, рассчитанной на эксплуатацию в условиях холодного климата.

К достоинствам канатно-пильных установок следует отнести простоту конструкции, незначительную энергоёмкость, низкие технологические потери сырья, возможность выполнения разрезов значительной длины, позволяющих получать большие блоки для последующей разделки (рис. 6.11), технологическая гибкость.



Рис. 6.11. Канатная пила на выполнении вертикального реза (а) и блок камня (б)

Технологический процесс отделения блоков от массива *прочных горных пород* строится на сочетании камнерезных и колочных работ. Он основан на двух способах: на сплошном (щелевом) отделении монолитов от массива путём их обуривания перфораторами с последующей отбойкой чёрным порохом или детонирующим шнуром и на создании в массиве сплошной щели по граням отделяемого монолита с помощью термогазоструйного инструмента или ударных

врубовых машин. Для гранитных месторождений Северо-Запада РФ, характеризующихся высоким содержанием в породе кварца, наиболее перспективен метод термогазоструйной резки массива.

Технология добычи блоков при этом осуществляется в две стадии. Вначале от массива отделяют монолит (крупный блок), который в последующем разделяют 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 направлennой колки камня и отбойки.

Проходка щелевых выработок в прочных горных породах. Наиболее широко используются огнеструйные горелки для создания щелевых выработок. Проходка в гранитном массиве отрезных щелей с помощью термогазоструйного инструмента основана на относительно повышенной разрушаемости кварцодержащих горных пород под воздействием высокотемпературных напряжений, создающихся с помощью бензовоздушных горелок различной конструкции, которые обеспечивают производительность по нарезке врубовых щелей $2,4\text{-}5 \text{ м}^2/\text{ч}$, что позволяет подготавливать в забое выемку от 6 до 10 м^3 блоков гранита в смену. Термогазоструйный способ вырезки монолитов в несколько раз производительнее буроклинового способа добычи блоков. Широкое оснащение гранитных карьеров терморежущими компактными машинами приведёт к радикальному улучшению экономики добычи каменного сырья из твёрдых горных пород. Однако эффективность использования огнеструйных рабочих органов в большей степени зависит от физических свойств горных пород и ограничивается узким кругом кварцодержащих пород. В последнее время больше внимания уделяется разработке более универсальных способов направленного разрушения.

Прочные бескварцевые породы типа габбро целесообразно добывать проходкой в массиве отрезных щелей с помощью врубовых машин с пневмоударниками. Действие рабочего органа такой машины основано на самом рациональном способе разрушения горных пород – направленном скальвании. Конструкция машины позволяет проходить вертикальные и горизонтальные врубовые щели. Средняя производительность ударно-врубовой машины на крепких породах, достигнутая на испытаниях, составила около 2 м^3 блоков в смену, что значительно выше производительности буроклинового способа добычи блоков ($0,3 \text{ м}^3$ в смену).

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 бурят шпуры, в которые вставляются клинья. Для точного выдерживания линии раскола применяют станки строчечного бурения осна-

щёные несколькими перфораторами, закрепленными на одной раме (рис. 6.12).



Рис. 6.12. Станок строчечного бурения

После бурения шпуров в них вставляют гидроклины, создающие разрушающее напряжение в узкой зоне откола (рис. 6.13, а), что позволяет откалывать блоки в декоративных породах различной крепости за счёт создания растягивающих напряжений пор линии шпуров (рис. 6.13, б).



а



б

Рис. 6. 13. Буроклиновой откол блока камня

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 крупного монолита от забоя энергией газов взрыва, что выгодно отличает буровзрывной способ от других методов и средств отбойки. Сразу же после перемещения монолита от забоя можно проводить работы по роспуску его на мелкие блоки с при-

менением различных средств направленной колки и грузоподъёмных 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 чёрный 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 детонирующего шнура, капсюлями-детонаторами или специальными электровоспламенителями.

На добычных работах на карьерах габбро перспективно применение метода гладкого скважинного взрываания зарядов – «гирлянд» патронированного аммонита 6 ЖВ с воздушными промежутками. При данном способе взрываания малое заполнение объёма скважины (5-10%) патронированном аммонитом обеспечивает лучшую, чем при пороховой отбойке, «эластичность» взрыва и единую ровную трещину отрыва монолита. Незначительный удельный расход недорогого аммонита на взрывные работы (0,55 кг на 1 м³ блоков) и механическое бурение скважин строчечными бурильными машинами обусловливают существенное снижение затрат на добычные работы по сравнению с пороховой отбойкой блоков.

Невзрывчатые разрушающие средства. В последние годы испытываются невзрывчатые разрушающие средства (НРС), обладающие способностью при затвердевании расширяться.

Невзрывчатая расширяющая смесь НРС-1М (ТУ 5744-001-82475767-08) представляет собой порошок чаще всего белого или серого цвета, пылящий, негорючий, взрывобезопасный, обладающий щелочными свойствами (рН = 12,5). При смешивании НРС-1М с водой образуется смесь (сuspензия), которая, будучи залита в замкнутую полость (например, шпур) в каком-либо объекте, постепенно, в результате реакции гидратации порошка, твердеет и увеличивается при этом в объёме. Количество воды в порошке НРС-1М не должно превышать 30-35%. В противном случае давление расширения резко снижается. Увеличение объёма сопровождается развитием давления на стенки шпуря от 50 до 150 МПа (в зависимости от содержания в порошке CaO). При этом в теле разрушаемого объекта развиваются напряжения, превышающие его предельную прочность на растяжение, что и приводит к разрушению по линии шпуров. Эффект разрушения выражается в образовании в теле объекта трещин с их развитием во времени. Образование трещин происходит в зависимости от температуры объекта и его характеристик в пределах от 12 до 20 часов. Чем выше предел прочности, тем больше время образования трещин. Повышение температуры объекта способствует ускорению образования трещин. Для отделения блоков камня от массива станком строчечного бурения (см. рис. 6.12) проходят

шпуры по линии будущего раскола и заливают в них смесь НРС. Трещины расстут по линии раскола и дают достаточно гладкий откол с чёткими следами шпуротов по линии раскола (рис. 6.14).



Рис. 6.14. Следы шпуротов на откосе массива после откола блока смесью НРС

После того как породный блок структурно отделён, его предстоит извлечь для переработки или отгрузки. Процесс извлечения камня из массива отличается по своей сути от родственного процесса выемки на карьерах других отраслей, где в процессе выемки агрегатное состояние горных пород изменяется – происходит дополнительное их разрушение, поэтому процесс реализует выемочное экскавационное оборудование. Напротив, на карьерах блочного камня после структурного отделения последнего целостность его в процессе извлечения из массива не нарушается (и не должна нарушаться), что требует совершенно иного извлекательного оборудования.

Поэтому *извлечение отделённых от массива блоков* производится самыми разнообразными способами.

Чаще всего процесс извлечения отделённого от массива блока начинается с его отодвигания от остального массива: в щель вставляют зуб гидравлического раздвижного устройства в виде ножниц и, раскрывая их, опрокидывают блок на подошву уступа (рис. 6.15). Предварительно на подошву уступа подсыпают слой грунта, подкладывают автомобильные покрышки для смягчения удара блока камня.



Рис. 6.15. Отделение монолита от массива горных пород раздвижным устройством

Колёсные машины тяжёлого класса оборудуют специальными рычагами, которые вставляют в щели между массивом и монолитом и опрокидывают последний на амортизирующую подушку из насыпного грунта (рис. 6.16).



Рис. 6.16. Опрокидывание монолита колёсными машинами

Может быть использована обратная мехлопата (рис. 6.17).



Рис. 6.17. Отделение каменного блока от массива горных пород обратной лопатой

Иногда небольшие монолиты отодвигают от массива даже фронтальными погрузчиками (рис. 6.18).



Рис. 6.18. Опрокидывание блока фронтальным погрузчиком

Могут быть использованы и пневмоотделители. Их вставляют в щель между монолитом и массивом в сложенном виде и подают сжатый воздух, карманы пневмоотделителя увеличиваются в объёме и отодвигают блок от массива (рис. 6.19).

После отделения монолита от основного массива камня его необходимо убрать из забоя для обеспечения возможности дальнейшей работы по подго-

товке к процессу выемки каменных монолитов. Этот технологический процесс можно выполнять также разнообразными средствами. Если отделяют блоки небольших размеров их можно сразу погрузить на автотранспорт мобильными крановыми установками (рис. 6.20).



Рис. 6.19. Отделение блока пневматической конструкцией



a



б

Рис. 6.20. Уборка каменных блоков из забоев мобильными кранами

Могут применяться фронтальные погрузчики как для вывозки монолитов из забоя (рис. 6.21, *a*), так и для погрузки их на транспорт (рис. 6.21, *б*).

Добыча товарных блоков на карьерах может производиться по одно- и двухстадийной технологическим схемам. По первой схеме отделённые от массива блоки извлекаются, грузятся и транспортируются для дальнейшей переработки на специальные заводы.

При этом могут вывозить большие монолиты специально оборудованным транспортом (рис. 6.22, *a*), очень часто по сложным горным дорогам, где на отдельных участках серпантине приходится двигаться даже задним ходом (рис. 6.22, *б*).

*a**b*

Рис. 6.21. Вывозка каменных блоков из забоев погрузчиками

*a**b*

Рис. 6.21. Вывозка каменных блоков из забоев погрузчиками

При двухстадийной схеме извлечённый монолит объемом 10-600 м³ и более подвергается последующей разделке на более мелкие товарные блоки в пределах рабочей зоны карьера, соответственно в технологической цепи возникает дополнительный процесс. Для таких работ могут привлекать специальные мобильные пильные установки (рис. 6.22).



Рис. 6.22. Установка для разделки монолитов на плиты в карьере

Могут применять и буроклиновой способ, причём при ручных работах разделку монолита на блоки можно проводить и по достаточно сложным конфигурациям (рис. 6. 23).



Рис. 6.23. Разделка монолита в карьере буроклиновым способом

Существует много различных технологий распиливания каменных блоков в зависимости от конечной продукции. На сегодняшний день распространена распиловка при помощи дисковых и мульти дисковых станков. Тем не менее, крупные производители, как правило, в своем арсенале используют различное оборудование, что способствует расширению гаммы производимой продукции. Все чаще на производствах можно встретить алмазно-канатные станки для резки. После распиловки получается заготовка «лист» толщиной от 20 мм и выше, для дальнейшей обработки (рис. 6.24).



Рис. 6.24. Разделка монолита на заводе пильными станками

Каменный «лист» с одной стороны шлифуется и полируется, а с другой проклеивается защитной сеткой, торцы «листа» остаются не обработанными. На мостовом распиловочном станке их распиливают на плитки заданных размеров. Различные варианты распила, согласно картам раскroя определяют, какие заготовки будут подаваться на кромочные станки, полировальные, обрабатывающим центрам и другим обрабатывающим станкам. Шлифовка и полировка, как правило, выполняются на автоматических полировальных машинах. Но на производствах с низкой загруженностью, а так же занимающихся индивидуальными заказами устанавливаются ручные станки для шлифовки. Готовая продукция в виде плиток разных размеров (рис. 9.25) поступает на упаковку.



Рис. 6.24. Готовая облицовочная плитка из камня

Вопросы для контроля: 1. Использование камня в строительстве. 2. Из какой породы изготавливают мерные плиты и измерительный инструмент высшего класса. 3. Добыча блоков камнерезными машинами с кольцевыми фрезами. 4. Добыча блоков баровыми камнерезными машинами. 5. Добыча блоков канатно-пильными установками. 6. Буроклиновый способ колки камня. 7. Буровзрывной способ отбойки. 8. Невзрывчатые разрушающие средства. 9. Уборка отделённых от массива блоков. 10. Разделка монолитов на блоки в карьере. 11. Разделка монолитов и блоков на плиты на заводах.

7. 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 технологий 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 покровных 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 вопроса 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 отсутствии вышеуказанных опасностей каменные соли разрабатывают подземным способом с применением комбайновой выемки, поскольку они имеют среднюю прочность.

Основной выемочной машиной является комбайн сплошного забоя типа «Урал» (рис. 7.1, *а*), у которого отдельные элементы разрушающего органа совершают сложное взаимное вращение, отделяя тонкие слои от груди забоя с одновременным их разрушением на мелкие фракции и оставляя на забое характерные следы (рис. 7.1, *б*). Разрушенная соль с подошвы забоя подаётся с помощью механизма подбора на конвейер, а затем в самоходный вагон. Последний перевозит соль к рудоспуску и высыпает её своим конвейером в приёмный бункер скрапового подъёма (рис. 7.2, *а*). Скраповым подъёмом соль подают в приёмные бункера на поверхности соляной шахты (рис. 7.2, *б*), откуда она поступает на переработку и расфасовку.

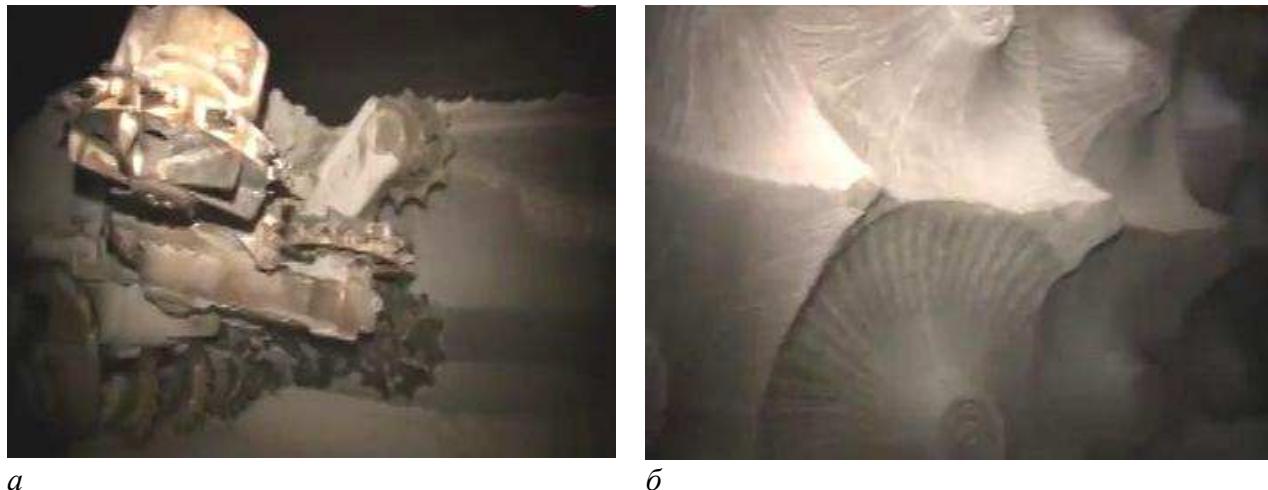


Рис. 7.1. Комбайн для добычи соли (а) и вид добывающего забоя (б)

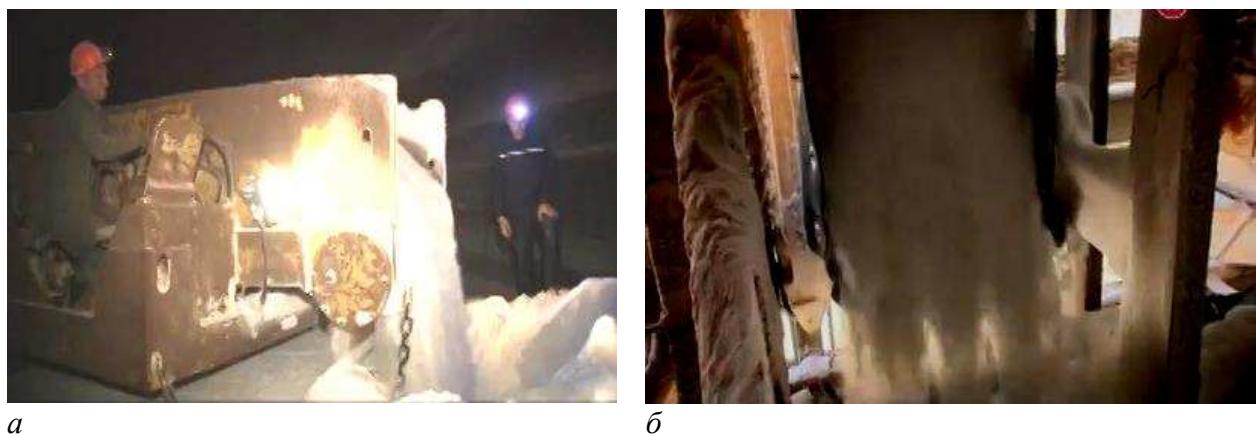


Рис. 7.2. Разгрузка самоходного вагона в рудоспуск (а) и ската в бункер (б)

Более половины поваренной соли страны добывают открытым способом разработки из соляных озёр, наибольшее из которых – озеро Баскунчак в Астраханской области. Здесь также применяется комбайновая добыча. Комбайн перемещается по рельсам, разрушая добывающими фрезами (рис. 7.3, а) соль на глубину до 10 м (мощность отложений соли – несколько сот метров), она подаётся подъёмником в бункер с одновременной промывкой озёрной рапой. После обезвоживания в бункере соль загружается в вагоны, а промывочная вода сбрасывается назад в забой озера (рис. 7.3, б). Соль непрерывно осаждается из рапы и забой быстро восстанавливается. Добыча сезонная, в зимнее время ведут ремонт оборудования, которое сильно корродирует в соляном рассоле.

Подземная и открытая добыча механическими способами всё же носит ограниченный объём, а наибольшее распространение получило подземное растворение солей.

Подземное растворение – способ добычи природных минеральных солей (поваренная, калийная, бишофит) через скважины путём перевода в водный раствор одного или нескольких компонентов в недрах. Осуществляют его на

рассолопромыслах, представляющих собой комплекс наземных и подземных производственных объектов, обеспечивающих непрерывную добычу и подачу рассола потребителю (рис. 7.4).

*a**б*

Рис. 7.3. Разрушение соли фрезами (*а*) и соляной комбайн в забое (*б*)

Основные технологические сооружения рассолопромысла – скважины подземного растворения (СПР). Конструкция скважин выбирается исходя из особенностей геологического строения залежи, гидрогеологических условий, физико-механических характеристик пород и др. условий. СПР оборудуется направлением, кондуктором, промежуточными обсадными колоннами, эксплуатационной колонной (диаметром до 325 мм) и технологическими свободновисящими колоннами (водоподающей диаметром до 219 мм и рассолоподъемной диаметром до 146 мм).



Рис. 7.4. Схема рассолопромысла

На устье скважины монтируется специальный оголовок, обеспечивающий герметизацию устья, герметичное разобщение технологических колонн, возможность их подъёма и спуска (рис. 7.5).

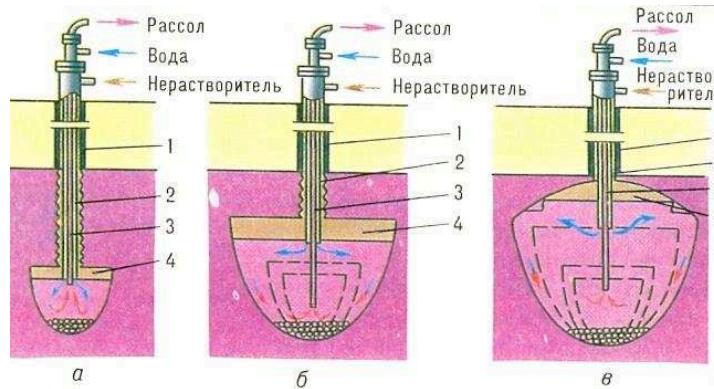


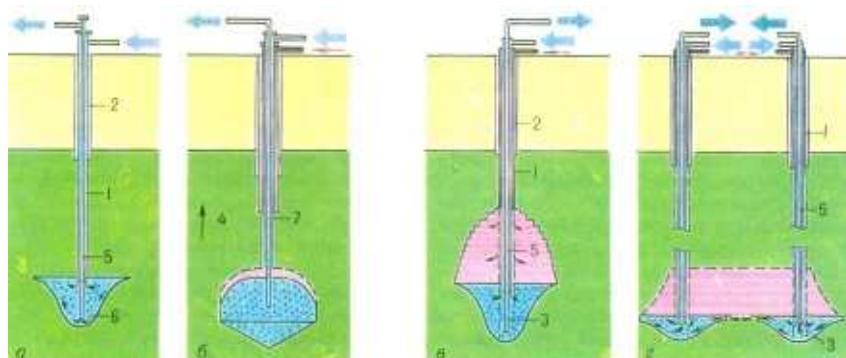
Схема выщелачивания каменной соли:

а, б, в - стадии развития емкости;

1, 2, 3 - соответственно обсадная, водоподающая и рассолоподъемная колонны труб; 4 - нерастворитель

Рис. 7.5. Схема подземного выщелачивания соли

При подземном растворении преимущественно используются скважины, работающие по принципу «выдавливания рассола» (рис. 7.6), которые подразделяются с учётом способа управления процессом растворения (прямоточные; противоточные, гидроврубовые, послойного растворения), применяемых систем разработки (индивидуальные, взаимодействующие), способа вскрытия соляных залежей (вертикальные, наклонные, наклонно-горизонтальные).



Методы подземного выщелачивания каменной соли:

а - противоточный; б - ступенчатый; в - последовательного увеличения первоначального объема скважины; г - прямой промывки через две скважины

1 - обсадная труба; 2 - затрубный тампонаж; 3 - рассолоподъемная колонна; 4 - направление размыва при последующей эксплуатации; 5 - висячая колонна для подъема воды; 6 - камера выщелачивания; 7 - колонна для подачи и отбора нерастворителя

Рис. 7.6. Методы подземного растворения каменной соли

Различают неуправляемое и управляемое подземное растворение. К первому относится противоточное (нагнетание растворителя в затрубное пространство и выдавливание образующегося рассола через центральную колонну) и прямоточное (изменение схемы подачи) растворение. С 80-х гг. 20 в. эти способы не применяются из-за низкого извлечения запасов (до 5%), малой производительности скважины ($7\text{-}10 \text{ м}^3/\text{ч}$), малого срока эксплуатации скважин (5-7 лет). К управляемым относятся способы гидровруба и послойного растворения.

Способ гидровруба, предложенный в 1933 американским учёным Э. Трэпом, усовершенствован и внедрён в отечественную практику российским учёным П. А. Кулле, который использовал в качестве нерастворителя нефть и её производные в способе послойного (ступенчатого) растворения. Сущность способа заключается в отработке соляной толщи снизу вверх отдельными горизонтальными слоями (ступенями) высотой 5-15 м, диаметром 100 м, при изоляции потолка каждого слоя нерастворителем и систематическом контроле за его уровнем. Это позволяет извлекать из каждого слоя заранее заданное расчётное количество соли и управлять формообразованием камер. Способ послойной выемки является основным при эксплуатации рассолодобычных скважин на промыслах, обеспечивая высокую производительность (до $70 \text{ м}^3/\text{ч}$) и возможность отработки залежей с большим (до 30 %) содержанием нерастворимых включений. Этим способом отрабатываются месторождения солей с глубин от 200-300 до 1800 м.

Подземное растворение получило широкое распространение в мировой практике и с 80-х гг. 20 в. основная часть добычи каменной соли для содовой, хлорной, пищевой и др. отраслей промышленности обеспечивается этим способом из-за относительной простоты организации добычи и высоких показателей – производительность труда почти в 4 раза выше, а удельные капитальные затраты в 7 раз ниже по сравнению с шахтным.

Важным компонентом горно-химического сырья является *серы*, производство которой во всем мире растет каждый год на девять процентов. Три четверти серы идет на изготовление серной кислоты, незаменимой в химическом производстве, в частности для изготовления суперфосфата. Серы используется при получении искусственного волокна, взрывчатых веществ, азотистых соединений, ультрамарина, красителей, резины. Серой обрабатывают сады, виноградники, пищевые продукты.

Подземная добыча серы на Урале во времена Петра I была поставлена на производственную основу, поскольку являлась необходимым компонентом чёрного пороха. Добывали её в основном самородную серу, которая легко отделяется от породы даже обычным ножом (рис. 7.7). По рудному телу проходили выработки, добывшую серу в корзинах и мешках выдавали на поверхность через неглубокие стволы на верёвках. Высокие затраты ручного труда, вредное влияние серы на здоровье заставили отказаться от подземной добычи и перейти на подземную выплавку, поскольку выплавить под землёй тонну серы в 4-5 раз дешевле, чем получить её обычным способом.

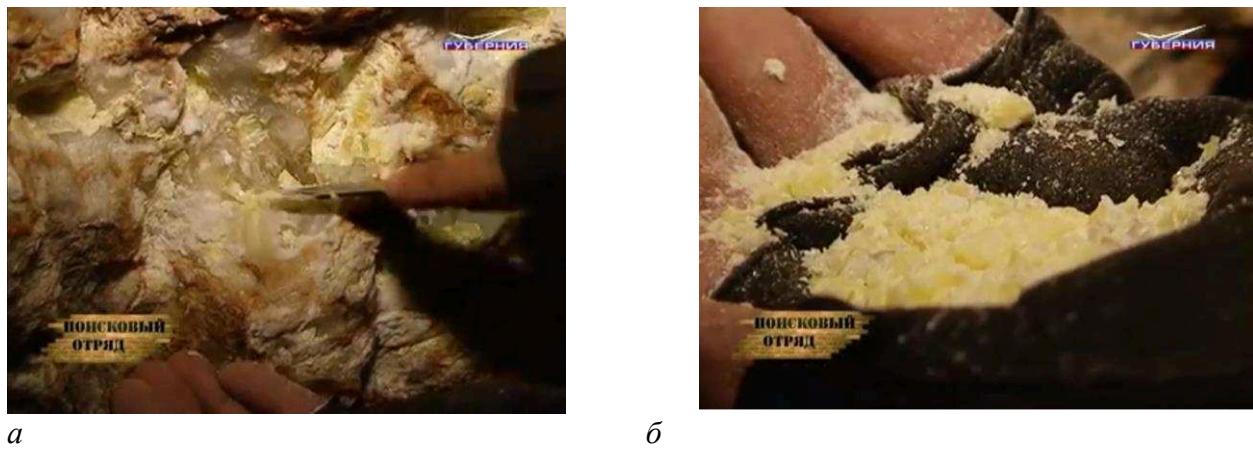


Рис. 7.7. Разрушение самородной серы ножом (а), кристаллы серы (б)

Подземная выплавка полезных ископаемых – скважинный метод добычи полезных ископаемых переводом их в жидкое состояние на месте залегания посредством теплоносителя. Основным объектом промышленного освоения способа подземной выплавки полезных ископаемых являются месторождения самородной серы. Самородную серу содержат известняковые серные руды, где она находится в виде отдельного несвязанного вещества. До 70 % всего её производства приходилось на месторождения самородной серы, так как её удобнее и легче перерабатывать. Однако в середине 80-х годов 20 века, в связи с необходимостью утилизации серы, содержащейся в нефти, природном газе, и получающейся при коксохимическом и металлургическом производстве, доля серы, получаемой при разработке месторождений самородной серы постоянно снижается и составляет сейчас около 30 %.

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 её переработкой. Ко второй – получение серы из руд непосредственно на месте их залегания.

Классификация способов получения серы представлена на рис. 7.8.

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 счёт тепла, образующегося при сжигании части серы в руде. Процесс этот малоэффективен (потери 40-60 %), трудоёмок, трудно поддаётся механизации.

Дистилляция – возгонка серы из руд в ретортах или вращающихся печах производится либо за счёт передачи тепла через стенку в реторты, либо за счёт передачи тепла от нагретых газов. После возгонки пары концентрируются в конденсаторах. 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.



Рис. 7.8. Классификация способов получения серы

Ко второй группе методов получения серы из руд относится подземная выплавка серы (ПВС) и подземное сжигание. Широко применяется только подземная выплавка серы горячей водой, на которую приходится 83 % всей добычи геотехнологическими способами. Метод основан на выплавке серы на месте её залегания нагнетаемой через скважину горячей водой. Основная сложность заключается в необходимости разработки для каждого конкретного месторождения своего технологического процесса добычи серы.

Процесс добычи основан на теплообмене между рудным массивом и теплоносителем (горячая вода), подаваемым через скважины с поверхности, и способности серы плавиться при температуре 112,8-119 °С. В забой нагнетают воду с температурой более 160-170 °С. Важно так нагреть воду на поверхности, чтобы, дойдя до пласта известняков, она имела температуру не более 159 °С, ибо нагрев её ещё на один градус в 800 раз увеличит вязкость расплава серы. Горячая вода через контрольно-распределительные станции (КРС) нагнетается в скважины. Каждая КРС служит для определённого числа рабочих скважин и позволяет оператору регулировать давление и температуру текущих по трубам жидкостей и газов.

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. 7.9. а) 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 тяжёлая, стекает вниз и по серной трубе поднимается на высоту, равную гидростатическому давлению у почвы пласта. Подачей по дюймовой трубе сжатого воздуха сера эмульгируется и выдается на поверхность между трех- и однодюймовыми трубами (рис. 7.9, б). 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. Поэтому гораздо лучше серу из скважины направлять прямо в цистерны с обогревом, они доставят тёплый продукт прямо на химический завод и сера попадает в цех в готовом для употребления виде.

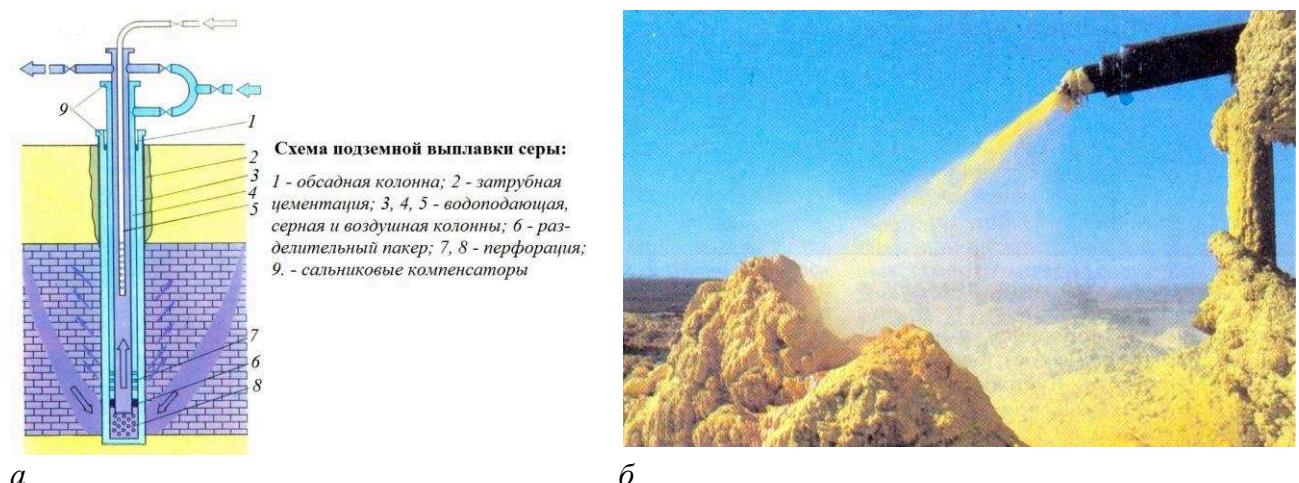


Рис. 7.9. Схема подземной выплавки серы (а) и выплавленная сера (б)

В процессе разработки закачиваемая в пласт горячая вода распространяется по участку месторождения и повышает пластовое давление. Для его регулирования сооружают водоотливные скважины. 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.

Экономика серодобывающего предприятия в большой степени зависит от системы разработки, поскольку последняя определяет себестоимость добычи серы, производительность труда и извлечение серы. Подземная выплавка резко сокращает технологическую цепочку получения серы: не нужны вертикальные и горизонтальные горные выработки, крепления, горные машины, взрывные работы, обогатительные цеха, в которых серу отделяют от известняка, не требуются автоклавы – они созданы прямо в недрах, в массе известняков. Весь цикл по извлечению полезного компонента концентрируется в одном месте, там, где он залегает.

Основные технико-экономические показатели способа подземной выплавки серы, полученные на предприятиях бывшего СССР следующие: удельный расход теплоносителя – 17-30 м³/т; удельный расход сжатого воздуха – 30 м³/т; извлечение серы из недр – 40 %.

Область применения способа подземной выплавки постоянно расширяется. Ведутся масштабные работы по освоению этим способом месторождений ртути, битумов, высоковязкой нефти и других полезных ископаемых.

Однако не все месторождения серы можно разрабатывать с помощью выплавки: есть такие, где горячая вода, попав в пласт, быстро растекается по сторонам, не успев отдать тепло. Но серу не обязательно плавить, её можно сжигать под землей, получая на поверхности газ SO₂, пригодный для получения серной кислоты, стиральных порошков, использования в холодильной технике и т. д.

Стихийно возникающие на рудниках пожары послужили основанием для предложений по возможности использования тепла сжигания части серы для её 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, жидккая сера стекала по трещинам во второй этаж, служащий приемником серы; сюда же подавался регулируемый поток воздуха; третий, нижний этаж в это время подготавливается. За время эксплуатации таким методом на руднике было отработано искусственно регулируемыми пожарами 60 % руды, остальные 40 %, полученные при подготовке участков, переработаны в печах. Коеффициент извлечения серы из руды при подземных пожарах был на 25 % ниже, чем при выплавке в печах, однако, в общем, способ оказался более экономичным.

Поэтому был создан метод скважинного получения жидкой серы также за счёт управляемого сжигания части пласта в газонепроницаемых залежах (рис. 7.10, а). Пласт поджигали, по внешней трубе подавали воздух для поддержания горения серы, окружающая очаг горения сера плавилась и по одной из внутренних труб выдавливалась на поверхность, по другой внутренней трубе выходили пары серы.

В 20-е гг. прошлого столетия почти одновременно были предложены способы подземной добычи серы, основанные на её сжигании на месте залегания в газопроницаемых пластах с последующим улавливанием на поверхности либо сернистого газа, либо паров серы.

Сжигание серы происходит в нижней части одной из скважин. По трубе в очаг горения подводится воздух под давлением. Он заставляет образующийся сернистый газ расходиться по сторонам, проникать в поры и трещины пласта и перемещаться по ним до расположенных по соседству с первой других скважин. По этим скважинам газ попадает на поверхность (рис. 7.10, б). Затем его путь – по трубам, идущим на завод.

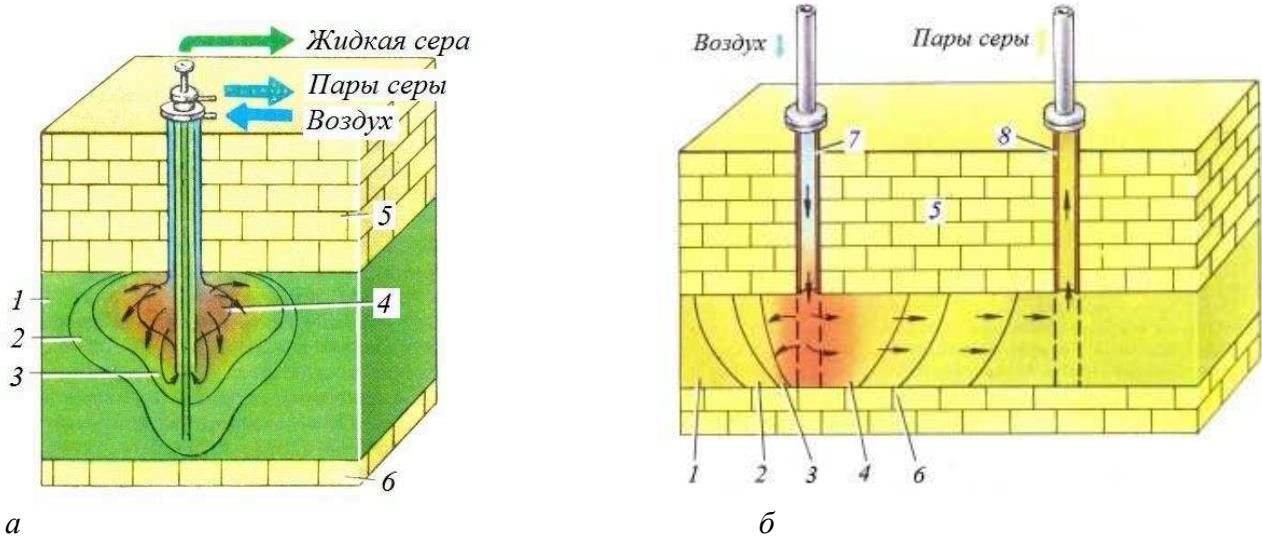


Рис. 7.10. Схема подземной выплавки серы сжиганием из непроницаемых (а) и проницаемых (б) залежей:

1 – серный пласт; 2 – зона плавления серы; 3 – зона горения серы; 4 – выгоревшая зона;
5 – кровля залежи; 6 – подошва залежи; 7 – дутьевая скважина; 8 – газоотводная скважина

В последнее время получает распространение ещё один способ добывки самородной серы – из кратеров вулканов, где отлагаются большие куски самородной серы (рис. 7.11, а): их откалывают и выносят на ручных коромыслах вниз, в долину, к месту продажи (рис. 7.11, б). Работа очень тяжёлая и опасная для здоровья: масса груза достигает 90 кг, сильное влияние оказывают сернистые газы.



а



б

Рис. 11.11. Самородная сера в кратере вулкана (а) и переноска добытой серы (б)

Вопросы для контроля: 1. Горно-химическое сырьё. 2. Требования к геотехнологии разработки месторождений соли. 3. Подземная добыча каменной соли. 4. Открытая добыча садочной соли. 5. Подземное растворение соли. 6. Рассолопромысел. 7. Схема подземного выщелачивания соли. 8. Методы подземного выщелачивания соли. 9. Подземное сжигание серы. 10. Подземная выплавка серы. 11. Сера в кратерах вулканов.

Тест

Вопрос 1.

Конусообразный отвал пустой породы на поверхности земли при шахте, руднике?

- Терраса
 - Терренкур
 - Террикон
 - Терпентин
 - Террамар
-

Вопрос 2.

Способ обогащения полезных ископаемых в водной среде?

- Гидролиз
 - Активация
 - Пиролиз
 - Флотация
 - Рефракция
-

Вопрос 3.

Как называется концентрат тяжёлых ценных минералов, получаемый при промывке рыхлых горных пород?

- Шлам
- Шлих
- Шлиф
- Шлак
- Шлаг

Вопрос 4.

Особо выпуклая форма драгоценных камней, придаваемая им при шлифовке?

- Кабриоль
 - Кабошон
 - Кавальер
 - Кабестан
 - Казуар
-

Вопрос 5.

Как по-другому называется минерал Чилийская селитра?

- Нитрогениум
 - Нитронатрит
 - Нитрофоска
 - Нитрофосфат
 - Нитрофос
-

Вопрос 6.

Наука о горных породах, их составе, происхождении и распространении на Земле?

- Петрология
 - Палеология
 - Минералогия
 - Геодезия
 - Геохимия
-

Вопрос 7.

Наука о составе, структуре, происхождении и изменении осадочных горных пород?

- Литография
 - Палеология
 - Стратиграфия
 - Литология
 - Геохимия
-

Вопрос 8.

Другое название мерзлотоведения?

- Петрография
 - Архитектоника
 - Геокриология
 - Литология
 - Петрология
-

Вопрос 9.

Наука о рельефе земной поверхности, его происхождении и развитии?

- Геоморфология
 - Тектоника
 - Стратиграфия
 - Палеонтология
 - Геодезия
-

Вопрос 10.

Сердолик (карнеол) - розовая или красная разновидность какого минерала?

- Берилла
 - Изумруда
 - Халцедона
 - Сапфира
 - Топаза
-

Вопрос 11.

Инструмент, с помощью которого план местности создаётся непосредственно при съёмке.

- Курвиметр
 - Кипрегель
 - Секстант
 - Астролябия
 - Теодолит
-

Вопрос 12.

Часть криосферы в пределах верхнего слоя земной коры.

- Палеозона
 - Геолитозона
 - Гидролитозона
 - Криолитозона
 - Петролитозона
-

Вопрос 13.

Какой из минералов не царапается ногтем?

- Тальк
 - Графит
 - Кальцит
 - Хлорит
 - Галит
-

Вопрос 14.

Какой из минералов средней твёрдости не царапается ножом?

- Гематит
 - Лазурит
 - Серебро
 - Апатит
 - Ортоклаз
-

Вопрос 15.

Каким из минералов нельзя сделать царапину на стекле?

- Топаз
 - Гранат
 - Турмалин
 - Лазурит
 - Берилл
-

Вопрос 16.

Какой из минералов твёрже?

- Гематит

- Апатит
 - Ортоклаз
 - Кварц
 - Топаз
-

Вопрос 17.

Как по-другому называют гемитриоксид железа?

- Охра
 - Железняк
 - Пирит
 - Колчедан
 - Каломель
-

Вопрос 18.

Пиролюзит, браунит - это руды какого металла?

- Железа
 - Меди
 - Магния
 - Марганца
 - Никеля
-

Вопрос 19.

Полевой шпат, каолин, нефелин - природные соединения какого металла?

- Никеля
- Магния

- Марганца
 - Меди
 - Алюминия
-

Вопрос 20.

Осадочная горная порода, переходная от известняков и доломитов к глинистым породам.

- Мергель
- Полевой шпат
- Карборунд
- Шпинель
- Ортоклаз