МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева

Г. М. Юсупова
Н. М. Макажанова

ОСНОВЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рекомендовано Научно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия

Алматы 2016

УДК 622.01 (075)
Ю 91

Рецензенты:
Абдугалиева Г. Ю., д-р техн. наук, проф., ИГД им. Д. А. Кунаева;
Исмагулова С. О., д-р техн. наук, проф., КазАТК им. М. Тынышпаева;
Машанов А. А., д-р. техн. наук, проф., КазНТУ им. К. И. Сатпаева.

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2016 г.

Юсупова Г. М

Ю91 Основы горного производства: Учеб. пособие. / Г. М. Юсупова, *Н. М. Макажанова.* – Алматы, КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, 2016. – 228 с.: Ил.111. Табл. 7. Библиогр. – 17 назв.
ISBN978-601-323-002-3

В учебном пособии содержится систематическое изложение дисциплины «Основы горного производства». Рассматривается история и логика развития горного дела, его техники и технологии, а также горных наук. Приведена характеристика минерально-сырьевого комплекса и его значения для современной цивилизации. Изложены основные представления о горном деле применительно к разработке рудных месторождений, угля и нерудных полезных ископаемых. Рассмотрены технологические основы проведения горных выработок и добычи полезных ископаемых. Даны общие представления о разрушении горных пород. Подробно описаны основные технологические процессы и системы разработки месторождений полезных ископаемых открытым, подземным способами. Дана характеристика технологических процессов первичной переработки и обогащения полезных ископаемых. Представлены общие сведения об экологических проблемах освоения недр.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по профилю подготовки бакалавров, специалистов – горных инженеров и магистров в области горного дела.

УДК 622.01 (075)

ISBN 978-601-323-002-3 © Юсупова Г. М., Макажанова Н.М., 2016
© КазНИТУим. К. И. Сатпаева, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Горное дело охватывает разведку месторождений полезных ископаемых, их разработку, первичную переработку добываемого сырья, строительство горных предприятий и подземных сооружений различного назначения.

Горно-добывающая промышленность – это составная часть горного дела, цель которой состоит в добыче и первичном обогащении полезного ископаемого. Эта промышленность поставляет минеральное топливо (уголь, торф, горючие сланцы, нефть) и руды (чёрных, цветных, редких и ценных металлов). Горнодобывающая промышленность имеет важную роль в экономике государства, определяет его самостоятельность.

Приоритетным направлением горно-металлургического комплекса Казахстана является прежде всего комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов и создание конечных переделов их переработки, обеспечивающих выход на изделия высокой товарной готовности с учетом спроса внутреннего и внешнего рынков [1]. По данным Агентства по статистике РК, из 55 предприятий черной и 98 предприятий цветной металлургии непосредственно разработку месторождений полезных ископаемых и переработку минерального сырья осуществляют более 70, которые стали акционерными предприятиями с определенной долей пакета акций, принадлежащих государству.

Современное состояние горнодобывающей промышленности Казахстана характеризуется отставанием развития минерально-сырьевой базы, отсутствием значительных капитальных вложений в отрасль, ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений. Увеличение объемов добычи и переработки возможно лишь за счет освоения новых месторождений и вовлечения в комплексную отработку забалансовых руд, отвалов и хвостов, повторной отработки целиков. К настоящему времени в республике накоплено более

20 млрд. т промышленных отходов, из них техногенные отходы (забалансовые руды, отвалы, хвосты обогащения) предприятий цветной металлургии составляют 10,1 млрд. т, а в черной – 8,7 млрд. т. Только за период отработки рудных месторождений на Рудном Алтае в настоящее время скопилось 360 млн. т твердых отходов горно-металлургического производства, в которых содержится около 2 млн. т меди, свинца, цинка и около 120–130 т золота. Низкий уровень использования твердых отходов в республике объясняется отсутствием:

• оборудования для переработки многих видов отходов или их подготовки для переработки на предприятиях других отраслей;

• экономически обоснованных методик расчета эффективности переработки отходов с учетом экологических требований, а также экономического стимулирования предприятий;

• оперативной информации об объемах образующихся отходов, их физико-химических свойствах и методах использования.

Составление кадастра отходов предприятий горно-металлургического комплекса позволило бы получить более полную и достоверную информацию для анализа их воздействия на экологическое состояние окружающей среды.

Для вовлечения техногенных отходов в сферу материального производства необходимо установить для них определенный перечень требований, выявляющих взаимосвязь между свойствами отходов, сферами их возможного использования и необходимых для их подготовки и переработки технологий и оборудования. Эффективность использования отходов должна быть выше рентабельности основного производства [2].

Горное дело относится к одному из основных видов человеческой деятельности, обеспечивающих существование и уровень развития цивилизации. Горное дело как область промышленного производства охватывает разведку месторождений полезных ископаемых, их разработку, первичную переработку добываемого минерального сырья, строительство горных предприятий и подземных сооружений различного назначения; оно включает в себя все виды техногенного воздействия на земную кору, а также горные науки, изучающие закономерности преобразования и сохранения земных недр. И не случайно периодиза-

ция древней истории построена по видам добываемых из недр материалов, из которых в тот или иной период преимущественно изготовлялись орудия труда: каменный, бронзовый и железный века.

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

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

Цели изучения дисциплины: овладение горной терминологией и комплексом понятий, формирующих область деятельности человека при освоении и сохранении земных недр; освоение принципов ведения обеспечения горных работ; освоение принципов современной технологии добычи твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых; овладение комплексом понятий о качестве добываемого полезного ископаемого и способами его улучшения. Изучение дисциплины базируется на основе знаний отдельных дисциплин гуманитарного, социально-экономического, естественного и общетехнического циклов. Основными из них являются: геология, история горного дела, начертательная геометрия, экология, обеспечение жизнедеятельности и т. д. В свою очередь, «Основы горного производства» являются базой для изучения общетехнических и специальных дисциплин. Горное дело тесно связано с геологией и минералогией, поисками и разведкой, а также с первичной переработкой (обогащением) полезных ископаемых. Поэтому необходимые сведения по этим предметам также включены в настоящее пособие.

Большой вклад в развитие горной науки внесли советские ученые: проф. Б. И. Бокий, проф. М. М. Протодьяконов, академики А. А. Скочинский, А. М. Терпигорев, Л. Д. Шевяков, Г. А. Цулукидзе, Н. В. Мельников, А. Н. Щербань, члены-корреспонденты АН СССР М. И. Агошков, В. В. Ржевский и др.

По количеству и разнообразию минерально-сырьевых ресурсов Казахстан занимает одно из ведущих мест в мире. На базе разведанных запасов создана мощная нефтегазодобывающая, урановая и угольная промышленности, промышленности по добыче и переработке руд черных, цветных и благородных металлов, различных видов неметаллических полезных ископаемых. В горно-металлургическом комплексе насчитывается более 200 горно-добывающих и перерабатывающих предприятий, сбыт товарной продукции которых в настоящее время осуществляется в европейские страны, США, Китай, Южную Корею, Сингапур, Малайзию и другие страны. Сырьевая база топливно-энергетического комплекса в республике достаточна для полного удовлетворения настоящих и перспективных потребностей. Прежде всего, это касается нефти и газа.

Государственным балансом полезных ископаемых учтено более 200 месторождений углеводородного сырья. На территории республики действуют 3 нефтеперерабатывающих и 3 газоперерабатывающих завода, нефтяные операции выполняют около 260 компаний. Прогнозные ресурсы углеводородов связаны с 15 осадочными бассейнами, которые, характеризуясь многообразием геологического строения и широким стратиграфическим диапазоном нефтегазоносности, позволяют рассчитывать на существенный прирост запасов нефти и газа. Урановая и угольная отрасли обеспечены достоверными запасами более чем на 100 лет.

Учитывая серьезную роль минерально-сырьевого комплекса страны в экономике страны, необходимы ударные мероприятия по увеличению объемов и усилению как геологоразведочных работ, так и геологических фундаментальных и

прикладных научных исследований. В настоящее время по многим приоритетным полезным ископаемым наблюдается острый дефицит. Это связано с тем, что в переходный период, в сложной экономической обстановке, при финансовом дефиците, темпы их добычи намного опережали восполнение запасов. В Казахстане, как и во всем мире, исчерпан фонд легко открываемых месторождений. Открытие новых месторождений с каждым годом становится все более сложным и дорогим. Нужна новая стратегия и тактика обнаружения конкурентоспособных месторождений. Главную роль в этом должна сыграть геологическая наука, опережающее развитие которой обеспечит надежный фонд открытия месторождений.

1. ДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И РАЗВИТИЕ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

1.1. История становления горного дела

Истоки горного производства уходят в глубокую древность. Одним из главных факторов развития горного производства, определяющий его уровень в различные исторические периоды, являются орудия горного производства. Периодом неолита датируются первые разработки в Европе кремня в горных выработках, иногда с деревянным креплением. Позднее, с 7– 6-го тыс. до н.э., начинается систематическая разработка медных и оловянных руд, добыча золота и серебра. В центральной Европе от этого периода остались выработки со следами крепления, лестниц и т.п. Постепенно выплавка изделий из меди приобретает относительно широкий характер. Например, древние племена, обитавшие на территории современной Армении, выплавляли бронзу 14 типов. С 5–4 тыс. до н.э. выделяются группы горняков-профессионалов, передававших свой опыт из поколения в поколение. Расширение объемов добычи медных руд приводит к совершенствованию горных технологий. Так, на территории Южной Болгарии по окончании работ горные выработки заполнялись пустой породой. Древние способы разработки россыпных месторождений (в основном золота) принципиально не отличались от современных способов многократного промывания. Задолго до нашей эры горное дело существовало и в Китае, Японии, странах американского континента. Главным фактором развития производительных сил в античном обществе стало освоение производства железа. Добыча руд и производство металлов относились к наиболее развитым и прибыльным отраслям хозяйства греко-римской цивилизации. С развитием феодальных отношений в горном деле происходит значительные сдвиги. В XI – XIII вв. начинается его широкое развитие в Центральной Европе, возникает пока еще ручное бурение горных пород. Важные усовершенствования были сделаны в Европе в XV–XVI вв. Применение конного привода и водяного колеса для рудничного подъема, а также для водоотливных

устройств позволило вести горные работы на глубине до 150 м. Применяются взрывные технологии добычи. Вводится мокрое обогащение, что позволяет вести разработку сравнительно бедных руд. В 1512 г. В Саксонии была выдана привилегия на мокрую толчею. В это время в рудниках начинают устраивать деревянные настилы для перемещения по ним тележек с полезным ископаемым. Появляются первые горные училища и руководства по горному делу («12 книг о металлах» Г. Агриколы, 1556). В горном производстве раньше, чем в других отраслях промышленности, нашли применение паровые машины, первоначально для откачивания воды (англичанин Т. Ньюкомен в 1711–1712 гг.) затем для рудничного подъема.

С эпохи промышленного переворота (кон. XVIII–нач. XIX в.) осуществляется переход к широкому применению машин. В 1815 г. англичанин Г. Дэви, изобретает безопасную рудничную лампу. Совершенствуется техника бурения, все шире применяются взрывчатые вещества, вводится рельсовая откатка с конной тягой. В 30-х гг. XIX в. Начинают применяться стальные канаты для рудничного подъема и откатки [3].

1.2. 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 тыс. до н.э. до середины 1 тыс. до н.э. Со временем это понятие расширилось; орудия труда, механизмы также стали относиться к технике. В современной науковедческой литературе технику определяют как систему средств труда.

Техника неразрывно связана с технологией – совокупностью взаимосвязанных процессов производства, в которых осуществляется взаимодействие человека и техники по определенной технологии. Развитие техники обусловливает совершенст-

вование технологии, которая в свою очередь, влияет на параметры техники. Горная техника в своем развитии прошла длинный исторический путь совершенствования. Этапы и их эволюция связаны главным образом с использованием различных энергетических источников.

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

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

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

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

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 горно-добывающей промышленности.

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

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

В XX в. энергетика становится комплексной. Паровые двигатели все больше вытесняются электрическими. Замена пара электричеством – одно из главнейших направлений технического прогресса. За счет открытий в области радиотехники и электроники 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 про-

цессах за человеком остается функция управления. Настоящее время можно назвать этапом автоматизации. В этот период научно-технической революции функция управления тоже передается электронным техническим устройствам (ЭВМ, АСУ, АСУП и т. д.). Технические устройства, управляющие машинами, олицетворяют собой этап автоматизации в развитии техники.

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

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

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

В XVIII–XIX вв. наука догоняет технику. Машинное производство дало толчок бурному развитию науки. С середины XX в. наука в своем развитии опережает технику превращается в непосредственную производительную силу. Она воздействует на предметы труда, ее развитие приводит к появлению новых материалов, техники и способов производства.

Все обозначенные выше этапы развития горной техники и технологии систематизированы в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

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.1.1)
- изготовление	35 тыс. лет – 6 тыс. лет до н.э.	Начало подземной и открытой добычи кремня (рис.1.3)
Металлические горные орудия: - медь и бронза	6 тыс. лет до н.э.- 2 тыс. лет до н.э.	Бронзовые кайла, кирки, молоты. Колесные механизмы (рис.1.2)
- железо	2 тыс. лет до н.э. XVI в. н.э.	Железные кайла, клинья, молоты, механические приспособления для шахтного подъема и водоотлива
	Эпоха горных машин	
Машины на гидроэнергии	VI – VIII вв. XVIII в.	Примитивные горные механизмы для обогащения, шахтного подъема, водоотлива. Горные машины с приводом от водяного колеса, конной тяги. Рельсовые вагонетки. Взрывобезопасный светильник, система вентиляции (рис.1.4)
Паровые машины	XVIII вв. – конец XX	Выемочные горные машины, одноковшовые и многоковшовые экскаваторы, буровые станки, врубовые машины, транспортные машины с паровым и электрическим приводами. Конвейеры, обогащение полезных ископаемых (рис.1.4, 1.5)
Высокопроизводительные горные машины с ДВС и электродвигателями	начало – середина XX в	Высокопроизводительные экскаваторы, горные комбайны, буровые установки глубокого бурения. Турбобур, электробур. Подземные самоходные машины
Автоматизация процессов горного производства	с 50-х гг. XX в	Автоматизированные комплексы горных машин, буровые установки сверхглубокого бурения, морское горно-добывающее оборудование. Цикличнопоточное и поточное производство

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.

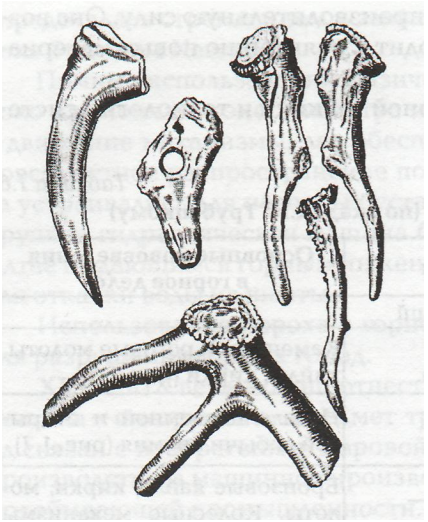


Рис. 1.1. Роговые орудия горняков эпохи неолита

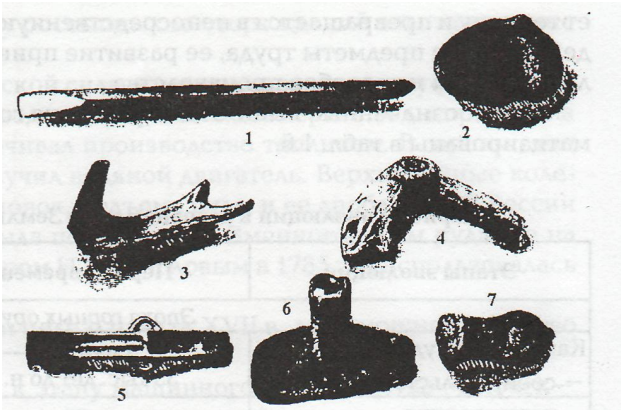


Рис 1.2. Горные орудия из камня, костей и бронзы:
1 – каменный лом; 2 – каменный молоток;
3,4 – куски кости для мягких пород;
5,6,7 – бронзовые долото, лопата и молоток (г.Фрайберг, Германия)

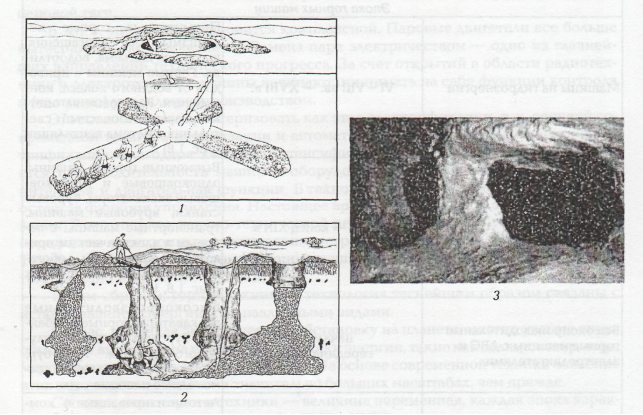


Рис. 1.3. Подземная добыча кремня для каменного оружия и орудий труда:
1- путем проходки горизонтальных выработок из вертикальных шурфов в Грамс-Грейвс (Великобритания); 2 – путем проходки вертикальных выработок (шурфов) в районе Красного Села (Белоруссия); 3 – древние горные выработки в Спьене (Бельгия) для добычи кремня

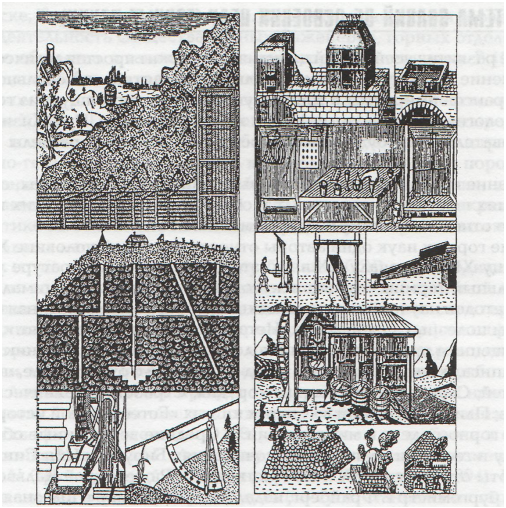


Рис. 1.4. Рисунки из книги М. В. Ломоносова «Первые основания *металлургии или рудных дел (1763)*

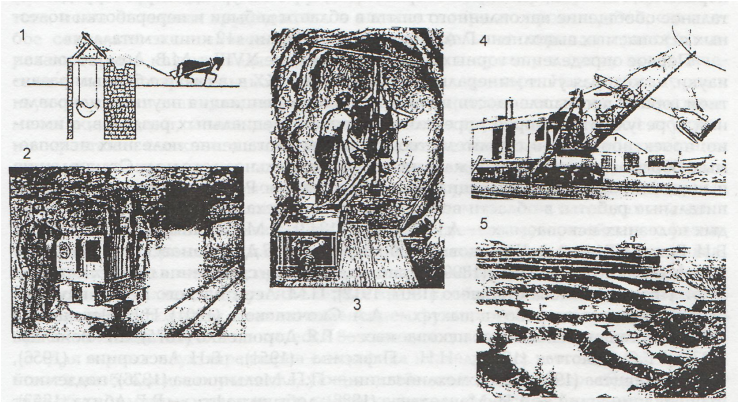


Рис. 1.5. Начальные этапы развития горного машиностроения:
1 – добыча нефти из колодцев (Апшеронский п-ов, 1683);
2 – шахтный электровентилятор (кон XIX в.); 3 – подземный электрический буровой станок (Германия, 1884); 4 – первый паровой экскаватор (кон XIX - в. начало – *середина XX в)*

Более чем за 230 лет изменился предмет изучения горных работ от минералов (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 (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 работ. Более того, исключительная трудоемкость и опасность горного производства, его особое социально-экономическое положение в отдельные периоды трансформировали горные науки, уводя их от наук о Земле, например к циклу экономических и машиностроительных наук прикладного характера. Насыщение горных наук смежными знаниями в области геологии, геофизики, геохимии, математики, механики, физики, химии, экономики, экологии и

других наук, с одной стороны, и возрастание сложности экономических и социальных проблем, возникающих перед горной промышленностью с другой, привели в последней четверти XX в. к наиболее радикальному изменению концепции горных наук. Согласно ей горные науки представляют собой систему знаний о закономерностях и методах освоения и сохранения недр Земли как ресурса жизнеобеспечения для устойчивого развития общества. Горные науки изучают техногенно изменяемые недра Земли во взаимосвязи технологических процессов с горно-геологическими условиями. Целью горных наук является получение новых знаний, обеспечивающих возможность управления состоянием, а также изменением функционального назначения недр при их комплексном и экологически безопасном освоении и сохранении.

Для горных наук характерна специфика исследуемых ими явлений. Она состоит в необходимости учета следующих особенностей: крупного масштаба событий, обусловленных созданием и одновременным функционированием большого числа производственных объектов в условиях невозобновляемости запасов полезных ископаемых; значительной пространственной изменчивости свойств среды при освоении недр (твердой, жидкой и газообразной) в пределах влияния этих объектов на природу; вероятностного характера параметров, системной обусловленности и информационной емкости технологических процессов; сопряженности при освоении недр всех форм движения материи – от простой механической до высшей социальной, что выдвигает в число рассматриваемых объектов наиболее сложные природно-технические системы и систему «человек – машина».

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

скими интерфейсами, имитационных моделей производственных объектов, различных видов мониторинга.

Изменение концепции горных наук – от обоснования технических решений при разработке месторождений полезных ископаемых к выявлению закономерностей развития геосистем, установлению их параметров и методов управления функционированием в связи с последствиями освоения недр для природы и общества – позволяет впервые представить классификацию горных наук применительно к освоению и сохранению недр при добыче твердых полезных ископаемых (табл. 1.2).

Таблица 1.2

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 учетом изменения свойств георесурсов (разнообразия аномалий, масштабов и интенсивности их проявлений, пространственной локализации, сочетания, агрегатного состояния, экономических параметров и др.) под действием техногенных преобразований.

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

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

«Геотехнология» объединяет науки об извлечении полезных ископаемых из недр и водоемов, предметом исследований которых являются технологические процессы, технические средства, технологии, способы и горные объекты, позволяющие извлечь георесурсы из недр. Они же создают научные предпосылки для использования георесурсов тех видов, утилизация которых не предполагает их извлечения (например, подземные полости) [3].

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

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

В группу «Обогащение полезных ископаемых» входят науки об извлечении ценных компонентов из минерального сырья.

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

Взаимосвязь горных наук со смежными научными дисциплинами многогранна. Как науки междисциплинарные горные науки связаны с обширным кругом различных отраслей знания (рис. 1.6).

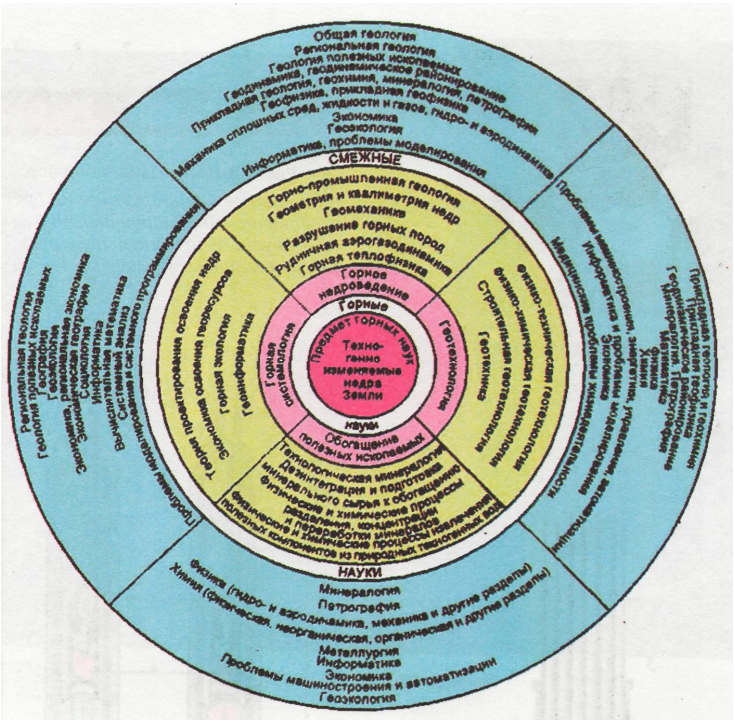


Рис.1.6. Связь горных наук с другими отраслями знаний

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 [4].

В горном недроведении 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 разномерности и нелинейном характере изменения параметров. Она в значительной мере преодолевается при использовании современных методов как вычислительной математики (в сочетании с компьютерными технологиями), так и математической статистики.

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

Горные науки в группах «Геотехнология» и «Обогащение полезных ископаемых» немыслимы без применения разнообразной новой горной, транспортной и обогатительной техники. Решение проблем машиностроения, автоматизации, энергетики,

управления производственными процессами имеет большое значение для развития этих наук.

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

В горном производстве особое место занимают социальные проблемы и факторы экологической безопасности. Весьма трудоемкое освоение недр требует привлечения значительных трудовых ресурсов. При этом труд горняков тяжел физически, опасен и не относится пока к числу наукоемких. В то же время обеспечение нынешнего и будущего общества минеральными ресурсами требует рассмотрения всех вопросов в контексте фундаментальной социальной проблемы устойчивого общественного развития [5].

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.

1.3. 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 1960– начале 1970-х годов. 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 [6].

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. На этой основе может быть достигнут оптимальный народно-хозяйственный и социальный эффект от промышленного освоения ресурсов недр.

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

Следующий четвертый этап развития комплексного освоения недр будет отличаться от предыдущих включением в состав ресурсов недр нового по содержанию экологического ресурса. Его сохранение, предотвращение сверхнормативного расходования, восстановление в необходимых параметрах – все это как целенаправленная 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.

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.

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).

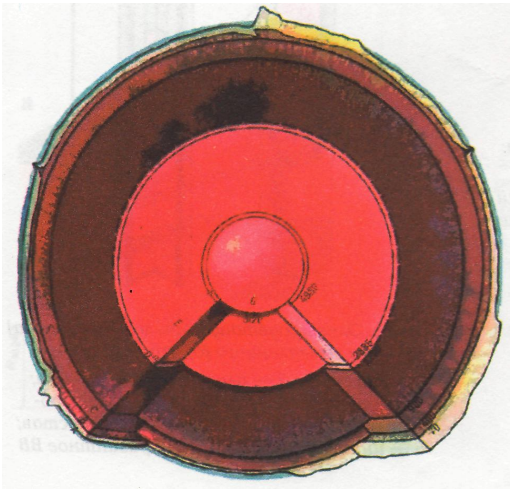


Рис. 2 1. Строение Земли:
A – земная кора; B, C. D – мантия;
E, F – внешнее ядро; G – внутреннее ядро

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

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

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

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

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

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

Изверженные породы образуются при кристаллизации расплавов (магмы), поднимающихся с больших глубин [6].

Таблица 2.1.

Удельное количество разных элементов в земной коре

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

Магма изливается на поверхность при извержении вулканов. Значительная часть расплавов кристаллизуется внутри земной коры.

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

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

Земная кора на 95 % состоит из изверженных пород, представленных преимущественно гранитами. На континентах на глубине 15–30 км граниты залегают сплошным слоем. В 100 т гранитных пород содержится в среднем 8 т алюминия, 5 т железа, 540 кг титана, 80 кг марганца, 30 кг хрома, 18 кг никеля, 7 кг меди, 4,5 кг вольфрама, 1,8 кг свинца. Осадочные отложения залегают на поверхности нашей планеты. В них содержатся нефть, газ, уголь, соли.

2.2. Сведения о горных породах

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

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

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

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

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

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

б) в прибрежной части земной суши;

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

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

Вид I.2. *Комплексные месторождения твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых,* представленные группой близко расположенных залежей с существенно различным химико-минералогическим составом. Разработку таких месторождений возможно, а иногда и технически необходимо вести совместно, из единой сети горных выработок, в одном шахтном или карьерном поле переработку же добытых полезных ископаемых различного состава целесообразно выполнять раздельно или по разным схемам.

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

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

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

Классическим примером такого типа комплексных месторождений являются, например, Лебединское и Стойленское месторождения Курской магнитной аномалии.

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

II группа. *Горные породы вскрыши, размещаемые при открытой разработке месторождений в породных отвалах,* часть которых может быть использована для получения строительных материалов. К этой же группе можно отнести раздельно складируемые в отвалах *добытые забалансовые по качеству полезные ископаемые.* В отвалах вскрыши и забалансовых полезных ископаемых заключено огромное количество продуктов недр, использование которых представляет задачу самой близкой перспективы [7].

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

IV группа. *Глубинные источники пресных, минеральных и термальных вод.*

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

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

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

2.3. Основные сведения о способах разработки полезных ископаемых

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

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

Скопление твердого полезного ископаемого, залегающее среди горных пород, называется рудным телом. Руды залегают в земной коре в виде геологических тел различной формы [8].

Рассмотрим основные виды полезных ископаемых.

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

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

2. *Руды черных и легирующих металлов* являются сырьевой базой черной и цветной металлургии. Черная металлургия является потребителем марганцевых, хромитовых, никелевых,

кобальтовых, молибден ванадиевых руд. Их добыча растет также высокими темпами.

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

4. *Благородные металла* включают в себя золото, серебро, платиноиды.

Основным производителем золота является Южно-Африканская Республика.

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

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

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

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

Каждое месторождение полезных ископаемых располагается в пределах литосферы нашей планеты и поэтому представляет собой литосферный объект и физически выраженными или условными границами, главным свойством и идентификацион-

ным признаком которого является хозяйственная ценность вещества литосферы внутри этих границ.

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

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

Сущность профессии горного инженера заключается в извлечении из земной коры необходимых минеральных ресурсов с обязательным обеспечением 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 измененных недр. Этот объект можно представить себе как некий объем, окруженный нетронутой литосферой, внутри которого находится зона техногенного разрушения литосферы и

зона спровоцированного этим разрушением изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород.

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

Состояние породного массива в зоне прямого техногенного воздействия определяется особенностями процессов извлечения полезных ископаемых, т. е. набором необходимых для этого неизбежных действий. Для осуществления главной целевой функции добычи минерального сырья – включения части ресурсов литосферы в оборот вещества и энергии техносферы – необходимо обеспечить: доступ с земной поверхности к месту залегания полезного компонента, придать этому компоненту подвижность и выдать его на поверхность Земли. Это три обязательных этапа обобщенной функциональной модели техногенного изменения недр при добыче минерального сырья [9].

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

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

Все многообразие технических и технологических решений, используемых при освоении месторождений твердого минерального сырья, можно объединить в несколько групп, каждая из которых по-своему влияет на изменение свойств природных

объектов литосферы, характеризуется определенными геомеханическими параметрами, динамикой и масштабами последствий техногенного вторжения в литосферу.

Для каждой из групп характерны свои, только ей присущие способы техногенного изменения свойств участков литосферы и специфические последствия, проявляющиеся при восстановлении равновесия в техногенно измененных участках недр после завершения процессов добычи полезных ископаемых.

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

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

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

Ко второй группе относятся наиболее распространенные в угольной промышленности, черной и цветной металлургии, на предприятиях химической промышленности технологии добычи минерального сырья с обрушением налегающей толщи пород. Различные модификации данного способа разработки применяются при выемке пологих, наклонных и крутых залежей любой формы, начиная с поверхности и до глубин, исчисляемых тысячей и более метров. Основная отличительная черта этих технологий – обязательное обрушение налегающей толщи пород вслед за выемкой полезного ископаемого. Отработка месторождения осуществляется планомерно сверху вниз при выемке крутопадающих либо 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 происходят заполнение выработанного пространства обрушенными вмещающими породами, развитие зон неупругих перемещений за зоной непосредственного разрыхления пород и образование мульды сдвижения пород на поверхности. Эти процессы развиваются параллельно с отработкой месторождения, после чего происходят постепенное затухание необратимых деформаций во вмещающих породах и уплотнение обрушенных пород внутри мульды сдвижения. А когда осуществляется разработка месторождения в очень прочных, жестких породах, происходит запаздывание с обрушением основной массы налегающих пород, образуется зависающая консоль монолитных пород висячего бока, которая затем может мгновенно сдвинуться в сторону выработанного пространства, генерируя сейсмические колебания большой энергии, соизмеримые с природным землетрясением (Апатиты, Таштагол).

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

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

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

3.1. Формы и элементы залегания полезных ископаемых, классификация, деление их по мощности и углу падения

Формы и элементы залегания полезных ископаемых, классификация, деление их по мощности и углу падения

Любое месторождение представляет собой систему залежей полезного ископаемого, количество которых может достигать десятков и сотен единиц. Из признаков, характеризующих месторождение, наибольшее влияние на технологию их разработки оказывают морфология, форма, размеры и условия залегания.

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

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

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

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

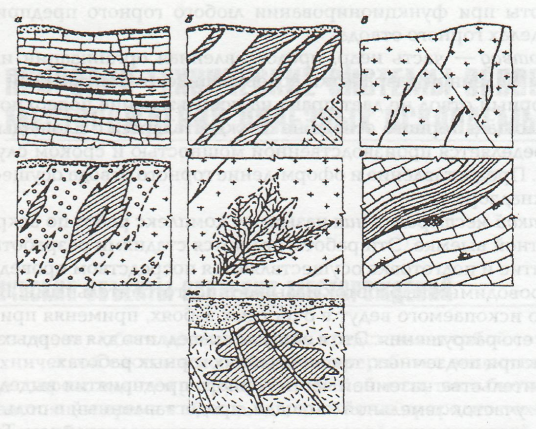


Рис. 3.1. Формы рудных тел
(вертикальные, поперечные разрезы):
а – пластовые; б – пластообразные; в – жильные;
г- линзообразные; д – штокверк; е – рудные гнезда;
ж- штокообразные

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

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

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

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

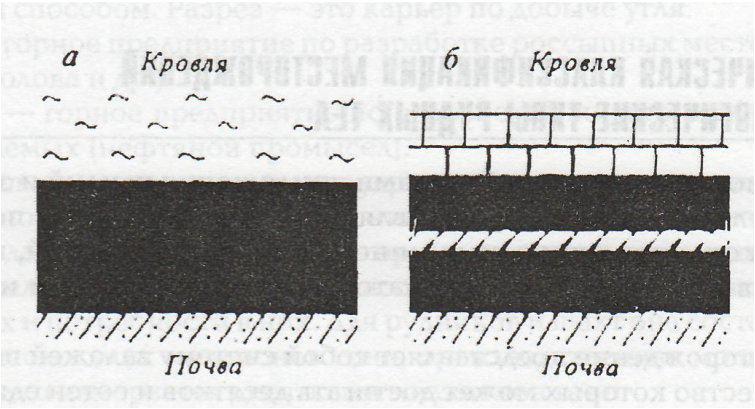


Рис. 3.2. Строение пластов: *А – простое; б – сложное*

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

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

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

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

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

К неправильным залежам относятся жилы, штоки, гнезда, линзы (рис. 3.3.)

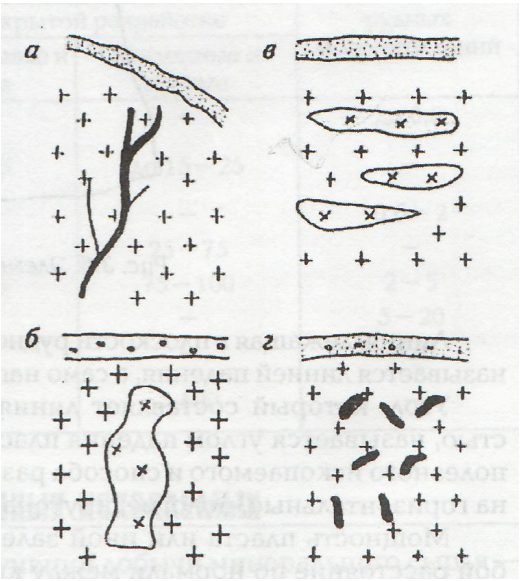


Рис. 3.3. Формы залегания рудных тел:
а – жила; б – шток; в – линзы; г – гнезда

Неправильную форму залегания имеют, как правило, рудные залежи.

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

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

Пласты горных пород в период образования залегали более или менее горизонтально, но под действием тектонических (горообразовательных) процессов, протекавших в земной коре, первоначальное залегание пород нарушалось в той или иной

степени. В некоторых районах пласты оказались собранными в складки. Они могут занимать любое положение в земной коре.

Нарушения нормального залегания пластов называются дислокациями. Дислокации без разрыва сплошности называются пликативными, с разрывом сплошности – дизъюнктивными [8].

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

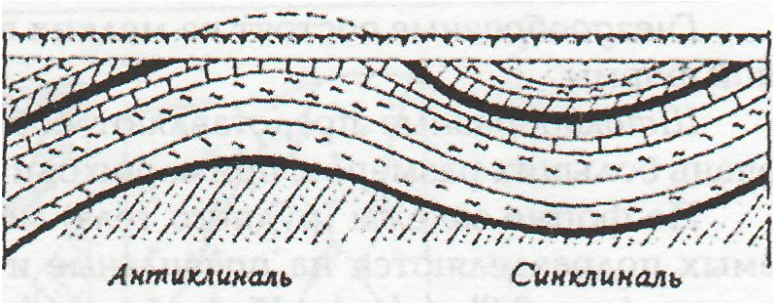


Рис. 3.4. Складчатость месторождения

Складка, обращенная выпуклостью вниз, называется синклиналью, а выпуклая вверх – антиклиналью.

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

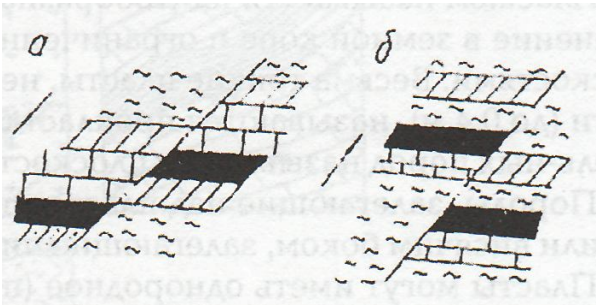


Рис. 3.5. Дизъюнктивные нарушения *а) сброс; б) - взброс*

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

Протяжение рудного тела в длину называется *простиранием.*

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

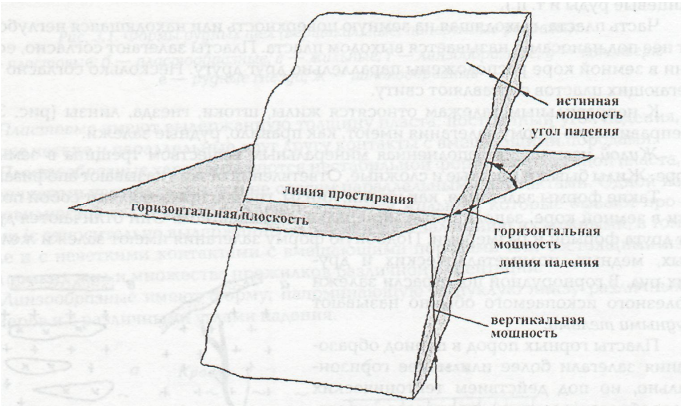


Рис. 3.6. Элементы залегания пласта

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 полезных ископаемых по углу падения

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

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

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

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

Таблица 3.2

Классификация залежей полезных ископаемых по мощности

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

3.2. Способы разработки месторождений полезных ископаемых

Для осуществления главной целевой функции добычи минерального сырья - включения части ресурсов литосферы в оборот вещества и энергии техносферы – необходимо обеспечить *доступ* с земной поверхности к месту залегания полезного компонента, придать этому компоненту подвижность и выдать его в этом состоянии на поверхность Земли. Таким образом, обобщенная функциональная модель добычи полезного ископаемого включает в себя три обязательных этапа:

- доступ с поверхности к месту дислокации в литосфере участка с полезными свойствами;
- придание подвижности полезному компоненту, залегающему в литосфере;
- выдача полезного компонента в подвижном состоянии на поверхность Земли.

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

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

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

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

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

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

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

Сочетание этих способов обычно называют *комбинированным способом*.

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

Подземную разработку месторождений 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.

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.

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).

В ряде случаев разработку верхней части месторождения полезных ископаемых осуществляют открытым способом, а нижнюю, глубокозалегающую – подземным; или наоборот, производят отработку подземным, а затем открытым способами.

Открытые и подземные работы взаимно увязывают; способ разработки получил название *комбинированного* или, реже, совместного (при одновременном ведении открытых и подземных работ).

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

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

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

3.3. Горные выработки – назначение и способы проведения

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

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

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

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

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

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

Комплекс образующихся в земной коре в результате проведения открытых горных работ больших выемок (траншей, котлованов и др.) называют *карьером* (на россыпных месторождениях и в угольной промышленности – *разрезом*). В каждый данный момент карьер ограничен верхним контуром – линией, ограничивающей карьер на уровне земной поверхности по его бортам, и нижним контуром – линией, ограничивающей подош-

ву карьера. Верхний и нижний контуры карьера в процессе разработки изменяются. Контуры, достигнутые при погашении открытых горных работ, т.е. при конечной глубине и конечных размерах карьера в плане, называют конечными контурами.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

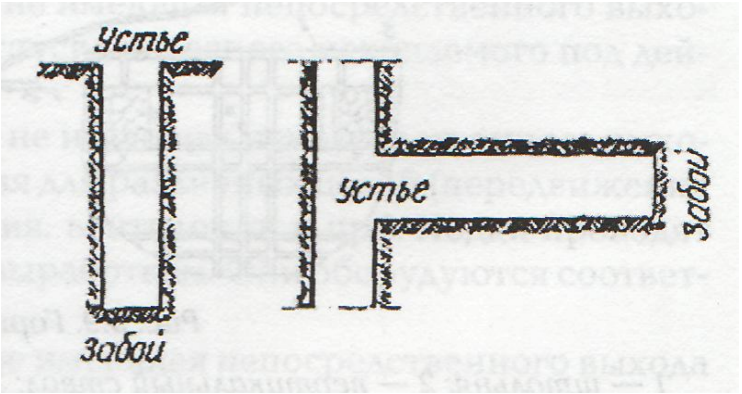
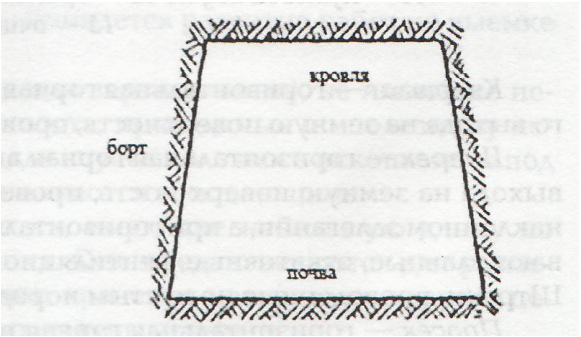


Рис. 3.7. Забой и устье выработки

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

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

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



3.8. Поперечное сечение горной выработки

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 многоэтажной клети) в момент загрузки. Вертикальные стволы имеют круглую, прямоугольную или эллиптическую форму поперечного сечения.

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

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

Шурф – вертикальная горная выработка, обычно малого сечения и небольшой глубины, имеющая 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.

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

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

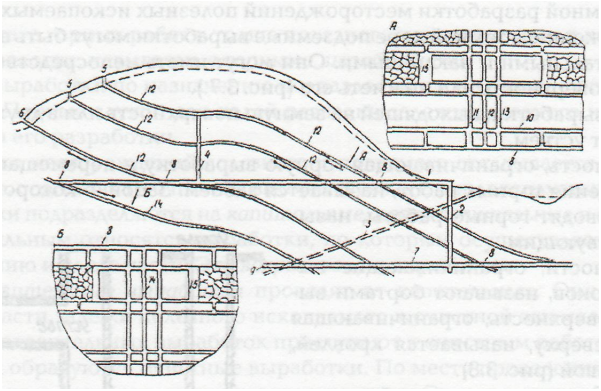


Рис. 3.9. Горные выработки:
1- штольня; 2 – вертикальный ствол; 3 – наклонный ствол; 4 – гезенк; 5 – шурф 6 – наклонный шурф; 7 – квершлаг; 8 – штрек; 9 – полевой штрек; 10 – просек;11 – путевой ходок; 12 – бремсберг; 13 – людской ходок; 14 – уклон; 15 – очистной забой

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

Штрек – горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную 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 (рис. 3.10).

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

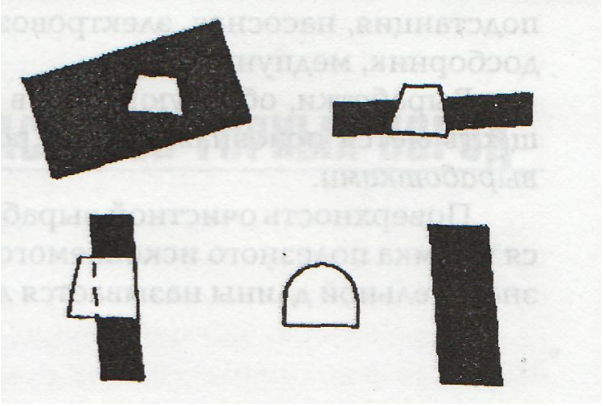


Рис. 3.10. Расположение штреков относительно залежи полезного ископаемого

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

Сбойка – горизонтальная горная выработка, проводимая между расположенными 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.

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.

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

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

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

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

На рудниках наклонные выработки (иногда вертикальные), не имеющие непосредственного выхода на земную поверхность, проводимые по полезному ископаемому или пустым породам,

служащие для спуска полезного ископаемого под действием силы тяжести и других целей, называются *восстающими.*

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

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

Поверхность очистной выработки, с которой непосредственно осуществляется выемка полезного ископаемого, называется очистным забоем. Очистной забой значительной длины называется лавой [6].

4. ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

4.1. Общие положения

На современном уровне наших знаний возможностей в горнодобывающей промышленности в основном применяют взрывной и механический способы. При этом 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. Рассмотрим свойства горных пород в связи с требованиями горных технологий, практически все показатели, которых в той или иной степени определяются этими свойствами.

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

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

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

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

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

где τ – касательные напряжения на площадке сдвига; C – сила сцепления между отдельными частицами; k_T – коэффициент трения ($k_T = tg\varphi$); φ – угол внутреннего трения; N – нормальная сила [7].

4.2. Физико-механические свойства горных пород

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

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

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

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

4. Неустойчивые – требуют крепления вслед за обнажением.

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

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

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

Проявление горного давления и устойчивость выработок в значительной степени зависят от плотностных, водно-физических, прочностных и деформационных свойств пород. Существенное влияние эти свойства оказывают и на технологию проведения выработок [7].

4.3. Разрушение горных пород взрывом

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

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

Взрывной способ разрушения основан на применении взрывчатых веществ, при быстротечном разложении которых освобождающаяся энергия взрыва отделяет от массива и осуществляет дробление породы. Чтобы осуществить взрывное разрушение горных пород, необходимо иметь три компонента:

- зарядную камеру (полость в породе, в которой располагается заряд);
- взрывчатое вещество (заряд);

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

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

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

Шпуровой способ взрывных работ применяют при проведении горных выработок, в отдельных случаях для отбойки в очистных забоях и руд в блоках небольшой мощности рудных залежей.

Скважинный способ взрывных работ применяют при массовой отбойке руды в блоках мощных тел, а также на открытых горных работах для разрушения пород в уступах.

Метод камерных зарядов применяют в отдельных случаях для отбойки руды в блоках, а также для осуществления массовых взрывов на поверхности.

Накладные заряды устанавливаются на наружной поверхности разрушаемого массива.

При *ударном бурении* буровой инструмент наносит удар по забою шпура или скважины и образует в нем соответствующей формы углубление – вруб.

При *вращательном бурении* буровой инструмент непрерывно вращается вокруг своей оси, совпадающей с осью шпура или скважины, и одновременно подается на ее забой.

При *шарошечном бурении* скважин инструментом является долото, имеющее несколько лап, чаще всего три лапы с пальцами-осями, на которых насажены и вращаются на шариковых опорах конические стальные шарочки с наваренными на них зубьями. При вращении долота шарочки обкатываются о забой скважины, и при этом наносят удары своими зубьями или головками штырей (рис. 4.1).

По характеру разрушения породы на забое скважины шарошечное бурение отнесено к ударному бурению. Очистка скважин от буровой мелочи при шарошечном бурении осуществляется водой или сжатым воздухом, подаваемыми к забою по буровым штангам через специальные отверстия в теле шарошечного долота.

Пока опыт такого бурения есть только на открытых работах, для которых выпускаются станки типа СБО – 160/20. Но массового применения этот способ бурения пока не находит, хотя имеет вполне очевидную перспективу [8].

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

Взрывчатые вещества (ВВ), применяемые в горной промышленности, представляют собой однородные химические соединения (аммиачная селитра NH_3NO_3, тротил $C_6H_2(KO_2)_3\ CH_3$ и др.) или механические смеси (аммонит, динами и др.).



Рис. 4.1. Шарошечные долота

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.

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

- огневой, при котором возбуждение взрыва капсюля-детонатора (КД) вызывается от пучка искр огнепроводного шнура (ОШ);
- электрический, при котором тепловой импульс в электродетонатор (ЭД) передается от электровоспламенителя;
- электроогневой, при котором капсюль-детонатор взрывается от пучка искр огнепроводного шнура, поджигаемого электровоспламенителем;
- бескапсюльный, при котором инициирующий импульс зарядам ВВ передается детонирующим шнуром (ДШ), взрыв которого инициируется капсюлем-детонатором или электродетонатором.

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

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

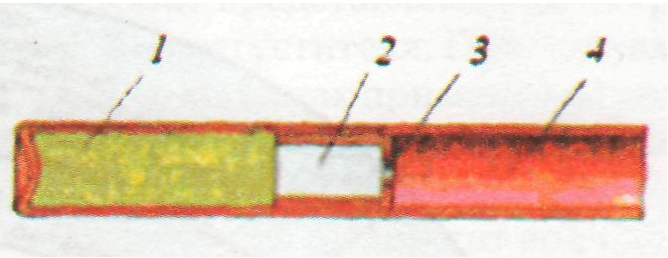


Рис. 4.2. Капсюль-детонатор:
1 – вторичное инициирующее ВВ (тетрил);
2 – первичное инициирующее ВВ (гремучая ртуть, азид свинца, тенерес);3 – металлическая чашечка; 4 – гильза

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



Рис. 4.3. Огнепроводный шнур

Зажигательный патрон (рис. 4.4.) представляет собой картонную гильзу с лепестками, на дно которой помещают зажигательный состав. Зажигательные патроны применяются для одновременного группового зажигания 10-13 отрезков шнура. Зажигательную смесь патрона поджигают с помощью воспламеняющего шнура. Для электрического зажигания отдельных отрезков ОШ применяют зажигательные трубки, электрозажигатели. Для зажигания ОШ также применяют тлеющие фитили и зажигательные свечи.

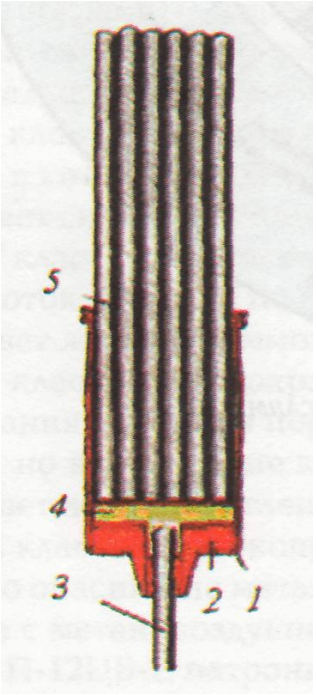


Рис. 4.4. Зажигательный патрон:
1 – бумажный стакан; 2 – втулка; 3 – воспламеняющий шнур; 4 – зажигательный состав; 5 – пучок ОШ

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

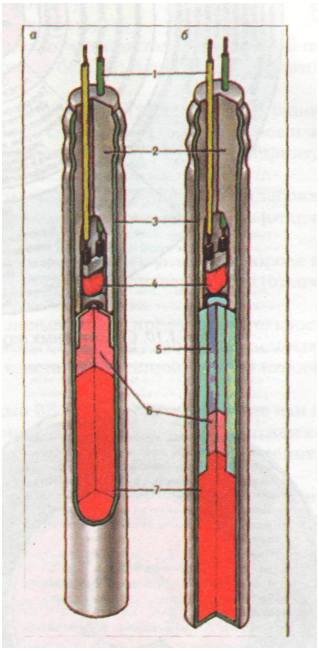


Рис. 4.5. Электродетонаторы мгновенного(а)
и замедленного (б) действия:
1- провода; 2 – пластмассовая пробка;
3 – металлическая гильза; 4 – элетровоспламенитель;
5 – замедляющий состав; 6 – инициирующие ВВ;
7 – бризантное ВВ

Электродетонатор представляет собой капсюль-детонатор с введенным в него электровоспламенителем. Электровоспламенитель состоит из проводников, нитей накаливания и головки воспламенительного состава. По времени срабатывания различают электродетонаторы мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия. Замедление достигается размещением между капсюлем-детонатором и электровоспламенителем медленно горящего состава [9].

Для повышения эффекта взрывных работ при проведении горных выработок взрывание зарядов в шпурах производят группами в определенной последовательности. При огневом

взрывании это достигается применением огнепроводного шнура различной длины. При электрическом взрывании разновременность взрывания зарядов достигается применением электродетонаторов замедленного (ЭДЗД) или короткозамедленного (ЭДКЗ) действия. Интервалы замедления ЭДЗД: 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 8,0 и 10,0 с. Интервалы замедления ЭДКЗ:15,30,45,75,90,105 и 120 мс или 25,50,75,100 и 125 мс.

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



Рис. 4.6. Детонирующий шнур

5. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ РАБОТАХ ПРИ ОТКРЫТОМ СПОСОБЕ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

5.1. Сущность и содержание открытых горных работ

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

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

По углу наклона к горизонту различают следующие залежи: горизонтальные или слабонаклонные – до 10 – 15^{o}; наклонные – от 10 до 30^{o}; крутые – более 30^{o}.

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

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

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

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

Часть месторождения, отводимая для разработки карьером, называется карьерным полем. Площадь карьерного поля обычно составляет от 0,5 до 4 тыс. га. Участок, занимаемый основными

объектами карьера, называется земельным отводом. Площадь земельного отвода во много раз превышает площадь карьерного поля. На рис. 5.1 представлен общий вид карьера.



Рис. 5.1. Общий вид карьера

Месторождение при открытой разработке делят на горизонтальные или наклонные слои, которые отрабатывают с опережением верхними слоями нижних. Поэтому борта карьера, т. е. его боковые поверхности, имеют ступенчатую, или уступную форму [9].

5.2. Элементы и параметры уступа

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

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.

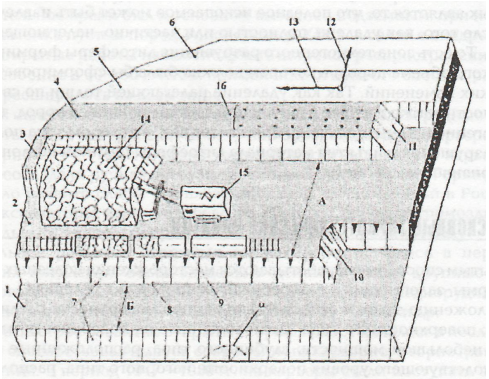


Рис. 5.2. Основные элементы уступа:
1, 2 – соответственно нижняя и верхняя площадки уступа; 3, 4, 5, 6 – заходки; 7 – откос уступа; 8 – нижняя бровка уступа; 9 – верхняя бровка уступа; 10,11 – соответственно забои угольного и породного уступов; 12 – направление перемещения фронта работ; 13 – направление перемещения забоя заходки; 14 – развал породы после взрыва; α -угол откоса уступа; 15 – погрузка породы экскаватором в железнодорожный состав; 16 – подготовка заходки к взрыву, бурение и заряжание скважины; А – рабочая площадка; Б – нерабочая площадка

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

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

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

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

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

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

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

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

Различают следующие коэффициенты вскрыши (рис. 5.3):

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

$$К_{ср} = Объем\ 1\text{-}5\text{-}13/\ Объем\ 5\text{-}6\text{-}13\text{-}14;$$

Частные значения среднего коэффициента вскрыши:

$$К'_{ср} = Объем\ 3\text{-}5\text{-}9/\ Объем\ 5\text{-}6\text{-}9\text{-}10$$

или

$$К''_{ср} = Объем\ 2\text{-}5\text{-}11/\ Объем\ 5\text{-}6\text{-}11\text{-}12$$

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

$$К_к = Объем\ 3\text{-}4\text{-}7\text{-}9/\ Объем\ 7\text{-}8\text{-}9\text{-}10.$$

С увеличением глубины разработки величина контурного коэффициента вскрыши возрастает.

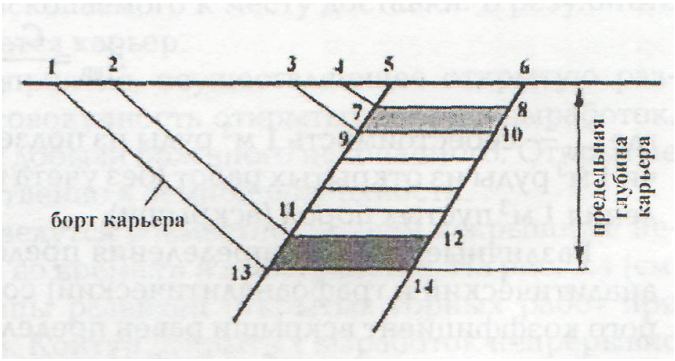


Рис. 5.3. К понятию о коэффициенте вскрыши

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

$$К_{пр} = Объем\ 1\text{-}2\text{-}11\text{-}13 / Объем\ 11\text{-}12\text{-}13\text{-}14.$$

Текущий ($К_Т$) – отношение объема вскрышных пород, фактически перемещаемых в течение месяца, квартала, полугодия, года, к фактически добываемому за этот период объему полезного ископаемого.

Эксплуатационный ($К_э$)– расчетное отношение объема вскрышных пород к объему полезного ископаемого за период эксплуатационных работ в карьере. Иногда его называют средним эксплуатационным. Он служит критерием для горных работ и расчетов потребного количества горного и транспортного оборудования за период эксплуатации. Коэффициент вскрыши изменяется в широких пределах – от 0,9 до 15 $м^3/т$ и более.

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

$$К_{пр} = С_п - С_о / С_в,$$

где $C_п$ – себестоимость 1м^3 руды из подземных работ; $C_о$ – себестоимость добычи 1 м^3 руды из открытых работ (без учета вскрышных работ); $C_в$ – стоимость удаления 1 м^3 пустых пород (вскрыши).

Различные методы определения предельной глубины карьера (графический, аналитический и графоаналитический) состоят в отыскании горизонта, для которого коэффициент вскрыши равен предельному. Иногда, учитывая достоинства и недостатки открытых работ, глубину карьера принимают больше или меньше расчетной. Так, при подземной разработке серноколчеданных месторождений нередко возникают подземные пожары, осложняющие разработку. В этом случае целесообразно увеличение глубины карьера по сравнению с расчетной. В условиях селективной выемки или при добыче ценных руд открытые работы также предпочтительнее и могут вестись ниже границы, определенной расчетом. В районах с суровым климатом и значительным выпадением снега, напротив, уменьшение глубины карьера может быть целесообразно. Глубина современных карьеров уже превышает 500 м с перспективой увеличения до 700 и более метров.

Степень экономической эффективности открытых горных работ характеризуется величиной технико-экономических показателей, к основным из которых относятся прибыль, рентабельность, себестоимость. Под прибылью понимается разница между ценностью реализуемой товарной продукции и затратами на ее производство. Рентабельность – это отношение прибыли, полученной в течение года, к общей величине средств (основных и оборотных фондов), находящихся на карьере.

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

$$C = C_о + K_э\, C_в;$$

$C_о$ и $C_в$ – соответственно затраты на 1 т добычи и вскрыши, тг; $K_э$ – коэффициент вскрыши, т/т.

5.3. Периоды открытых горных работ

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

Подготовительный период включает работы по подготовке месторождения, осушению и ограждению от вод и подземного поверхностного стоков. Строительный период входят работы по вскрытию месторождения, созданию начального фронта вскрышных и добычных работ, строительству транспортных коммуникаций. Эксплуатационный период охватывает горные работы по вскрыше и добыче в пределах плана. Заключительный период – это работы по рекультивации нарушенных горными работами земель.

Открытая разработка включает два основных вида работ – вскрышные и добычные. Вскрышные работы заключаются в удалении пустых пород, обеспечивающем доступ к полезному ископаемому и его добыче, а добычные – в выемке, погрузке и перемещению полезного ископаемого к месту доставки. В результате вскрышных и добычных работ образуется карьер [9].

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

Вскрышные и добычные работы ведутся совместно, причем вскрышные несколько опережают добычные работы во времени и пространстве. На рис. 5.4 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 оборудования характеризуется высокой производительностью.

В процессе извлечения полезных ископаемых из недр возникают бесплодные территории, разрушительное воздействие которых распространяется на окружающие сельскохозяйственные и лесные угодья.

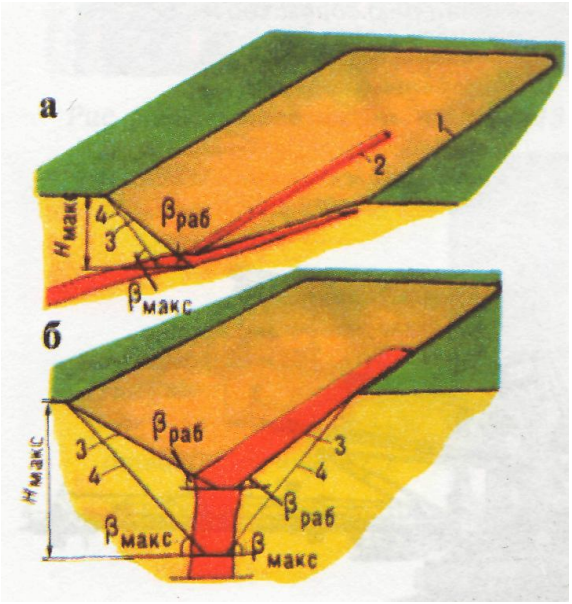


Рис. 5.4. Этапы развития открытых горных работ при разработке пологих (а) и крутопадающих (б) залежей:
1 – верхний контур карьерного поля; 2 – нижний контур карьерного поля; 3 – рабочий борт карьера; 4 – борт карьера при погашении, $\beta_{раб.}$ и $\beta_{макс.}$ – соответственно углы рабочего борта и борта карьера при погашении

Это приводит к нарушению тысячелетиями складывающегося природного комплекса. Общая площадь земель, нарушенных открытыми работами, оценивается около 1,5–2,0 млн. га.

Под рекультивацией понимается восстановление нарушенных земель с целью их использования в других отраслях народного хозяйства. В результате рекультивации могут создаться земли, пригодные для сельского и лесного хозяйства, организации отдыха, устройства водоемов, жилищного и промышленно-

го строительства. При этом необходимо ориентироваться на создание наиболее ценных и продуктивных угодий.

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

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

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

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

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

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

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

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.

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 ее бортов и затем приводится в соответствие с рабочими размерами экскаватора. Обычно ширина разрезных траншей составляет 20–25 м. Траншеи, располагаемые на косогоре, часто не имеют второго борта, поэтому их называют полутраншеями.

Траншеи могут располагаться в пустых породах и в рудном теле. В первом случае породу располагают на бортах траншеи или вывозят в отвалы. Поэтому 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.

Проходка траншеи драглайном по бестранспортной схеме показана на рис. 5.5. Максимально возможные размеры траншеи b и h определяются рабочими параметрами экскаватора и физико-механическими свойствами пород. Между отвалом и верхней бровкой борта траншеи должна оставляться площадка (берма) безопасности c, размеры которой зависят от устойчивости пород и глубины траншеи. Иногда породы располагаются на одном

борту траншеи: в этом случае при проходке экскаватор смещается к этому борту. Широкие траншеи экскаватор проходит за два хода, размещая породу вначале с одной стороны траншеи, а затем с другой стороны. 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.

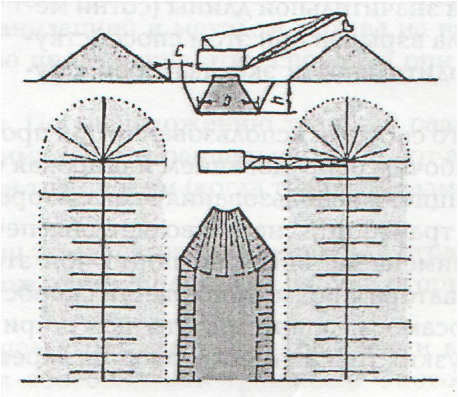


Рис. 5.5. Проходка траншеи драглайном

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

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

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

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

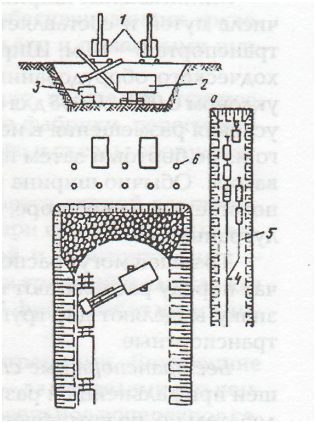


Рис. 5.6. Проходка траншеи сплошным забоем с нижней погрузкой породы в железнодорожные вагоны

Коэффициент использования экскаватора и скорость проходки можно повысить, если ввести проходку траншей сплошным забоем с верхней погрузкой породы вскрышным экскаватором (рис. 5.7, *а*). Рельсовый путь укладывают на одном из бортов траншеи, и при загрузке состава вагоны не расцепляют. Этот способ дает хорошие показатели в породах не выше средней крепости (скорость проходки до 150–250 м/месяц). В скальных породах высокой крепости производительность вскрышных экскаваторов снижается.

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

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

Послойный способ обеспечивает высокую скорость проходки траншей, особенно в мягких породах (до 150–200 м/месяц).

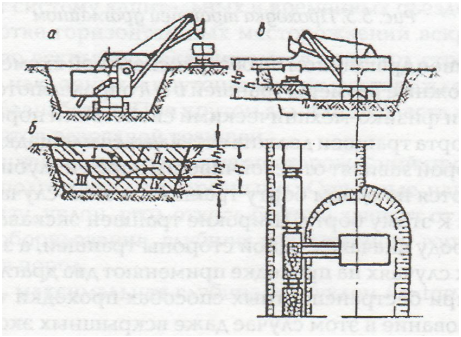


Рис. 5.7. Проходка траншеи сплошным забоем
с верхней погрузкой породы

Большой объем путевых работ, и сложность проведения буровзрывных работ ограничивают область применения этого способа. Проходка разрезной траншеи послойным способом по условиям транспорта возможна только одновременно с проходкой въездной траншеи.

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

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

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

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

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

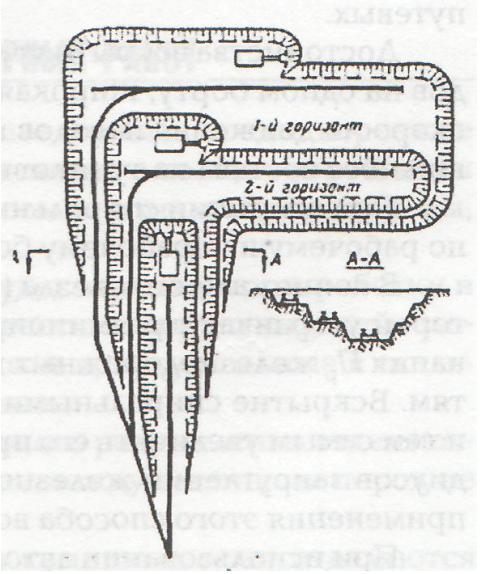


Рис. 5.8. Вскрытие общими внешними траншеями

Вскрытие внутренними траншеями позволяет значительно сократить объем породных работ вследствие расположения траншей внутри контуров карьера. Внутренние траншеи аналогично внешнему вскрытию могут быть отдельными, групповыми и общими. Общие траншеи имеют широкое распространение при разработке глубоких карьеров (глубиной до 400–500 м), при любой форме и любом угле падения месторождений. Из общих траншей наибольшее распространение получило вскрытие тупиковыми и спиральными съездами. При тупиковых съездах (рис. 5.9) вскрывающие траншеи располагают на не рабочем борту карьера во взаимно обратных направлениях. Каждый съезд *1* на рабочем горизонте заканчивается тупиковой площадкой *2*, на которой состав при пуске или подъеме меняет направление своего движения. На схеме карьера показано пять горизонтов: два верхних отработаны, третий (породный) и четвертый (рудный) находятся в стадии отработки, на пятый горизонт проходит въездная траншея. При последующей разработке пятого горизонта правый борт траншей отработают, и съезд на этот го-

ризонт будет иметь такой же вид, как съезды на предыдущие горизонты. На каждом съезде укладывают один или два рельсовых пути.

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

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

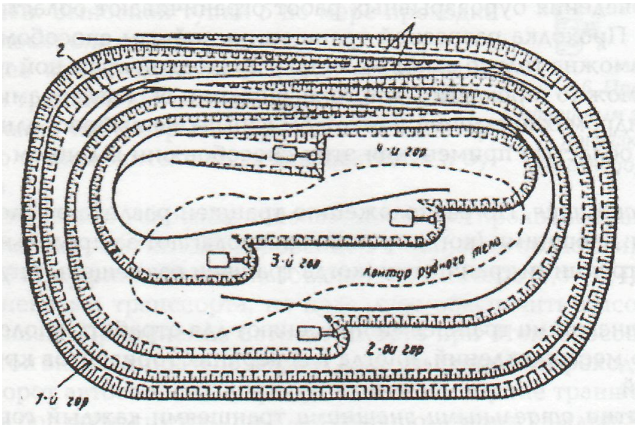


Рис. 5.9. Вскрытие тупиковыми съезами

При вскрытии спиральными съездами последние располагают в виде спирали по рабочему и нерабочему бортам карьера (рис. 5.10). В конце каждого съезда (*1, 2, 3 и 4*) имеется горизонтальная площадка *П*, на которой устраивают разминовки.

На этих же площадках находятся пункты примыкания $П_р$ железнодорожных путей четырех рабочих горизонтов к постоянным путям. Вскрытие спиральными съездами позволяет упростить маневры транспорта и тем самым увеличить его производительность. Однако потребность больших радиусов закруглений железнодорожных путей (150–200 м) ограничивает область применения этого способа вскрытия.

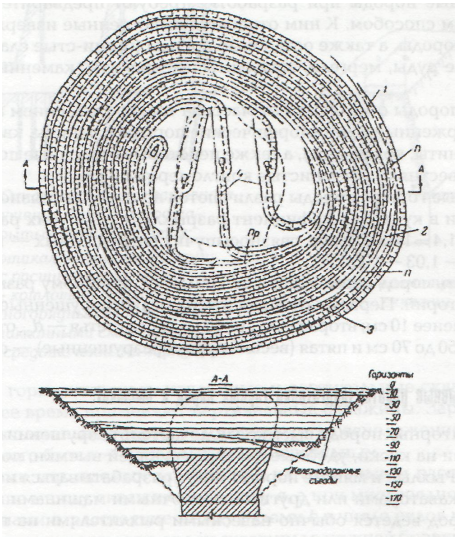


Рис. 5.10. Вскрытие спиральными съездами

При использовании автомобильного транспорта, допускающего крутые уклоны и малые радиусы закруглений (25–30 м), возможно вскрытие месторождений незначительной мощности спиральными съездами. Вследствие более жестких условий применения и более сложной организации добычных работ вскрытие спиральными съездами применяют реже, чем тупиковыми.

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

5.4. Технологические процессы открытых горных работ

Объектами горных разработок являются различные горные породы: коренные (магматические, метаморфические, осадочные), залегающие в толще земной коры на месте своего

образования, и покрывающие их наносы – измельченные породы, переотложенные и перенесенные.

Свойства горных пород определяют выбор оборудования для их разработки и переработки. Для краткой технологической характеристики можно выделить следующие группы горных пород: рыхлые и мягкие, плотные, полускальные и скальные в массиве, полускальные и скальные разрушенные [9].

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

Плотные породы (твердые глины, мел, буровые и каменные угли) отделяются горными машинами без предварительного рыхления. Эти породы сохраняют в массиве угол откоса до 60–70^{o} при высоте уступа 10–12 м.

Полускальные породы при разработке требуют предварительного разрыхления 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 прочие бурые угли.

Скальные породы отделяются от массива только рыхлением взрывом.

К ним относятся изверженные и метаморфические породы (граниты, кварциты, базальты, габбро, сиениты, колчеданы), а также некоторые осадочные породы (песчаники, прочные известняки, кремнистые конгломераты и др.)

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

Кусковатость пород определяется по среднему линейному размеру куска $d_{ср}$ и имеет пять категорий. Первая категория (очень мелкоразрушенные породы) характеризуется $d_{ср}$ менее

10 см; вторая – $d_{ср}$ от 10 до 30 см; третья – $d_{ср}$ – от 30 до 50 см; четвертая –$d_{ср}$ от 50 до 70 см и пятая (весьма крупноразрушенные) –$d_{ср}$ от 70 до 90 см.

5.5. Подготовка горных пород к выемке

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

Максимально допустимый линейный размер куска породы, м, равен:

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

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

Куски, имеющие размеры больше допустимых, называют негабаритными; их подвергают дополнительному дроблению. Применяют различные методы взрывного разрушения пород (рис. 5.11).

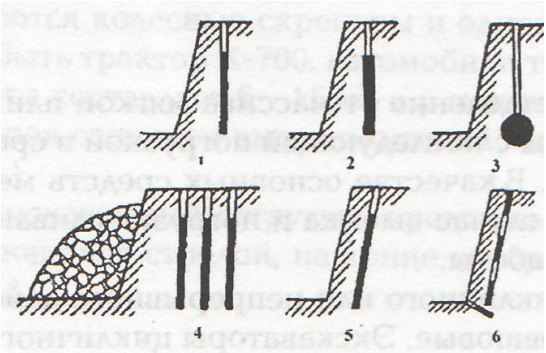


Рис. 5.11. Основные методы взрывного разрушения горных пород на открытых горных работах:
1 – вертикальными скважинами; 2 – с расширением скважин; 3 – котловыми зарядами; 4 – многозарядным взрыванием; 5 – наклонными скважинами; 6 – рассредоточенными зарядами

На большинстве карьеров и в разнообразных условиях применяют скважинные заряды. К основным параметрам взрывных скважин относятся глубина, диаметр и угол наклона (рис. 5.12).

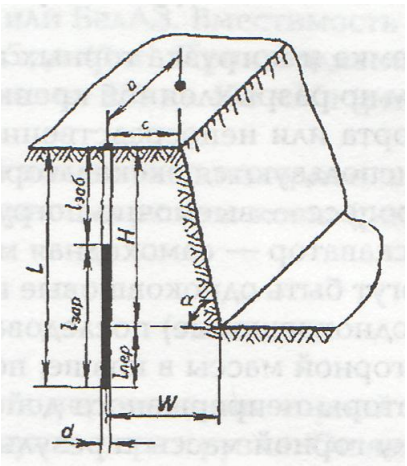


Рис. 5.12. Параметры взрывных скважин

Глубина скважины L определяется высотой взрываемого уступа H, углом наклона скважины к горизонту a и величиной перебура скважины $l_{пер}$ ниже отметки подошвы уступа. Перебур необходим для качественного разрушения пород в подошве уступа.

Забойка скважины должна быть плотной, а ее длина $l_{заб}$ – достаточной для предовращения 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 рассредоточенным, а расположение скважин в пределах взрываемого блока однорядным и многорядным.

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

Горизонтальное расстояние от оси скважин до нижней бровки уступа W называется линией сопротивления по подошве уступа. Буровзрывные работы – это комплекс бурения и взрывания скважинных зарядов. Бурение скважин на уступе осуществляется в один, два или три ряда при помощи станков вращательного или ударно-вращательного действия, которые подразделяются на шнековые и шарошечные. Станки шнекового бурения типа СБШ-СБР-125 и СБР-160 (рис. 5.13) применяют для бурения наклонных и вертикальных скважин диаметром 125–160 мм и глубиной до 25 м.

Станки шарошечного бурения используются на крепких скальных породах и имеют в качестве рабочего органа вращающиеся долота – шарочки с зубьями из твердого сплава. Станки подразделяются на легкие, средние и тяжелые. К легким (до 40 т) относятся станки СБШ-200 ($d_{скв}$ = 150–200 мм) к средним (до 60 т) – 2СБШ-200Н, СБШ-250МН, СБШ-200К ($d_{скв}$ = 220–270 мм); к тяжелым (до 120 т) – СБШ-320 и СБШ-400 для бурения скважин диаметром до 400 мм. Станки

имеют гусеничный ход. Бурение скважин осуществляется вертикально или наклонно глубиной до 60 м.



Рис. 5.13. Станок вращательного бурения типа СБШ

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

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

5.6. Выемочно-погрузочные работы

Выемка и погрузка горных пород – отделение от массива мягкой или предварительно разрыхленной крепкой породы с последующей погрузкой и средства транспорта или непосредственно в отвал. В качестве основных средств механизации используются экскаваторы, в этом случае выемка и погрузка сливаются в один процесс – выемочно-погрузочные работы [7].

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

Важнейшие типы одноковшовых экскаваторов – прямая и обратная механическая лопата и драглайн (рис. 5.14).

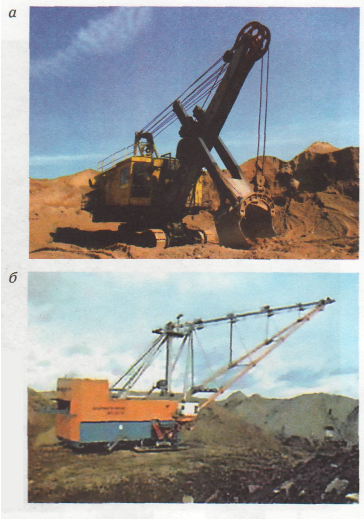


Рис. 5.14. Одноковшовые экскаваторы:
а – прямая лопата; б – драглайн

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

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

Из экскаваторов с канатной связью широкое применение имеют драглайны. Драглайны – шагающие экскаваторы типа ЭШ-10/60, ЭШ-15/90, ЭШ-100/100 – используются на карьерах для перевалки пород вскрыши в выработанное пространство, из забоев, расположенных как ниже, так и выше горизонта установки экскаватора. Выпускаются шагающие драглайны с ковшом вместимостью от 4 до 120 $м^3$ и длиной стрелы до 125 м. Важнейшими типами многоковшовых экскаваторов являются цепные и роторные (рис. 5.15 и 5.16). Роторные экскаваторы типа ЭР имеют рабочий орган в виде роторного колеса диаметром от 2,5 до 18 м с ковшами, установленными на конце стрелы. Число ковшей на роторе изменяется от 6 до 12, а емкость ковшей от 300–800 до 4000–8000 л. Экскаваторы бывают небольшой (до 630 $м^3$/ч), средней (630–2500 $м^3$/ч), большой производительности (2500–5000 $м^3$/ч), сверхмощные – производительностью свыше 5000 $м^3$/ч (рис. 5.16)



Рис. 5.15. Цепной экскаватор на рельсовом ходу

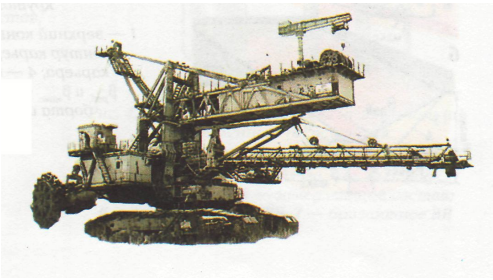


Рис. 5.16. Роторный экскаватор ЭЗ-1250

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

Главным для многоковшовых и роторных экскаваторов является то, что их работа основана на поточности всего комплекса производственных процессов выемки, транспортирования, разгрузки и отвалообразования. Применение этих машин возможно только на рыхлых или сыпучих породах и лишь в теплое время года. На карьерах с годовым объемом работ до 3 млн .т и расстоянием транспортирования 0,3–0,5 км в качестве основного выемочно-погрузочного оборудования используются колесные скреперы и одноковшовые погрузчики. Тягачом скрепера могут быть трактор К-700, автомобили типа МАЗ или БелАЗ.

Вместимость ковша скрепера составляет 6–15 м^3, а у мощных – от 15 до 40 м^3. Производительность скреперов с ковшом вместимостью 15 м^3 составляет от 250–-400 м^3/ч. (рис. 5.17).



Рис. 5.17. Самоходный скрепер МоАЗ-60071

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



Рис.5.18. Карьерный погрузчик

5.7. Транспортные работы

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

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

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

Технологический подвижной состав состоит из локомотивов и вагонов. В качестве локомотивов применяются электровозы, тепловозы, тяговые агрегаты. Контактные электровозы Д-94, Д-100М, ЕЛ-1, 1ЗЕ-1 работают на постоянном токе напряжением 1500-3000 В (рис. 5.19).



Рис. 5.19. Промышленный электровоз

Тепловозы исключают наличие контактной сети, обладают высоким КПД, равным 24–26 %. Тяговые агрегаты ОПЭ-1, ОПЭ-2 – это сочетание электровоза управления, секции автономного питания (дизельной секции) и нескольких моторных думпкаров. Для перевозки горной массы применяются думпкары ВС-60, ВС-105, ВС-180 – саморазгружающиеся вагоны с двухсторонней разгрузкой грузоподъемностью 60–105 и 180 т (рис. 5.20).

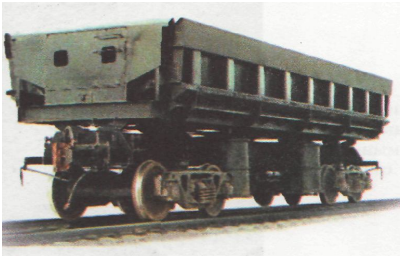


Рис. 5.20. Думпкар

Автомобильный транспорт применяется на карьерах малой и средней производственной мощности с грузооборотом до 15 млн. т в год. В последние годы область применения значительно расширена (до 70 млн. т в год и более). Достоинства: гибкость, маневренность, независимость работы автосамосвалов, радиусы поворота 15–25 м, подъем и уклоны до 80–120 ‰.

Недостатки: более высокие затраты на транспортирование 1 т горной массы по сравнению с железнодорожным транспортом, зависимость от погодных условий [7].

Подвижной состав карьерного автотранспорта представлен автосамосвалами и полуприцепами. Наибольшее применение при транспортировании вскрыши получили автосамосвалы типа БелАЗ грузоподъемностью 40, 75, 110 и 180 т (рис. 5.21).



Рис. 5.21. Автосамосвал БелАЗ -75131

Для транспортирования угля применяются углевозы – самосвалы типа БелАЗ грузоподъемностью 120 т с донной разрузкой.

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

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

Крупность подаваемых на конвейер кусков руды не должна превышать 300–350 мм, поэтому иногда в карьерах устанавливают дробилки. При низких температурах (минус 40–45 °С) применяют специальные морозоустойчивые ленты. Высокопрочные ленты изготовляют с прокладками из синтетических тканей типа капрона и нейлона, а также из анидного волокна. Синтетические ткани кроме повышенной прочности обладают высокой эластичностью и влагоустойчивостью, вследствие чего при низкой температуре они не теряют гибкости. Очень высокую прочность имеют резинотросовые ленты, у которых каркас делается из стальных тросов, сплетенных из тонких проволок и укладываемых в один слой. Производительность конвейеров колеблется от 300 до 15 000 т/ч.

5.8. Отвалообразование

Неизбежным следствием ведения вскрышных, добычных и подготовительных работ является необходимость выдач на земную поверхность определенного объема пустых пород. При подземной разработке месторождений на каждую 1000 т добытого полезного ископаемого приходится от 10 до 50 т пустых пород, размещаемых на земной поверхности в виде породных отвалов. При открытой же разработке, например, рудных месторождений объем извлекаемых и размещаемых в отвалах пустых пород в несколько раз превышает объем добываемого полезного иско-

паемого и несоизмеримо больше, чем при подземной разработке. На крупных карьерах объем отвальных работ достигает иногда десятков миллионов кубометров в год. Отвалообразование – комплекс производственных операций по приему и размещению вскрышных пород на специальном участке горного отвода. Технические сооружения и средства механизации отвальных работ составляют отвальное хозяйство карьера. От организации отвальных работ зависит производительность вскрышного и транспортного оборудования, а, следовательно, всего комплекса вскрышных и добычных работ. Удельный вес отвальных работ в сумме расходов на 1 м^3 вскрыши составляет в среднем около 20 %, а в мягких породах достигает 30 %. Поэтому все основные технико-экономические показатели работы карьера очень зависят от правильности выбора способа отвалообразования. Относительно контура карьера, различают два типа отвалов по размещению: внешние и внутренние. Внутренними называют отвалы, расположенные в выработанном пространстве; внешними – вне контуров карьера (рис. 5.22).

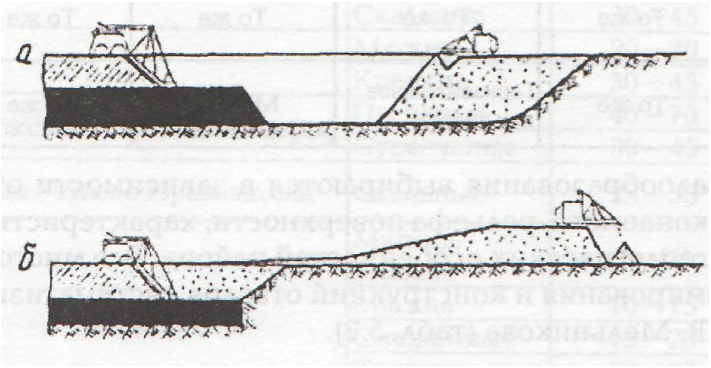


Рис. 5.22. Расположение внутренних (*а*) и внешних (*б*) отвалов

Внутренние отвалы образуют преимущественно при бестранспортных и транспортно-отвальных системах разработки и

при определенных горногеологических 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 [7].

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 выбираются в зависимости от условий залегания полезного ископаемого, рельефа поверхности, характеристики пород, климатических и гидрогеологических особенностей района. Все многообразие возможных условий формирования и конструкций отвалов систематизировано в классификации акад. Н. В. Мельникова (табл. 5.1).

Таблица 5.1

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, автосамосвалом и передвижка транспортных коммуникации в новое положение. По основному виду горного оборудования, применяемому при отвалообразовании, различают экскаваторные, плужные и бульдозерные отвалы. Так как в процессе развития отвалов фронт отвалообразования перемещается по различным схемам, то отвалы различают и по способу их образования: параллельное (рис. 5.23, *а*), веерное (рис. 5.23, *б*), криволинейное (рис. 5.23, *в*), при полном развитии превращающееся в кольцевое.

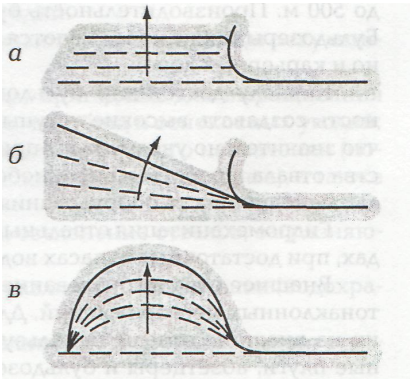


Рис. 5.23. Способы развития отвалов

В первом случае отвалообразование происходит параллельными полосами, располагаемыми вдоль оси отвальных путей при тупиковом 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 груженные и порожние составы не имеют встречных направлений движения. Фронт отвалообразования при параллельной и веерной схемах развития постепенно (если не противодействовать этому специальными мерами) укорачивается. При криволинейном развитии отвала этого можно избежать.

Экскаваторные отвалы (рис.5. 24, 5.25) получили распространение в послевоенный период.

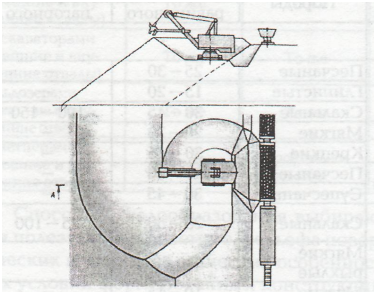


Рис. 5.24. Схема экскаваторного отвалообразования при использовании железнодорожного транспорта

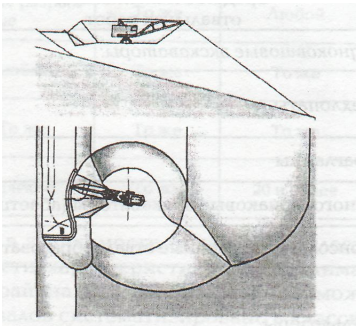


Рис. 5.25. Схема отвалообразования драглайном на косогорах при использовании автомобильного транспорта

Применяются они только при железнодорожном транспорте. При экскаваторном отвалообразовании обычно применяют криволинейную схему. Работы на отвале ведут следующим образом. Порода из думпкаров разгружается на промежуточную площадку отвала, находящуюся на подуступе ниже уровня железнодорожных путей. Расположенный на площадке экскаватор, постепенно отступая вдоль линии железнодорожных путей, перелопачивает породу в нижний и верхний подуступы. После того как экскаваторная заходка достигнет конца отвала, рельсовый путь переносят в новое положение, и экскаватор начинает отсыпать новую заходку.

Бульдозерные отвалы (рис. 5.26 и 5.27) применяют при автомобильном транспорте. Планировка отвала бульдозерам ведется в направлении, перпендикулярном к бровке отвала. Обычно отвал разделяют на отдельные участки: разгрузочный, планируемый и резервный. Общая длина фронта отвальных работ в зависимости от числа одновременно работающих автосамосвалов колеблется от 100 до 500 м. Производительность бульдозеров на отвале достигает 300 м^3 за смену. Бульдозеры также используются на строительстве и ремонте не только отвальных, но и карьерных дорог.

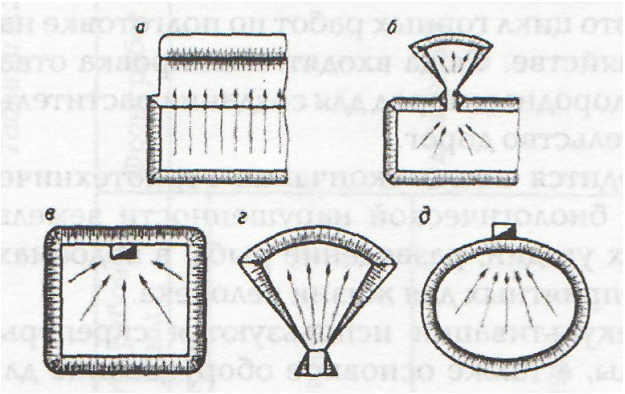


Рис. 5.26. Направления заездов бульдозеров
(*показаны стрелками*):
а – при вскрышных работах с выполаживанием борта; б – с созданием отдельных выездов; в – при разработке-промывке песков в разрезе; г – укладке плоского отвала песков подземной добычи; д – разработке-промывке песков из отвала

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

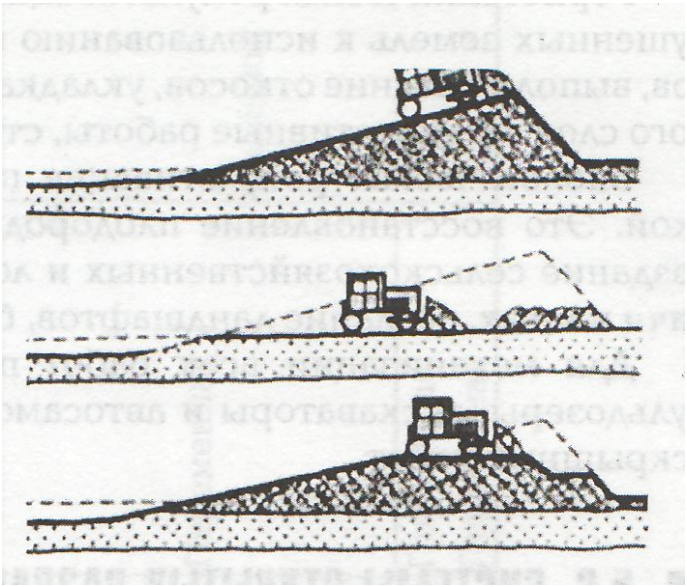


Рис. 5.27. Бульдозерная укладка торфов в отвал наклонными (*а*) и параллельными горизонтальными слоями в несколько стадий (*б* ,*в*)

Отвалообразование при конвейерном транспорте осуществляется консольными ленточными отвалообразователями, которые ведут прием, транспортирование и укладку породы в отвал (рис. 5.28).



Рис. 5.28. Конвейерный отвалообразователь

5.9. Восстановление и использование нарушенных открытыми горными работами территорий

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

В зависимости от целевого назначения различают следующие виды рекультивации:

- сельскохозяйственная – создание земель, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, разведения садов, пастбищ и сенокосных угодий;
- лесохозяйственная – создание лесонасаждений целевого назначения (почвозащитные, водоохранные, климатические, лесопарковые и парковые), а также лесов деловой древесины;
- природоохранная – создание зон отдыха, озеленение отвалов, загрязняющих окружающую среду, и др.;
- водохозяйственная – создание водоемов различного назначения (водохранилища для разведения рыбы, дичи и др.);
- строительная – подготовка земель для жилищного и промышленного строительства, а также спортивных сооружений.

Полное восстановление земель осуществляется, как правило, в процессе горнотехнической и биологической рекультивации.

Горнотехническая рекультивация – это цикл горных работ по подготовке нарушенных земель к использованию в хозяйстве. Сюда входят: планировка отвалов, выполаживание откосов, укладка плодородных пород для создания растительного слоя, мелиоративные работы, строительство дорог.

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

Для механизации всех работ по рекультивации используются скреперы, бульдозеры, экскаваторы и автосамосвалы, а также основное оборудование для вскрышных работ [7].

5.10. Системы открытых разработок месторождений

Системой открытой разработки называется определенный порядок 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 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 и акад. Н. В. Мельникова по направлению перемещения вскрышных пород в отвалы; акад. В. В. Ржевского – по направлению подвигания фронта горных работ. Главным классификационным признаком в первых двух случаях является способ перемещения пустых пород. По этому признаку все системы разделяются на бестранспортные, транспортные и комбинированные.

Бестранспортные системы разработки характеризуются тем, что породы вскрыши перемещаются экскаваторами или отвалообразователями во внутренние отвалы. При системе разработки с непосредственной экскаваторной перевалкой вскрыши перемещение породы из забоя до отвала производится вскрышными экскаваторами, мехлопатами или драглайнами, которые одновременно являются также и отвальными экскаваторами (рис. 5.29).

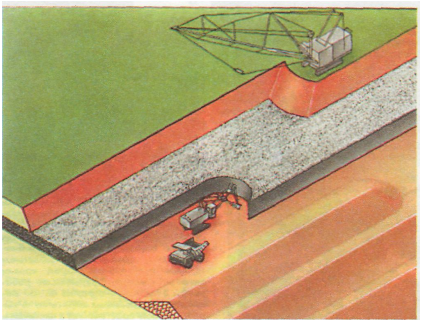


Рис. 5.29. Бестранспортная система разработки с простой схемой вскрышных работ

При системе разработки с кратной экскаваторной перевалкой вскрыши перемещение породы из забоя до отвала производится вскрышными и отвальными экскаваторами, работающими совместно (рис. 5.30, 5.31). При всех бестранспортных системах порода перемещается поперек фронта работ, т.е. по кратчайшему расстоянию.

Поэтому эти системы просты и экономичны. Область применения – при пологих углах падения пластов (до 12^{o}) и не слишком большой мощности. Для этих систем характерна жесткая связь между вскрышными и добычными работами, т.к. количество вскрываемых запасов ограничивается рабочими параметрами и мощностью вскрышных и отвальных машин.

Транспортные системы разработки характеризуются перевозкой вскрышных пород при помощи транспортных средств. Транспортные системы сложнее бестранспортных и менее экономичны. Они могут применяться при любых условиях залегания месторождения, поэтому получили широкое распространение.

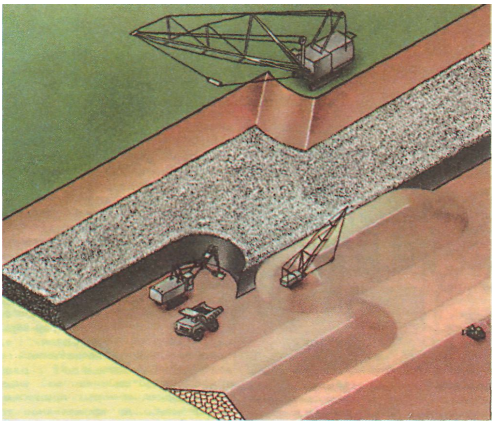


Рис. 5.30. Бестранспортная система разработки с обычным вторичным отвалом и усложненной схемой вскрышных работ, выполняемых шагающими драглайнами

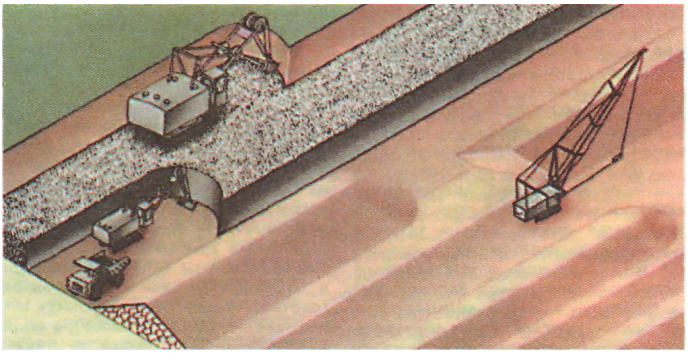


Рис. 5.31. Бестранспортная система разработки с обычным вторичным отвалом и усложненной схемой вскрышных работ, выполняемых мехлопатой и драглайном

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 отвала. Достоинства этой системы в том, что благодаря частичной перевозке породы, обычно с верхних уступов, расширяется возможность использования преимуществ бестранспортных систем разработки.

Относительная сложность и экономичность комбинированных систем разработки зависят от доли участия перевозки и перевалки. Чем больше объем породы будет разрабатываться по бестранспортной системе, тем экономичнее комбинированная система разработки.

Элементы и параметры системы разработки рассмотрим на примере транспортных систем, т. к. благодаря универсальности эти системы получили наибольшее распространение: в угольной промышленности более 60 до 90 % в железорудной и почти 100 % на карьерах при добыче руд цветных металлов.

Транспортные системы разработки характеризуются следующими элементами, параметрами и удельными показателями (рис. 5.32).

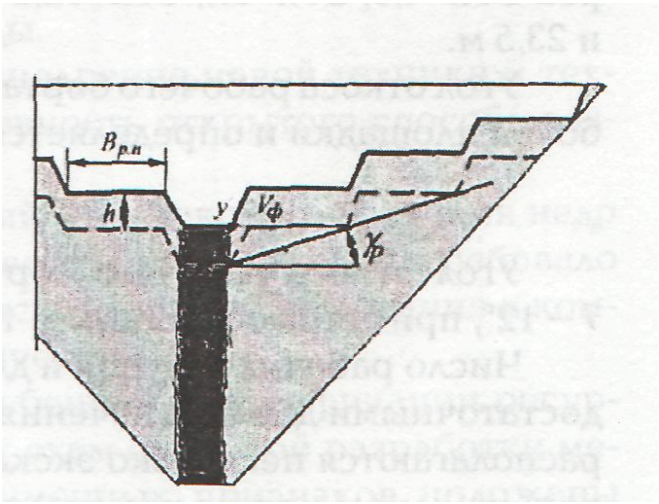


Рис.5.32. Элементы и параметры системы разработки

Элементы системы разработки – выемочные слои, рабочие уступы, заходки, рабочие площадки, разрезные траншеи и др.

Параметры системы – высота уступа h, угол откоса уступа α, ширина заходки A, ширина рабочей площадки $B_{р.п.}$, угол откоса рабочего борта карьера $\gamma_р$, число рабочих уступов, длина добычного и вскрышного фронта работ и др.

Основные удельные показатели – скорость подвигания забоев и рабочих уступов, скорость проходки траншей, скорость углубки горных работ в карьере y, скорость подвигания фронта работ $V_ф$ годовая производительность с единицы длины фронта и площадок рабочей зоны. 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 1,5 раза. Допустимые значения высоты уступа: для ЭКГ-4,6, в мягких породах 10 м, в скальных 15 м; для ЭКГ-8и – соответственно 13 и 20 м; для ЭКГ-12,5 – соответственно 16,5 и 25 м. Ширина рабочей площадки $B_{р.п.}$ устанавливается с учетом физико-механических свойств горных пород, рабочих параметров экскаватора и вида транспорта (рис. 5.33).

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

$$B_{р.п.} = B_р + C + T + П + b_{п,}$$

где $B_{р.}$ – ширина развала, м; C – безопасный зазор между нижней бровкой развала и транспортной полосой, м; T – ширина транспортной полосы,м; $П$ – ширина полосы для размещения дополнительного оборудования и проезда вспомогательного транспорта, м; $b_п$ – ширина полосы безопасности (призмы обрушения), м.

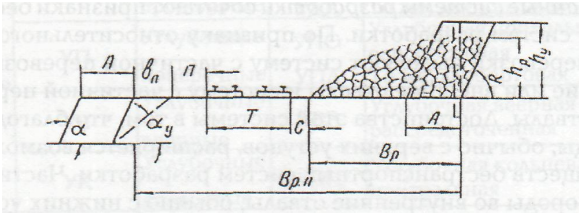


Рис. 5.33. Схема к определению ширины рабочей площадки

Техническими направлениями развития открытого способа разработки предусматриваются:

- увеличение производственной мощности действующих и строительство новых крупных карьеров с годовой добычей полезного ископаемого до 10–20 млн. т;

- разработка рыхлых и полускальных пород с применением комплексов непрерывного действия, в том числе роторных экскаваторов, ленточных конвейеров, консольных отвалообразователей с производительностью до 12,5 тыс. т/ч;

- расширение области применение технологических схем с перевалкой породы в выработанное пространство драглайнами с ковшами вместимостью 40 –100 м^3 и длиной стрелы 100–150 м;

- внедрение циклично-поточной технологии при выемке крепких пород и руд с дроблением их в карьере на передвижных дробилках и транспортированием конвейерами;

- широкое применение новых моделей горнотранспортного оборудования: шарошечных станков СВБ-320, экскаваторов ЭКГ-20, гидравлических ЭГ-12,5 и ЭГ-20, погрузчиков с ковшами вместимостью 5–7,5–12,5–20 м^3, автосамосвалов грузоподъемностью 110–180–250 т;

- полная механизация путевых и вспомогательных работ на карьерах;

- внедрение автоматических систем управления (АСУ), математических методов и ЭВМ для проектирования, планирования и управления, реализация комплекса мероприятий по охране окружающей среды.

Реализация этих технических направлений, внедрение новой техники и технологии позволят еще больше повысить эффективность открытого способа разработки [8].

6. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

6.1. Пластовые месторождения

Пласт – форма залегания осадочных горных пород в виде плиты, ограниченных двумя параллельными поверхностями. Из полезных ископаемых такая форма залегания свойственна в основном горючим полезным ископаемым (уголь, торф, сланцы, нефть) и некоторым стройматериалам (глины, песок). Месторождение, в котором запасы представлены пластами, именуется пластовым месторождением. Разработка этих месторождений, как и всех остальных, включает в себя три стадии: вскрытие, подготовка и очистные работы.

Горные предприятия, разрабатывающие основной тип пластовых месторождений – угольные обычно, именуются шахтами.

Вскрытием называют проведение горных выработок, обеспечивающих доступ с поверхности земли к залежи полезного ископаемого. Выработки, проводимые на этой стадии, называются вскрывающим. На каждой действующей шахте должно быть не менее двух выходов на поверхность, приспособленных для передвижения (перевозки людей). Сеть вскрывающих выработок должна обеспечивать надежную транспортную связь между угольными пластами и поверхностью, подачу в шахту свежей и выход на поверхность исходящей струи воздуха, удаление шахтных вод и подачу электро- и пневмоэнергии к работающим машинам.

Вскрывающими выработками являются стволы, штольни, квершлаги, слепые стволы, гезенки и шурфы.

После того как пластовое месторождение вскрыто, приступают *к подготовке запасов* к очистной выемке. Под *подготовкой* понимают проведение комплекса горных выработок, обеспечивающих возможность начала очистных работ. В отличие от вскрытия, вторая стадия разработки – подготовка – осуществляется в течение всего периода отработки запасов угля в шахтном поле, поскольку выемку пластов ведут последовательно в от-

дельных их частях. Различают подготовленные и готовые к выемке запасов. Подготовленными называются такие запасы, для отработки которых проведены основные подготавливающие выработки (пластовые или полевые штреки, бремсберги, уклоны, скаты); готовыми к выемке – запасы для отработки которых проведены необходимые подготовительно-нарезные выработки (ярусные или подэтажные штреки и разрезные печи) и подготовлено оборудование, позволяющее начать очистные работы.

Очистные работы являются третьей, основной стадией разработки месторождения полезного ископаемого. Период ведения очистных работ на шахте называют эксплуатацией месторождения. Технология и механизация очистных работ в значительной мере оказывают влияние на эффективность разработки месторождения. Вскрытие, подготовка и очистная выемка, обусловливающие транспортирование полезного ископаемого от очистного забоя до поверхности, проветривание горных выработок, включая поверхностный комплекс, формируют *технологическую схему* шахты.

Производственная мощность и срок службы являются основными количественными характеристиками, определяющими тип шахты. Производственная мощность шахты предопределяет не только количественные параметры всего технологического комплекса, но и основные технико-экономические показатели работы шахты. Производственной мощностью шахты называется количество полезного ископаемого в тоннах, добываемого в единицу времени (сутки, год). Различают проектную и фактическую производственную мощность шахты. Срок службы (существования) шахты равен периоду, в течение которого отрабатываются промышленные запасы угля в пределах шахтного поля [9].

6.2. Понятие о шахтном поле

Шахтным полем называется часть пластового месторождения, отводимая для разработки одной шахте (рис. 6.1). Параметрами шахтного поля являются размеры по простиранию S и падению H.

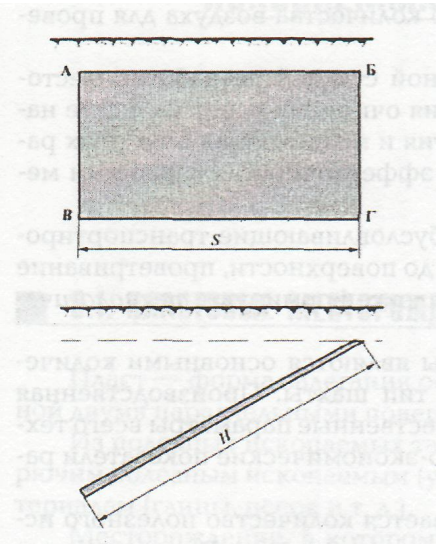


Рис. 6.1. Шахтное поле:
АБ – граница по восстанию; ВГ – граница по падению
АВ, БГ – границы по простиранию

Шахтное поле имеет границы по восстанию, падению и простиранию. Границы шахтного поля могут быть фиксированными и условными. Форма шахтных полей может быть различной и зависит от горно-геологических условий залегания пластов. При выдержанных элементах залегания пластов (к которым относятся угол падения и направление простирания) и отсутствии геологических нарушений шахтное поле имеет прямоугольную форму, соответствующую форме залегания месторождения или его части.

При составлении планов шахтное поле с пологими пластами изображают, как правило, в проекции на горизонтальную плоскость, с крутыми – на вертикальную плоскость. Отдельные участки шахтного поля изображают в плоскости пласта.

Размеры полей шахт колеблются в широких пределах. На пологих пластах они составляют 3–10 км по простиранию и до 2–3 км по падению.

Так как поля современных шахт имеют значительные размеры как по простиранию, так и по падению, то отработка их осуществляется частями в определенной последовательности. Этим обеспечивается концентрация очистных подготовительных работ.

В целях удобства и обеспечения системного характера отработки шахтное поле разделяют на транспортные горизонты, выемочные ступени, крылья, этажи, панели, блоки, выемочные поля, столбы и полосы (рис. 6.2).

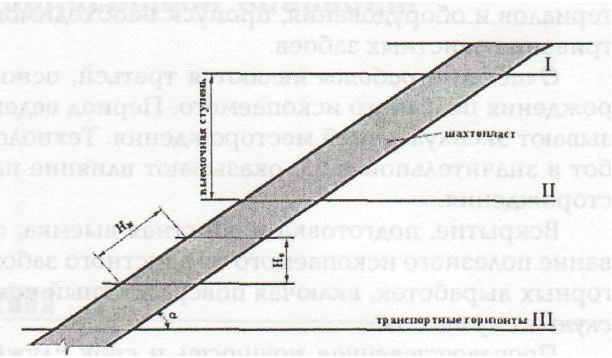


Рис. 6.2. Основные элементы структуры шахтного поля

Прежде всего, шахтное поле по падению разделяют горизонтальными плоскостями на транспортные горизонты. *Транспортные горизонты* – это комплекс вскрывающих и подготавливающих выработок и выработок околоствольного двора, располагаемых на одном уровне и служащих для транспортирования полезного ископаемого к стволу (штольне), а также материалов и оборудования от ствола (штольни).

Выемочная ступень – часть шахтного поля, ограниченная по простиранию границами шахтного поля, а по падению смежными транспортными горизонтами или границей шахтного поля и транспортным горизонтом. Высота ступени по вертикали равна разности отметок смежных транспортных горизонтов.

По простиранию шахтное поле делят на крылья. *Крыло* – часть шахтного поля, расположенная по одну сторону от глав-

ного ствола или какой-либо другой вскрывающей выработки. Шахтные поля бывают двукрылые и однокрылые. Если главный ствол расположен в центре шахтного поля по простиранию, то такое шахтное поле является двукрылым.

Шахтопласт – часть пласта как обширной залежи полезного ископаемого, в пределах шахтного поля.

Этаж (рис. 6.2, 6.3, *а*) – часть шахтопласта, вытянутая по простиранию и ограниченная по падению и восстанию этажными откаточным и вентиляционном штреками. Расстояние между верхней и нижней границами этажа по падению называется наклонной высотой этажа, расстояние по вертикали – вертикальной высотой этажа. Следовательно,

$$H_э = H_в / \sin\alpha,$$

$H_э$ – наклонная высота этажа, м; $H_в$ – вертикальная высота этажа, м; α- угол падения пласта, град.

Выемочное поле – часть этажа по простиранию, в пределах которой разработка пласта осуществляется на один участковый бремсберг, уклон, скат или промежуточный квершлаг. Если очистные забои располагаются с обеих сторон от наклонной участковой выработки, то такое выемочное поле называют двусторонним (двукрылым), если с одной стороны – то односторонним (однокрылым). Размер выемочного поля по простиранию равен 400–600 м.

На пологих и частично наклонных до 20–25^{o} пластах выемочную ступень по простиранию делят на панели (рис. 6.3, *б*). *Панель* – часть шахтопласта, ограниченная по падению границей шахтного поля и транспортным горизонтом или двумя смежными транспортными горизонтами, а по простиранию – границей шахтного поля и условной границей с другой панелью или двумя такими границами. Каждая панель обслуживается самостоятельными транспортными и вспомогательными наклонными выработками. Эти выработки называют панельными.

Размер двусторонней панели по простиранию составляет 1500–2000 м и имеет тенденцию к увеличению.

Панели делят по падению на более мелкие части – ярусы. Ярус – одновременно разрабатываемая часть панели. Он огра-

ничен по простиранию границами панели, а по падению ярусными конвейерным и вентиляционным штреками. Иногда ярус делят на подъярусы.

На пластах с углами падения до 10–12° и значительным расстоянием по падению между транспортными горизонтами выемочные ступени делят на столбы, вытянутые по падению или восстанию (рис. 6.3, *в*). В этом случае очистной забой располагается по простиранию, а перемещается по падению или восстанию пласта.

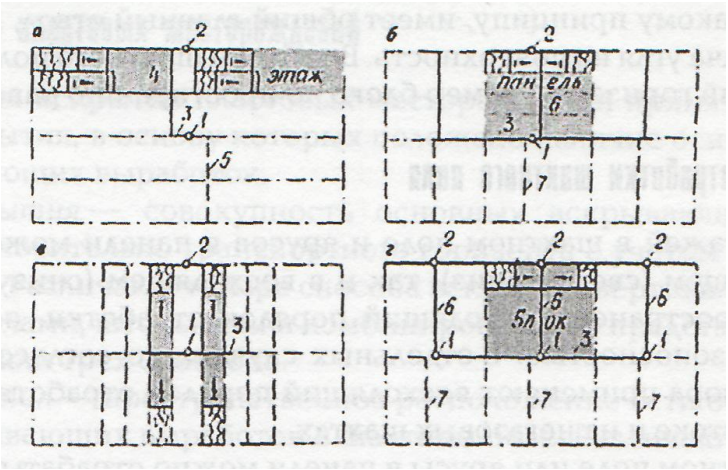


Рис. 6.3. Деление шахтного поля на части:
1– воздухопадающий ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – главный откаточный штрек; 4 – бремсберг с ходком; 5 – капитальный уклон с ходком; 6 – панельный бремсберг с ходками;7 – панельный уклон с ходками

При значительных размерах по простиранию (8–10 км) и большой производственной мощности, когда не обеспечивается проветривание через один воздухоподающий ствол, шахтное поле по простиранию делят на блоки (рис. 6.3, *г*). *Блок* – часть шахтного поля, имеющая сеть воздухопроводящих выработок, обеспечивающую независимое проветривание. Она характеризуется самостоятельным комплексом горных работ. На пологих и наклонных пластах каждый блок имеет воздухоподающий и

вентиляционные стволы, используемые для самостоятельного секционного проветривания своих выработок и вспомогательных транспортных операций. Таких блоков в пределах шахтного поля может быть несколько. Шахта, построенная по такому принципу, имеет общий главный ствол, по которому осуществляется выдача угля на поверхность. Все блоки шахтного поля имеют один общий транспортный горизонт. Размер блока по простиранию равен 3–4 км.

6.3. Этапы разработки шахтных полей

Отработка этажей в шахтном поле и ярусов в панели может осуществляться как в нисходящем (сверху вниз), так и в восходящем (снизу вверх) порядке. В основном распространен нисходящий порядок отработки, особенно на шахтах с высокой газоносностью. В отдельных случаях по согласованию с органами Госгортехнадзора применяют восходящий порядок отработки, например при большом водопритоке и на негазовых шахтах.

Этажи в шахтном поле или ярусы в панели можно отрабатывать прямым или обратным ходом. Рассмотрим простейший случай, когда в пределах яруса или этажа размещается один очистной забой (рис. 6.4): варианты лава-этаж или лава-ярус.

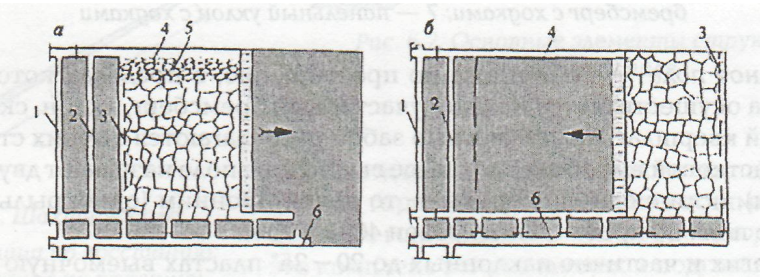


Рис. 6.4. Схемы прямого (*а*) и обратного (*б*) порядка отработки крыла шахтного поля: *1 – бремсберг; 2 – ходок; 3 – разрезная печь; 4 – вентиляционный штрек; 5 – бутовая полоса; 6 – откаточный штрек*

Если отработка ведется в направлении от ствола к границам шахтного поля по простиранию то – это прямой порядок (ход), в противоположном направлении – обратный. При обратном порядке отработки должны быть предварительно пройдены все подготовительные выработки.

Прямой порядок отработки по сравнению с обратным имеет такие преимущества, как более короткий срок подготовки очистных забоев и отсутствие предварительных затрат на проведение штреков значительной протяженности.

Достоинства обратного порядка отработки заключаются в следующем: снижаются затраты на поддержание этажных или ярусных штреков; возможно устранение утечек через выработанное пространство свежей струи воздуха; достигается независимость очистных работ от подготовительных; осуществляется доразведка условий залегания пласта.

При делении шахтопласта на этажи, а в-последних, в свою очередь, на выемочные поля, они могут отрабатываться прямым и обратным ходом. Преобладает прямой порядок отработки выемочных полей, а в пределах выемочного поля – обратный [9].

При делении шахтопласта на панели их отрабатывают в бремсберговой ступени последовательно от ствола к границам по простиранию. Это позволяет уменьшить объем работ по проведению главных штреков при подготовке первых панелей. Панели в уклонной ступени целесообразно отрабатывать в обратном направлении, т. е. от границ шахтного поля, погашая при этом главные штреки. Отработка ярусов в панели осуществляется, как правило, обратным ходом.

6.4. Общие сведения о системах вскрытия и подготовки шахтных полей

При описании вскрытия пластовых месторождений принято различать способ и схему вскрытия, в основу которых положено наличие основной и дополнительной вскрывающих выработок.

Способ вскрытия – совокупность основных вскрывающих выработок в шахтном поле относительно транспортного горизонта с учетом их функционального назначения. Различают четыре способа вскрытия: вертикальными стволами, наклонными стволами, штольнями и комбинированный, представляющий сочетание первых двух или трех способов.

Схема вскрытия – пространственное расположение сети основных и дополнительных вскрывающих выработок в шахтном поле. Различают следующие схемы вскрытия:

- по числу транспортных горизонтов – *одногоризонтные и многогоризонтные*. В первом случае шахтное поле отрабатывают с одного транспортного горизонта, что исключает углубку шахтных стволов, во втором – с проведением вскрывающих выработок на двух и более горизонтах, что вызывает необходимость углубки стволов;
- по типу дополнительных вскрывающих выработок – без дополнительных вскрывающих выработок; с квершлагами (капитальными, горизонтальными, этажными); с гезенками (капитальными и этажными); со слепыми стволами;
- по положению в границах шахтного поля (рис. 6.5).

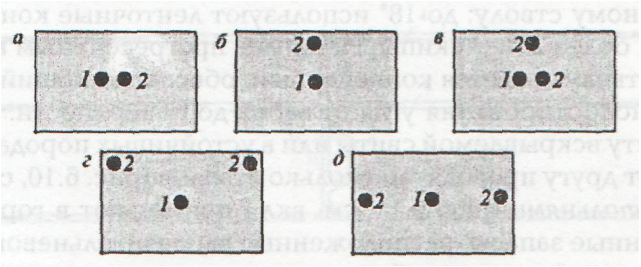


Рис. 6.5. Расположение стволов в шахтном поле:
а – центральносдвоенное; б – центральноотнесенное; в – комбинированное; г – диагональное; д – фланговое; 1 – воздухоподающий ствол; 2 – вентиляционный ствол

При наличии в шахтном поле одного пласта применяют вскрытие без *дополнительных вскрывающих выработок*, ограничиваясь проходкой только шахтных стволов [10].

На рис. 6.6 представлено вскрытие одиночного пласта вертикальными стволами с расположением околоствольного двора в лежачем боку пласта.

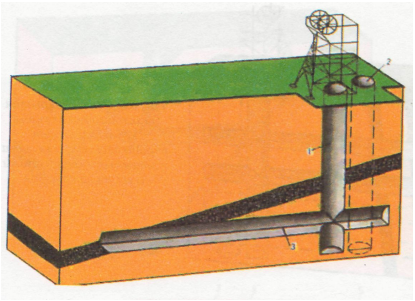


Рис. 6.6. Схемы вскрытия шахтного поля одного пласта вертикальными стволами с постоянным транспортным горизонтом:
1, 2 – главный и вспомогательный стволы соответственно;
3 – квершлаг

Полезное ископаемое от очистного забоя по конвейерному штреку поступает на панельный бремсберг, затем на откаточный штрек, далее – к околоствольному двору. По главному стволу полезное ископаемое в скипах выдается на поверхность. Из уклонной части полезное ископаемое выдается на откаточный горизонт по панельному уклону [10].

Свежий воздух в шахту поступает по вспомогательному стволу, затем по сети воздухопроводящих выработок (откаточный штрек, бремсберг, конвейерный штрек) поступает в очистной забой. Исходящая струя от забоя по вентиляционному штреку поступает на один их ходков бремсберга, в затем по шурфу на поверхность.

Наиболее простым для *одиночного пологого* пласта является вскрытие наклонными стволами (рис. 6.7).

Обычно проходят несколько параллельных друг другу стволов: один из них является главным, остальные – вспомогательными. Большей частью их проводят по пласту полезного ископаемого. Расстояние между главным и вспомогательными стволами принимается равным не менее 40 м.

Свежая струя воздуха по одному из стволов поступает в околоствольный двор, где разделяется на оба крыла шахтного поля. Из откаточных (конвейерных) штреков воздух направляется в очистные забои, далее через вентиляционный штрек и ствол на поверхность.

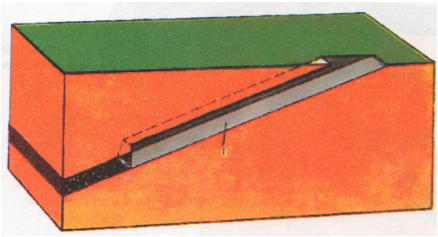


Рис. 6.7. Схемы вскрытия шахтного поля наклонным стволом, пройденным по залежи полезного ископаемого: *1 – ствол*

Наиболее распространенным на пологих и частично наклонных пластах является вскрытие вертикальными стволами с капитальным квершлагом (рис. 6.8). Это одногоризонтное вскрытие. Его сущность заключается в том, что шахтное поле по падению делится транспортным горизонтом на две выемочные ступени – бремсберговую и уклонную.

Стволы (главный и вспомогательный), располагаемые на одной общей промплощадке, проходят до отметки транспортного горизонта, а непосредственное вскрытие пластов осуществляется капитальным квершлагом, проведенным от околоствольного двора.

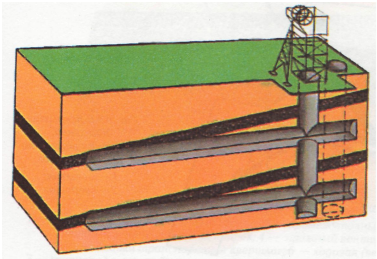


Рис. 6.8. Схемы вскрытия шахтных полей свиты пластов вертикальными стволами с двумя транспортными горизонтами

При наличии в шахтном поле крутонаклонных и крутых пластов применяют вскрытие вертикальными стволами с этажными квершлагами (рис. 6.9).

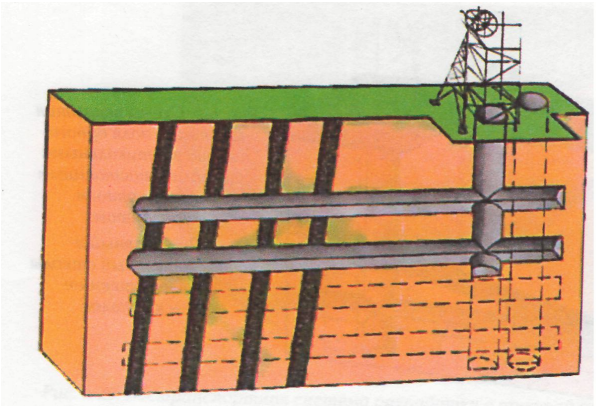


Рис. 6.9. Схемы вскрытия шахтного поля свиты крутых пластов вертикальными стволами с этажными квершлагами и углубкой стволов

Стволы во избежание потерь угля в охранных целиках под пром-площадкой располагают в лежачем боку свиты. В этом случае стволы не будут подвергаться деформациям под влиянием очистных работ.

Вскрытие наклонными стволами может применяться при любых углах падения пластов. Угол наклона стволов зависит от вида транспорта полезного ископаемого по наклонному стволу: до 18° используют ленточные конвейеры, при 19–25° – вагонетки, более 26° – скипы. Наиболее прогрессивным видом транспорта по наклонному стволу является конвейерный, обеспечивающий возможность непрерывного транспортирования угля от забоя до поверхности. Стволы проводят по нижнему пласту вскрываемой свиты или в устойчивых породах лежащего бока. Параллельно друг другу проводят несколько стволов (рис. 6.10).

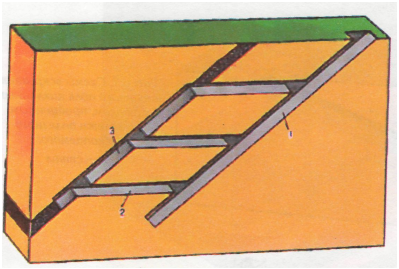


Рис. 6.10. Схемы вскрытия шахтного поля наклонным стволом в сочетании с погоризонтными квершлагами и капитальным бремсбергом:
1 – ствол, 2 – квершлаг, 3 – капитальный бремсберг

Вскрытие штольнями (рис. 6.11.) применяют в гористой местности, когда промышленные запасы, расположенные выше штольневого горизонта, обеспечивают длительный срок службы шахты.

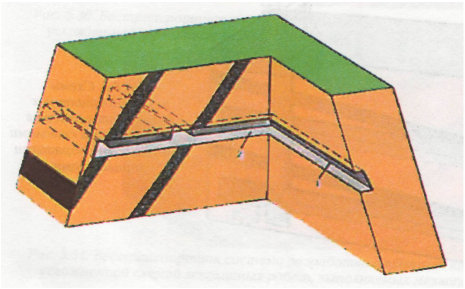


Рис. 6.11. Вскрытие штольней, ориентированной по простиранию: *1 - штольня, 2 – квершлаг*

Комбинированное вскрытие представляет собой наличие разного типа основных вскрывающих выработок: вертикальный и наклонный стволы; штольня и вертикальный ствол; штольня с наклонными стволами и др.(рис. 6.12).

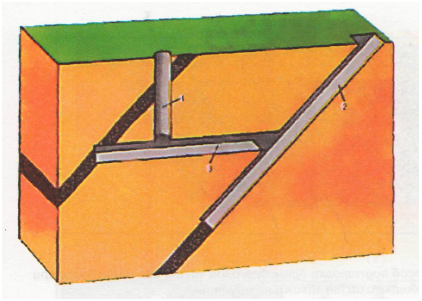


Рис. 6.12. Схемы комбинированного вскрытия вертикальным и наклонным стволами с капитальным квершлагом:
1 – вертикальный ствол; 2 – наклонный ствол;
3 – капитальный квершлаг

6.5. Подготовка запасов к очистной выемке

После вскрытия месторождения в пределах шахтного поля приступают к его подготовке, позволяющей начать добычу полезного ископаемого в очистных забоях. Подготовку шахтопластов ведут частями и по мере их отработки подготавливают следующие части. Следовательно, задачей подготовки является постоянное возобновление готовых к выемке запасов взамен отрабатываемых. Постоянное возобновление запасов называют *воспроизводством готовых к выемке запасов* [10].

При индивидуальной подготовке (рис. 6.13) транспортные штреки проводят для каждого из разрабатываемых пластов.

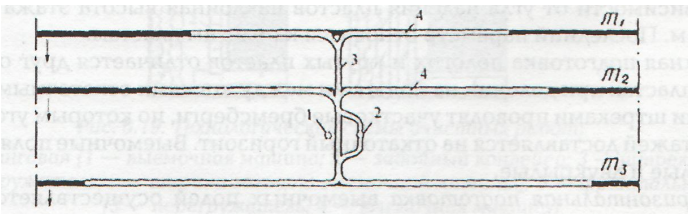


Рис. 6.13. Индивидуальная подготовка пластов в шахтном поле:
1 – главный ствол; 2 – вспомогательный ствол; 3 – главный квершлаг; 4 – пластовый транспортный штрек

Особенность функционирования этих штреков заключается в том, что они поддерживаются весь период отработки соответствующего пласта. При наличии в шахтном поле мощного пласта применяют индивидуальную полевую подготовку.

При групповой подготовке откаточный штрек проводят общим (рис. 6.14) для всех разрабатываемых пластов свиты или отдельной ее группы. При этом отпадает надобность поддерживать пластовые откаточные штреки. Их погашают по мере отработки пласта в пределах выемочного поля. Групповой штрек проводят полевым или по нерабочему пласту в лежачем боку разрабатываемой свиты.

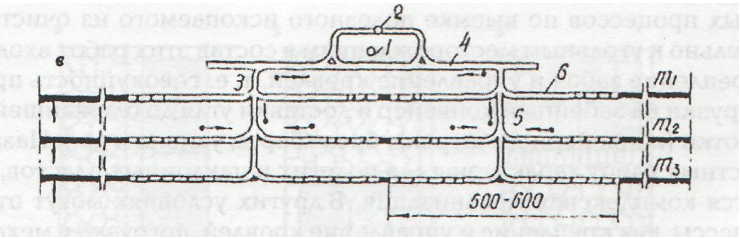


Рис. 6.14. Групповая подготовка с доставкой на двусторонний (в) промквершлаг*: 1 – главный ствол; 2 – вспомогательный ствол; 3 – главный квершлаг; 4 – полевой штрек; 5 – промежуточный квершлаг; 6 – пластовый откаточный штрек; → направление откатки угля к стволу.*

6.6. Подготовка выемочных полей

После проведения в необходимом объеме горизонтальных подготавливающих выработок на транспортном горизонте приступают к проведению подготавливающих выработок в плоскости пласта, формирующих схему подготовки выемочных полей. Под схемой подготовки выемочного поля понимают совокупность характерно расположенных, с учетом функционального назначения, подготавливающих выработок, обеспечивающих формирование готовых к выемке частей шахтопласта [10].

В зависимости от деления выемочной ступени (шахтопласта) на части различают панельную, этажную и погоризонтную подготовку.

Панельную подготовку применяют при любой мощности угольных пластов с углами падения до 20–25° (преимущественно до 15–18°). Размер панели по простиранию достигает 2,5–3 км. Ее размер по падению равен наклонной высоте выемочной ступени (рис. 6.15).

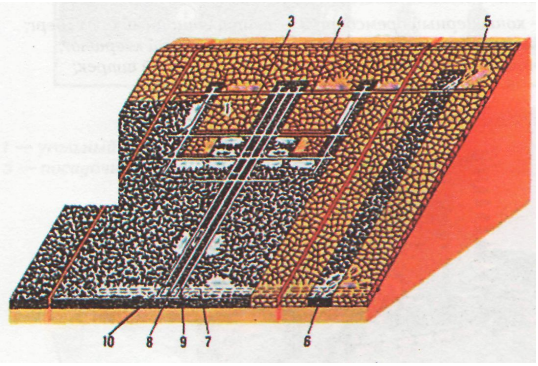


Рис. 6.15. Панельный способ подготовки бремсберговой части шахтного поля: *1 – фланговый ходок; 2 – ярусный транспортный штрек; 3 – ярусный вентиляционный штрек; 4 – главный вентиляционный штрек; 5 – главный вентиляционный квершлаг; 6 – главный транспортный квершлаг; 7 – главный транспортный штрек; 8 – конвейерный бремсберг; 9 – людской ходок; 10 – вспомогательный ходок*

Этажная подготовка применяется при делении шахтопласта на этажи на крутонаклонных и крутых пластах, в отдельных случаях – на наклонных и пологих пластах при углах падения более 8-10°. При этажной подготовке этажи по простиранию делят на выемочные поля. Подготавливающие наклонные выработки (участковые бремсберги, уклоны, скаты) проводят в каждом выемочном поле. По ним осуществляется доставка угля до откаточного горизонта при делении этажа на подэтажи (рис. 6.16).

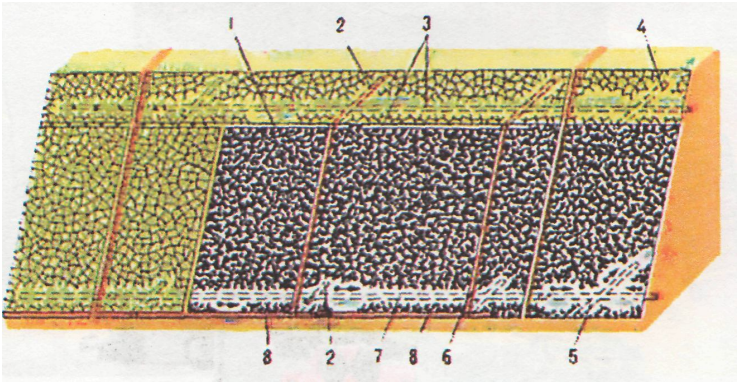


Рис. 6.16. Этажный способ подготовки шахтного поля при разработке крутых пластов: *1 – вентиляционный пластовый штрек; 2 – промежуточный квершлаг; 3 – групповой этажный вентиляционный штрек; 4 – этажный вентиляционный квершлаг; 5 – этажный транспортный квершлаг; 6 – ходовая (вентиляционная) печь; 7 – групповой этажный транспортный штрек; 8 – транспортный пластовый штрек*

В зависимости от угла падения пластов наклонная высота этажа составляет 120-450 м. Последний параметр относится к пологим пластам.

Этажная подготовка пологих и крутых пластов отличается друг от друга. На пологих пластах при делении на подэтажи между этажами откаточным и вентиляционным штреками проводят участковые бремсберги, по которым уголь из верхних подэтажей доставляется на откаточный горизонт. Выемочные поля могут быть однокрылые и двукрылые.

Погоризонтальная подготовка выемочных полей осуществляется проведением в пределах выемочной ступени наклонных подготавливающих выработок (рис. 6.17).

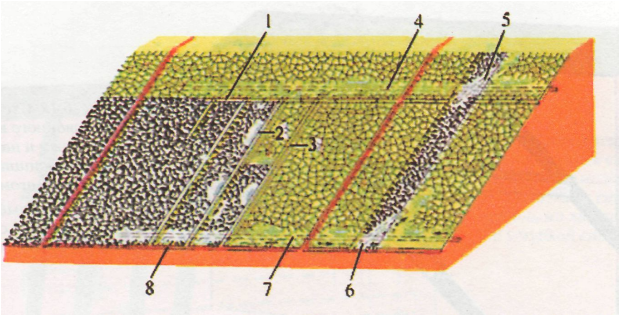


Рис. 6.17.Погоризонтный способ подготовки бремсберговой части шахтного поля при отработке пласта лавами по падению:
1 – монтажный штрек; 2 – конвейерный бремсберг; 3 – вентиляционный бремсберг; 4 – главный вентиляционный штрек; 5 – главный вентиляционный квершлаг; 6 – главный транспортный квершлаг; 7 – главный транспортный штрек; 8 – демонтажная камера

Длина наклонных подготавливающих выработок равна наклонной высоте выемочной ступени. Она может достигать 2000–3000 м. Расстояние между наклонными выработками (бремсбергами и ходками) равно длине очистного забоя. Особенность этой подготовки состоит в том, что очистной забой располагается по простиранию пласта, а перемещается по падению или восстанию [10].

6.7. Очистные работы

Очистные работы представляют собой комплекс взаимосвязанных производственных процессов по выемке полезного ископаемого из очистных забоев. Применительно к угольным месторождениям в состав этих работ входят очистная выемка, крепление забоя и управление кровлей, т.е. совокупность процессов отбойки, погрузки на забойный конвейер и доставки угля до ближайшей транспортной выработки (конвейерного штрека, бремсберга, уклона и др.). Названные процессы очистных работ характерны для пологих и наклонных пластов, где широко применяется комплексная механизация. В других условиях могут отсутствовать такие процессы, как крепление и управле-

ние кровлей, погрузка и механизированная доставка полезного ископаемого в забое [11].

Очистная выемка является главным процессом очистных работ. Крепление забоя и управление кровлей должны обеспечить нормальное выполнение работ по очистной выемке.

Очистной забой – забой, в котором осуществляется массовая добыча полезного ископаемого. По технологическому принципу очистные забои подразделяются на длинные и короткие. Принято забои длиной более 20 м считать *длинными*, менее – *короткими*. Технологии выемки угля в длинных и коротких забоях существенно различны. Для них созданы принципиально различные средства механизации, транспорта и крепления. Подготавливающие выработки, примыкающие к длинному очистному забою, называют выемочными. При выемке по простиранию ими являются конвейерный и вентиляционный штреки.

В длинных очистных забоях, называемых лавами, применяют две схемы выемки: фланговую и фронтальную. При *фланговой* схеме (рис.6.18, *а*) отделение полезного ископаемого от массива осуществляется выемочной машиной, перемещающейся вдоль забоя перпендикулярно к направлению его подвигания.

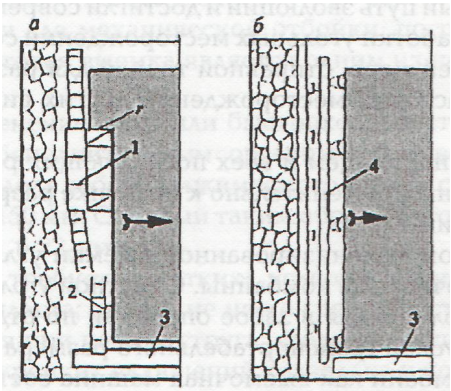


Рис. 6.18. Технологические схемы очистных работ: *а – фланговая (1 – выемочная машина; 2 – забойный конвейер; 3 – штековый перегружатель; r - ширина захвата выемочной машины); б – фронтальная (3 – перегружатель; 4 – выемочная машина)*

При *фронтальной выемке* (рис. 6.18, *б*) отделение от массива осуществляется выемочным агрегатом одновременно по всей длине очистного забоя. Такая технология позволяет осуществлять добычу без постоянного присутствия людей в очистном забое. Испытаны отдельные опытные образцы.

На шахтах СНГ основную добычу дают длинные очистные забои. Они могут быть различно ориентированы (рис. 6.19) относительно элементов залегания пласта. Они могут быть расположены по падению (*а*) или простиранию (*б*) пласта, а перемещаться – по простиранию, падению и восстанию.

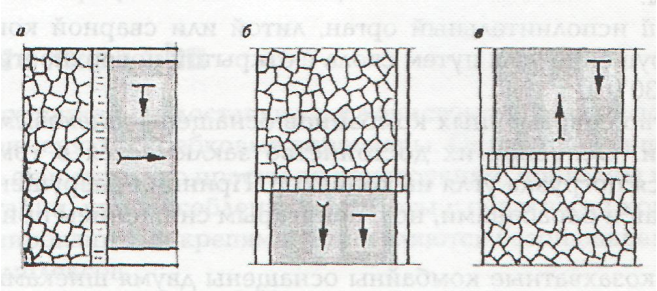


Рис. 6.19. Схемы подвигания очистных забоев*:*
а – по простиранию; б – по падению; в – по восстанию

6.8. Механизированная выемка в длинных очистных забоях

Основным средством механизированной выемки угля на пологих и наклонных пластах являются очистные комбайны. Очистной *угольный комбайн* – машина, одновременно выполняющая в забое операции по отделению угля от массива, дроблению его до кусков транспортабельного размера и навалке на забойный конвейер. Угольный комбайн как выемочная машина состоит из электродвигателя, механизма подачи, исполнительного органа, погрузочного устройства и систем управления и пылеподавления.

Наибольшее распространение получили барабанные и шнековые исполнительные органы.

Барабанный исполнительный орган, литой или сварной конструкции, осуществляет разрушение угля путем скола с открытой поверхности забоя стружки толщиной 20-30 мм.

Большинство современных комбайнов оснащены шнековыми исполнительными органами. Основное их достоинство заключается в том, что шнеками осуществляется погрузка угля на конвейер. Принцип разрушения угля шнеками такой же, как и барабанами, но с некоторым снижением присущих им недостатков [10].

Обычно узкозахватные комбайны оснащены двумя шнеками. Они располагаются либо с одной, либо с обеих сторон корпуса комбайна. Положение шнеков легко регулируется по высоте гидродомкратами, что позволяет осуществлять выемку угля при различной мощности пласта (рис. 6.20).

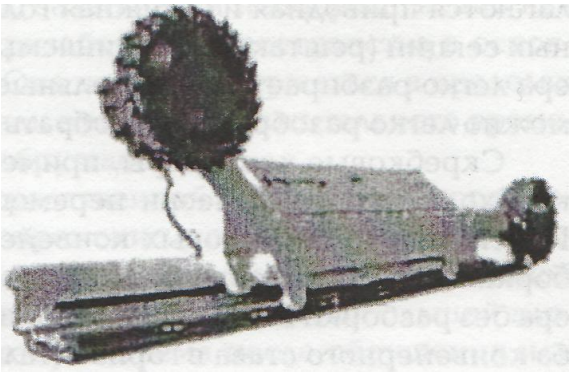


Рис. 6.20. Комбайн очистной

Комбайны перемещаются по раме забойного конвейера, располагаемого у забоя. Перемещение комбайна вдоль забоя осуществляется с помощью приводной звезды и калиброванной цепи.

В настоящее время промышленностью выпускаются различные типы комбайнов, предназначенные для работы в разнообразных горно-геологических условиях. Некоторые из них могут быть применены как с механизированными, так и индивидуальными крепями при углах падения до 35°.

Струговая установка – выемочная машина, предназначенная для механической отбойки, погрузки и доставки угля в очистных забоях. Струговая выемка является одним из наиболее прогрессивных способов добычи угля.

Наибольшее применение получили быстроходные струговые установки статического действия. Исполнительным органом струговой установки является струг. При движении вдоль забоя, прижимаемого к нему струга снимается стружка угля толщиной 50–150 мм. Отбитый таким образом уголь корпусом струга грузится на конвейер (рис. 6.21).

Струговая выемка требует «жестких» условий применения: спокойное, выдержанное залегание пласта; кровля не ниже средней устойчивости; крепкая почва; не разрушающаяся при работе струга; уголь не выше средней крепости; отсутствие в пласте угля крепких включений колчедана и породных прослойков; отсутствие крепких пачек угля у кровли и почвы пласта; преимущественно пласты тонкие и средней мощности (до 2,0 м).

Струговые установки могут применяться как с индивидуальной, так и с механизированной крепями. На базе последних созданы струговые механизированные очистные комплексы и струговые агрегаты, позволяющие осуществлять комплексную автоматизацию добычи угля в забое.

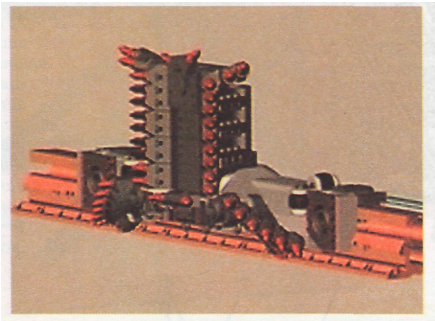


Рис. 6.21. Установка струговая С700

Эксплуатационную производительность струговой установки можно определить по формуле

$$Qэ = 360\ Км\ h\ m\ Vc\ \gamma,$$

где $Q_э$ – эксплуатационная производительность струговой установки, т/смену; $K_м$ – коэффициент машинного времени (0,25–0,35); h – средняя толщина снимаемой стругом стружки, м; m – вынимаемая мощность пласта, м; V_c – скорость движения стружки при резании, м/мин; γ – плотность угля, т/м³ [10].

6.9. Доставка в очистных забоях

На угольных шахтах для доставки угля в очистных забоях на пологих и наклонных пластах применяют скребковые конвейеры. Они получили широкое распространение, т.к. относительно просты по конструкции, пригодны к тяжелым условиям эксплуатации, приспособлены для работы с очистными комбайнами, стругами и механизированными крепями. Они являются базой современных механизированных комплексов.

Скребковый конвейер (рис. 6.22) состоит из верхнего и нижнего металлических желобов, по которым перемещается бесконечная цепь со скребками, состоящая из грузовой и порожняковой ветвей. По концам конвейера располагаются приводная и натяжная головки. Желоб конвейера собирают из отдельных секций (рештаков), соединяемых быстроразъемными замками. Цепь конвейера легко разбирается на отдельные отрезки. Благодаря этому конвейерный став легко разобрать или собрать на новом месте, укоротить или удлинить его.

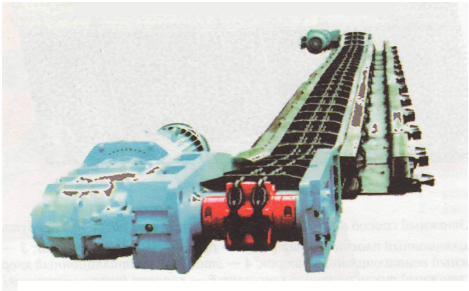


Рис. 6.22. Конвейер шахтный скребковый СПЦ163

Скребковые конвейеры, применяемые для транспортирования угля в лавах, необходимо периодически перемещать вслед за подвиганием очистного забоя. Перемещение скребковых конвейеров может быть двояким: путем полной разборки на части, переноски их на новое место и сборки; путем передвижки конвейера без разборки или по всей его длине, или последовательно частями за счет изгиба конвейерного става в горизонтальной плоскости.

Скребковые конвейеры, предназначенные для транспортирования угля вдоль забоя, подразделяются на четыре типа: СП – передвижные изгибающиеся (одно-, двух- и трехцепные); СР – разборные переносные двухцепные; С – разборные переносные одноцепные; СК – разборные переносные одноцепные с консольно расположенными скребками (ветви решетчного става расположены в горизонтальной плоскости) (табл. 6.1).

Доставка угля в зарубежной практике на пластах с углами падения до 6–8° в коротких очистных забоях осуществляется самоходными вагонетками на пневматическом ходу или погрузочно-доставочными машинами.

В очистных забоях крутонаклонных и крутых пластов доставка угля осуществляется на почве пласта под действием собственного веса. В тех случаях, когда угол падения пласта не позволяет осуществить самотечную доставку угля по почве пласта, очистном забое укладывают специальные желоба.

Таблица 6.1

Показатели	Тип конвейера			
	С53МУ	СР72	СПЦ261	СПЦ271
Производительность, т/ч	210	600	500	700
Скорость движения цепи, м/с	1,07	0,95	1,0	1,0
Длина в поставке, м	150	200	200	250
Мощность привода, кВт	45	55×4	110 × 2	200 ×2
Высота погрузки, мм	270	200	260	260

6.10. Горное давление

Горные породы в нетронутом массиве находятся в состоянии напряженного равновесия. Угольный пласт на глубине H испытывает напряжение $\sigma = \gamma H$, где γ – средняя плотность горных пород, кг/м^3; H – глубина залегания пласта, м. В процессе выемки угля впереди забоя происходит перераспределение напряжений (рис. 6.23).

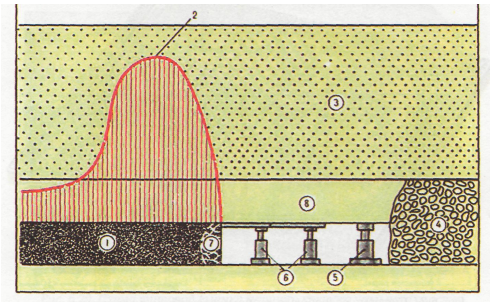


Рис. 6.23. Схема проявлений горного давления в лаве:
1 – угольный пласт; 2 – опорное давление; 3 – основная кровля; 4- обрушение породы; 5 – посадочная крепь; 6 – призабойная крепь; 7 – зона отжима; 8 – непосредственная кровля

В угольном пласте сохраняются напряжения, характерные для нетронутого массива. Уголь находится в состоянии трехосного сжатия. Зона опорного давления характеризуется повышенным напряжением $\sigma = k\gamma H$, где k – коэффициент концентрации напряжений ($k > 1$). В этой зоне уголь находится в состоянии двухосного сжатия. Опорное давление имеет место по всему периметру выработанного пространства (впереди и позади лавы, в верхней и нижней ее частях). Оно оказывает влияние на состояние крепи подготовительных выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, может вызвать внезапное разрушение целиков угля.

Опорное давление является следствием пригрузки от нависающей консоли непосредственной и основной кровли, воспринимаемой краевой частью угольного массива. Зона отжима не-

посредственно примыкает к забою. В ней уголь обычно раздавлен и напряженное состояние им утрачено. Это обстоятельство способствует облегчению отделения угля от массива соответствующими исполнительными органами выемочных машин.

По мере подвигания очистного забоя волна опорного давления постоянно перемещается, создавая повышенные и пониженные по сравнению со статическими напряжения в угольном пласте и прилегающих к нему породах.

Для создания безопасных условий в призабойном пространстве устанавливают крепь и осуществляют комплекс мероприятий по управлению горным давлением. Крепь может удерживать кровлю от обрушений только в непосредственной близости от забоя. Кровля пласта и вышележащие породы удерживаются также силами сцепления. На некотором расстоянии от забоя влияние этой связи ослабевает и поэтому обычное крепление оказывается уже недостаточным.

Давление пород со стороны выработанного пространства может восприниматься закладочным массивом или специальной крепью. Крепи различной конструкции и закладка защищают призабойное пространство от обрушений. В настоящее время для защиты призабойного пространства на пологих и наклонных пластах широко применяют механизированные крепи [10].

6.11. Управление горным давлением и крепь очистных выработок

Крепь очистных выработок – это искусственное сооружение, возводимое для предотвращения обрушения пород кровли, сохранения необходимой площади поперечного сечения призабойного пространства и управления горным давлением.

Крепь должна удовлетворять следующим требованиям: она должна быть прочной и устойчивой; обладать податливостью; иметь минимальный вес; обеспечивать механизацию установки и передвижки; иметь необходимую площадь призабойного пространства для пропуска достаточного количества воздуха; не мешать выполнению других производственных процессов; должна быть недорогой, надежной и долговечной.

Прочность крепи – способность ее сопротивляться горному давлению, не разрушаясь и не получая остаточных деформаций.

Рабочее сопротивление – сопротивление нагрузке, являющейся безопасной в отношении деформации крепи, составляет до 70 % разрушающей нагрузки.

Начальное сопротивление – сопротивление, развиваемое крепью при ее установке или распоре (для гидравлических крепей).

Устойчивость крепи – способность ее сохранять первоначальное положение под влиянием горного давления.

Жесткость крепи – способность ее сопротивляться образованию деформаций. Различают жесткие и податливые крепи. Под действием горного давления жесткая крепь испытывает упругие деформации. В отличие от нее податливая крепь под действием нагрузки способна изменять свои линейные размеры по высоте, не меняя несущей способности. Это изменение размеров крепи заложено в ее конструкцию [10].

Все известные крепи очистных выработок могут быть разделены на три класса: *индивидуальные, комплектные и передвижные*.

Под *индивидуальной крепью* понимают крепь очистных выработок, состоящую из отдельных, не связанных между собой конструктивно элементов, устанавливаемых вручную вслед за подвиганием забоя. Индивидуальная крепь подразделяется на призабойную и специальную (посадочную).

Призабойная крепь устанавливается вслед за подвиганием забоя и служит для поддержания непосредственной кровли в рабочем пространстве очистной выработки, примыкающем к забою. Это пространство называется призабойным.

Специальная, или посадочная, крепь устанавливается на границе с погашаемым выработанным пространством и выполняет роль режущей опоры при управлении кровлей методом полного обрушения.

Комплектные крепи – это передвижные крепи, отдельные комплекты которых не связаны между собой по длине лавы. Эти крепи не получили распространения.

В настоящее время широко применяются передвижные крепи, в которых процесс установки и перемещения происходит непрерывно. К ним относятся гидрофицированные крепи механизированных комплексов, щитовые перекрытия различных конструкций и другие виды крепей.

Обеспечение безопасных условий труда в очистном забое в призабойной зоне достигается возведением крепи различной конструкции, исключающей обрушение пород непосредственной кровли. Однако по мере выемки угля обнажение кровли увеличивается, она деформируется, растрескивается, в конечном итоге приходит в предельное состояние, когда установленная крепь не может выдержать возникающих нагрузок. Крепь деформируется, кровля обрушается. Чтобы этого не произошло, необходимо управлять горным давлением. Это один из важнейших (в прошлом – один из трудоемких и небезопасных) процессов очистной выемки.

Управлением горным давлением называют комплекс мероприятий по регулированию проявлений горного давления в очистном забое с целью обеспечения безопасных и необходимых производственных условий. Такими мероприятиями являются выбор конструкции крепи, способа крепления и предупреждение массовых обрушений боковых пород. Применительно к пологим и наклонным пластам пользуются термином *управление кровлей*, т.к. в этих условиях в комплекс мероприятий входит предотвращение преждевременных обрушений кровли. На крутом же падении необходимо управлять и породами почвы, склонными в некоторых случаях к сползанию.

Все существующие способы управления кровлей можно разделить на три группы:

- естественное поддержание выработанного пространства оставляемого целиками угля;
- обрушение пород кровли за пределами призабойного пространства;
- искусственное поддержание кровли в выработанном пространстве посредством заполнения его пустыми породами.

6.12. Технология и организация очистных работ

Современная технология добычи угля основана на применении различных выемочных машин. При механизированной выемке угля в длинных очистных забоях различают технологические схемы с применением индивидуальных и механизированных крепей. Последние являются составной частью механизированных комплексов и агрегатов.

Очистным механизированным комплексом называют сочетание механизированной крепи, очистного комбайна и забойного конвейера, увязанных между собой технологически. Кинематические связи между отдельными видами оборудования необязательны, хотя и они могут быть. У механизированного комплекса возможна замена одного типа оборудования другим.

Очистной агрегат представляет собой сочетание механизированной крепи, струга и забойного конвейера, связанных между собой не только технологически, но и кинематически. Наличие кинематической связи исключает замену одного типа оборудования другим. Очистные агрегаты являются совершенными средствами комплексной механизации очистных работ. Они позволяют осуществить комплексную автоматизацию технологического процесса очистной выемки [11].

В очистных забоях, оборудованных современными комбайнами с индивидуальной крепью, выполняются следующие процессы: выемка угля комбайном; возведение призабойной крепи вслед за выемкой; передвижка (переноска) забойного конвейера; возведение посадочной крепи и управление кровлей, выемка ниш (при отсутствии самозарубки комбайна в пласт). Такая технология многооперационна, отличается значительным объемом ручных работ по креплению очистного забоя и управлению кровлей.

При комплексно-механизированной выемке достигается высокий уровень механизации рабочих процессов в очистном забое: отбойка угля исполнительным органом комбайна, погрузка его на забойный конвейер и транспортирование до штрекового перегружателя или конвейера, передвижка конвейера, передвижка секций крепи (крепление и управление кровлей), концевые операции.

Технологические схемы работы механизированных комплексов с крепями различных типов практически одинаковы и отличаются незначительными деталями. Например, очистной механизированный комплекс А-2К (рис. 6.24) состоит из механизированной крепи, включающей первую и концевую секции, очистного комбайна, забойного конвейера и пульта управления.

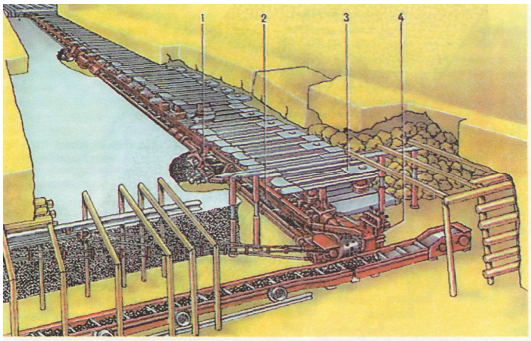


Рис.6.24. Лава, оборудованная угледобывающим агрегатом А-2К с узкозахватным комбайном:
1 – узкозахватный очистной комбайн; 2 – забойный конвейер; 3 – секция механизированной крепи; 4 – пульт управления.

Выемка угля может быть челноковая или односторонняя. В исходном положении конвейер придвинут к забою, комбайн зарубился в пласт или исполнительный орган заведен в нишу. По мере обнажения кровли при выемке угля осуществляется передвижка секций крепи последовательно или через одну при наличии неустойчивых пород. Затем с отставанием от комбайна на 8–12 м продвигается волной к забою забойный конвейер. После того, как крепь и конвейер передвинуты к забою по всей длине, осуществляют самозарубку комбайна в пласт.

На современных шахтах в очистных забоях применяются цикличная и поточная организация труда. *Цикл в очистном забое* представляет собой совокупность процессов и операций, выполняемых в определенной последовательности с целью выемки угля по всей длине забоя на установленную паспортом величину его подвигания. Для цикличной организации труда

характерны технологические перерывы во время выемки угля и выполнение ремонтно-подготовительных работ. В отличие от цикличной при *поточной организации труда* все процессы совмещены во времени. Ее особенностью является непрерывная выдача угля в течение всего рабочего времени. Поточная организация угля возможна при комплексной механизации очистных работ [11].

6.13. Системы разработки угольных пластов и их классификация

Система разработки – определенный порядок ведения подготовительных и очистных работ в пределах разрабатываемой части пласта, указанный в пространстве и времени. Этими частями могут быть этаж (подэтаж), панель, ярус (подъярус).

Рациональная система разработки пласта должна удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать безопасность ведения горных работ; обусловливать высокий уровень технико-экономических показателей; иметь минимальные потери. Под технико-экономическими показателями понимают наибольший уровень производительности труда и минимальную себестоимость добычи полезного ископаемого.

На выбор системы разработки оказывают влияние различные факторы. Основными из них являются: форма залегания, строение, мощность и угол падения пласта; свойства угля и вмещающих пород; газоносность и обводненность месторождения; склонность угля к самовозгоранию; склонность угольных пластов к горным ударам, внезапным выбросам угля и газа; глубина горных работ; средства механизации подготовительных и очистных работ.

Наибольшее влияние на выбор системы разработки оказывают мощность и угол падения пласта. От мощности пласта зависит решение таких вопросов, как способ проведения и поддержания горных выработок, выбор технологии очистных работ, возможность разработок пласта на полную мощность или необходимость деления его на слои, крепление очистной выработки и управление горным давлением. Выбор средств механизации

очистных работ, крепления и управления кровлей во многом зависит и от угла падения пласта. Этот фактор является решающим при выборе средств доставки угля в забое при его расположении по падению пласта. Его также учитывают при выборе формы и длины очистного забоя [11].

Свойства вмещающих пород являются решающим фактором при выборе способа управления горным давлением (управления кровлей), а также поддержанием выемочных выработок и их расположения. Они оказывают существенное влияние на выбор средств механизации очистных работ.

Такой фактор, как склонность угля к самовозгоранию, обусловливает необходимость принятия таких решений, которые обеспечивали бы резкое снижение потерь угля. На удароопасных пластах необходимо избегать таких ситуаций, когда в угольных целиках т краевых зонах проявляется повышенная концентрация напряжений.

Перечисленные факторы, как правило, оказывают комплексное влияние на выбор систем разработки и их параметров.

Разнообразие горно-геологических условий залегания угольных пластов предопределяет применение различных систем разработки и их вариантов. Системы разработки пластовых месторождений можно представить в виде следующей классификации.

1. Системы разработки с выемкой пласта на полную мощность.

1.1. С длинными очистными забоями (сплошные, столбовые, комбинированные).

1.2. С короткими очистными забоями (столбовые, камерные, камерно-столбовые, подэтажные штреки, полосы и заходки).

2. С разделением пласта на слои (наклонные, горизонтальные и поперечно-наклонные).

Системы разработки с выемкой пласта на полную мощность характеризуются относительной простотой, т.к. все подготовительные выработки располагаются в плоскости пласта. Системы разработки с разделением пласта на слои конструктивно более сложны и многообразны. Около 75 % подземной добы-

чи угля дают столбовые системы разработки с длинными очистными забоями.

Сплошная система разработки характеризуется одновременным ведением подготовительных и очистных работ в выемочном поле. Забои откаточного (конвейерного) и вентиляционного штреков, формирующих выемочное поле, движутся в том же направлении, что и очистной забой.

В зависимости от наклонной высоты этажа (яруса) в нем может размещаться один или два-три очистных забоя. Если в пределах этажа (яруса) размещается очистной забой, то такой вариант сплошной системы разработки называется лава – этаж (лава – ярус). Если возникает необходимость размещения в этаже по падению двух-трех очистных забоев, то этаж делят на подэтажи. В связи с изложенным и с учетом угла падения пластов существуют различные варианты сплошной системы разработки: на пологих и наклонных пластах – лава – этаж или с разделением этажа ни подэтажи при этажной подготовке, лава – ярус – при панельной подготовке; на крутонаклонных и крутых пластах – лава – этаж или с разделением этажа на подэтажи с прямолинейной или потолкоуступной формой забоя.

Достоинствами сплошной системы разработки являются быстрый ввод в эксплуатацию очистных забоев и возможность размещения в шахте пустой породы, получаемой при проведении подготовительных выработок. Основные недостатки: сложность совмещения подготовительных и очистных работ в одном выемочном поле; большие затраты на поддержание подготовительных выработок; отсутствие доразведки условий залегания угольного пласта; утечки воздуха через выработанное пространство [11].

Столбовая система разработки – это такая система, при которой часть пласта в пределах этажа или яруса до начала очистных работ оконтуривается подготовительными выработками, в результате чего образуются столбы. В зависимости от ориентировки столба относительно элементов залегания пласта различают длинные столбы по простиранию, длинные столбы по падению (восстанию), диагональные столбы (рис. 6.25, 6.26).

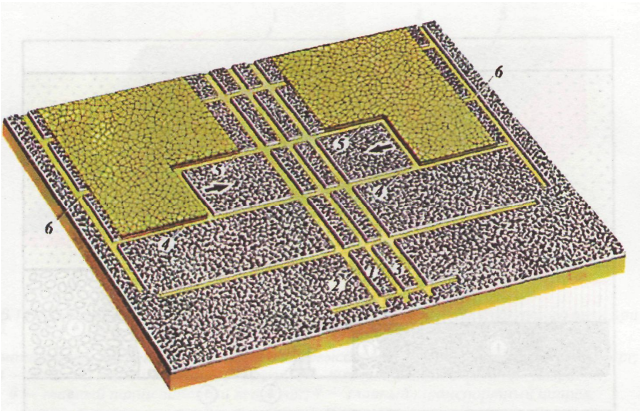


Рис. 6.25. Система разработки длинными столбами по простиранию:
1 – конвейерный уклон; 2 – вспомогательный уклон; 3 – людской уклон; 4 – ярусный конвейерный штрек; 5 – ярусный вентиляционный штрек; 6 – фланговый уклон

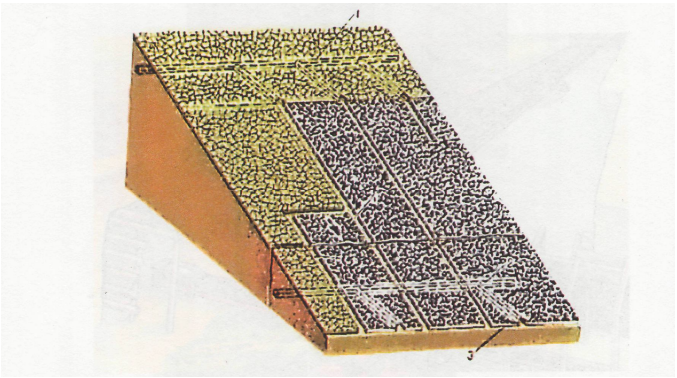


Рис. 6.26. Система разработки длинными столбами по падению:
1 – главный полевой вентиляционный штрек; 2 – главный полевой транспортный штрек; 3 – воздухопадающий штрек; 4 – конвейерный бремсберг; 5 – вентиляционный бремсберг

Наиболее распространенными являются разновидности системы разработки длинными столбами по простиранию: на пологих и наклонных пластах – лава – этаж или с разделением этажа на подэтажи при этажной подготовке, лава – ярус – при панельной подготовке; на крутонаклонных и крутых пластах – лава – этаж или с разделением этажа на подэтажи.

Наиболее распространенными разновидностями столбовой системы разработки являются *длинные столбы по простиранию* при панельной подготовке (вариант лава – ярус) и с разделением этажа на подэтажи.

На пологих пластах средней мощности широко применяют систему разработки длинными столбами по простиранию при панельной подготовке.

Система разработки длинными столбами по простиранию характеризуется многообразием применяемых вариантов. Иногда применяют такие разновидности, у которых просматриваются признаки сплошных и столбовых систем разработки. Это комбинированные системы разработки. Систему разработки длинными столбами по простиранию применяют при любых углах падения на пластах средней мощности, а на пологих пластах при комплексно-механизированной выемке – до 5–6 м. Ее преимущество состоит в том, что снижаются затраты на поддержание подготовительных выработок, обеспечиваются доразведка условий залегания угольного пласта и независимое ведение подготовительных и очистных работ. Недостатки: более поздний срок ввода в эксплуатацию выемочных полей и более сложная схема проветривания.

Разновидностью столбовой системы является щитовая система разработки, применяемая преимущественно на мощных крутых пластах (рис. 6.27). Она представляет собой систему длинных столбов по простиранию с выемкой пласта на полную мощность полосами по падению под перекрытием специальной щитовой крепи конструкции Н. А. Чинакала.

Достоинствами щитовой системы разработки являются: отсутствие в технологическом цикле работ по креплению забоя и управлению кровлей, использования крутого падения для доставки угля, сравнительно высокие технико-экономические пока-

затели. Недостатки: значительные эксплуатационные потери, достигающие 25 -30 %; большой объем подготовительно-нарезных работ (40 – 45 м на 1000 т добычи), необходимость выдержанных элементов залегания пласта, забучивание печей, высокая пожароопасность.

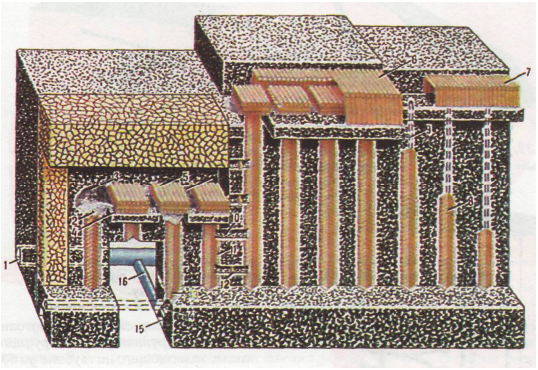


Рис.6.27. Схема щитовой выемки мощного крутого угольного пласта: *1 – групповой полевой откаточный штрек; 2 – предохранительный полок; 3 – подщитовой забой; 4 – канава; 5 – щит; 6 – монтажная камера; 7 – вентиляционный штрек; 8 – углеспускная печь в подготавливаемом столбе; 9 – вентиляционная скважина; 10 – сбойка; 11- ходовая печь; 12 – перемычка; 13 – бункер; 14 – параллельный штрек; 15 – откаточный штрек; 16 – участковый квершлаг*

Мощные угольные пласты в некоторых горно-геологических условиях не представляется возможным отрабатывать на полную мощность. Их отработку осуществляют отдельными частями – слоями. *Слой* – ограниченная двумя параллельными плоскостями часть мощного угольного пласта, отрабатываемая как пласт средней мощности [11].

6.14. Подземная разработка рудных месторождений

Горные породы, окружающие месторождение или включенные в него, совсем не содержащие металла (полезного минерала) или содержащие, но в количестве, недостаточном для

промышленной переработки, называют пустой породой. Граница между рудными и нерудными ископаемыми условна. Многие полезные ископаемые, которые раньше использовались сразу же после добычи, в настоящее время подвергаются комплексной переработке для извлечения из них всех полезных компонентов. Иногда полезное ископаемое, например известняк, не подвергают переработке, иногда его используют как химическое сырье. Поэтому сейчас термин «руда» теряет свое первоначальное значение. Его применяют также и ко многим нерудным полезным ископаемым [12].

На выбор системы и технологии разработки из признаков, характеризующих месторождение, наибольшее влияние оказывают его форма (морфология), размеры и условия залегания.

По форме рудные тела можно подразделить на три группы:

- изотермические, т. е. одинаково развитые во всех трех направлениях в пространстве;
- столбообразные, т. е. вытянутые в одном направлении;
- жильного типа – вытянутые в двух направлениях.

К первому типу рудных тел изометрической формы относятся штоки и гнезда. Часто они имеют неправильную форму, но все три измерения в пространстве более или менее равны между собой. Штоки отличаются от гнезд большими размерами, измеряемыми десятками и сотнями метров. Типичным гнездообразным месторождением является ртутное месторождение Хайдаркан (Средняя Азия). Столбообразную форму имеют многие коренные месторождения алмазов. В Южной Африке алмазные трубки в глубину распространяются на несколько километров при поперечных размерах, измеряемых сотнями метров. В Криворожском бассейне к столбообразным относят рудные тела с длиной, превышающей мощность более чем в шесть раз.

Чечевицы и линзы представляют собой переходные формы от первой к третьей группе. Типичным представителем этого типа рудных тел являются уральские медно-колчеданные месторождения. Линзообразное месторождение медного колчедана Рио-Тинто (Испания) состоит из линз протяженностью от 300 до 1700 м и мощностью до 100 – 250 м.

Рудные тела третьей группы – пластовые и жильные – ограничены более или менее параллельными плоскостями (поверхностями) и имеют мощность, изменяющуюся в относительно небольших пределах. Жилы часто имеют неправильную форму и непостоянную мощность. Рудные залежи этой же группы, отличающиеся от пластов менее выдержанной формой и мощностью, называют пластообразными. Встречаются и более сложные формы рудных тел – седловидные, куполообразные и др.

В большинстве случаев месторождение бывает представлено не одним, а несколькими рудными телами. Эти совместно залегающие рудные тела бывают отделены одно от другого пустой породой; иногда они пересекаются, соединяются вместе и снова разделяются. При этом одно рудное тело является основным, а остальные – его ответвлениями.

Месторождения нередко нарушаются сбросами, сдвигами, бывают изогнуты, перемяты, раздроблены, в результате чего разработка их усложняется. Чем неправильнее залежь по форме, чем больше тектонических нарушений, она имеет, тем сложнее ее разработка, тем с большими потерями руды она происходит.

Кроме формы месторождения важным признаком является характер его контакта с вмещающими породами. Контакт в одних случаях бывает выражен резко и рудное тело отчетливо отделяется от вмещающих пород. В других случаях переход от руды к пустой породе происходит постепенно, и границы промышленного оруденения можно установить только путем опробования. Разработка месторождений с отчетливыми контактами обычно проще. Иногда наличие оруденения во вмещающих породах, наоборот, благоприятно сказывается на разработке, т. к. руда при отбойке засоряется не пустыми, а рудоносными породами.

В зависимости от характера распределения рудных минералов различают: сплошные руды, состоящие из рудных минералов, смешанных с некоторым количеством породы, и имеющие обычно резкие границы с вмещающими породами; вкрапленные руды представляют собой относительно редкие вкрапления рудных минералов в рудной породе, как правило, имеющие отчетливые границы с вмещающими породами. На многих

месторождениях встречаются оба типа руд; обычно в средней части рудного тела руды сплошные, а на периферии – вкрапленные. На Лениногорских свинцово-цинковых рудниках сплошные сульфидные руды по мере приближения к контакту лежачего бока постепенно беднеют и переходят в роговиковые вкрапленные руды. На Дектярском медном месторождении сплошные медно-колчеданные или пиритовые руды местами переходят в свинцововые вкрапленные руды. Некоторые залежи Кривбасса в центральной своей части ил с одной стороны представлены сплошными богатыми рудами, которые постепенно в направлении лежачего бока замещаются вкрапленными рудами и затем слабо ожелезненными боковыми породами [12].

Одним из основных факторов, определяющих выбор системы, является угол падения. ПО углу падения месторождения делят на горизонтальные и пологопадающие с углом падения от 0 до 25°; наклонные с углом падения от 25 до 45° и крутопадающие с углом падения более 45°. Это деление связано с существенным изменением условий разработки и применением при разных углах падения различных способов очистной выемки и доставки руды.

Мощность рудного тела измеряют как расстояние между висячим и лежачим боками месторождения. Если это расстояние измеряют по нормали, то мощность называют истинной, если же ее измеряют по вертикали или горизонтали, то мощность соответственно называют вертикальной и горизонтальной. Вертикальной мощностью пользуются для пологопадающих рудных тел, горизонтальной – для крутопадающих.

В штокообразном месторождении мощностью считается меньший из его горизонтальных размеров. Больший горизонтальный размер называют длиной штока. Иногда мощностью штока считают его вертикальный размер, а горизонтальную мощность называют шириной. Последнее целесообразно, когда шток (массив) имеет значительные размеры по горизонтали и относительно небольшие по вертикали.

Мощность рудных тел может изменяться по простиранию и с глубиной постепенно или резко, закономерно или случайно.

Непостоянство мощности характерно для рудных месторождений. Резкие изменения мощности затрудняют разработку.

Для месторождений с непостоянной мощностью рудных тел указывают крайние пределы ее колебаний, а также среднюю мощность по отдельным участкам месторождения.

По мощности рудные тела можно делить на пять групп. Весьма тонкие, мощностью менее 0,6 м, при разработке которых очистная выемка сопровождается подрывкой вмещающих пород. Правилами безопасности допускается минимальная ширина очистного пространства 0,6 м, а высота (при пологом залегании рудных тел) 0,8 м.

Тонкие – мощностью от 0,6 до 2 м, при разработке которых очистную выемку можно вести без подрывки вмещающих пород, но проведение горизонтальных подготовительных выработок в большинстве случаев требует их подрывки.

Средней мощности – от 2 до 5 м. Верхняя граница мощности соответствует предельной длине простейшего вида крепи при очистной выемке – распорок, стоек. Разработка месторождений средней мощности может производиться без подрывки вмещающих пород как при очистной выемке, так и при проведении подготовительных выработок.

Мощные – от 5 до 20 м, очистная выемка в которых при крутом падении может производиться по простиранию на всю мощность.

Весьма мощные – более 20–25 м. Очистную выемку в этих рудных телах ведут обычно вкрест простирания.

Глубина залегания месторождения также в значительной степени определяет выбор способа разработки. Глубину залегания указывают от поверхности по вертикали до верхней и нижней границ месторождения. Расстояние между нижней и верхней границами месторождения по вертикали или по наклону пласта определяет глубину его распространения. Глубокозалегающими считаются месторождения с глубиной залегания более 800 м. На этой глубине начинаются своеобразные проявления горного давления, выражающиеся в стрелянии пород и горных ударах. Глубина залегания и распространения месторождения, рудная площадь, длина по простиранию, так же как и угол паде-

ния, на различных участках месторождения могут быть различными. Поэтому нередко на отдельных участках одного и того же месторождения применяют разные системы разработки.

Из всех физико-механических свойств руд и вмещающих пород наибольшее влияние на выбор системы разработки и технологию добычи оказывают крепость и устойчивость. Крепость горных пород, определяемая совокупностью многих их физико-механических свойств (твердостью, вязкостью, трещиноватостью, слоистостью, наличием инородных включений и прослоев), влияет на выбор системы разработки, машин и инструментов, применяемых при добыче, на производительность горных машин и производительность труда горнорабочих, на расход материалов и стоимости добычи.

Впервые классификация горных пород по «коэффициенту крепости» создана известным русским ученым проф. М. И. Протодьяконовым. Она до сих пор пользуется большим распространением в отечественной практике и литературе.

Показатели устойчивости горных пород, которые позволяли бы определять величину допускаемого обнажения, пока не установлены. Поэтому при выборе системы разработки, способа поддержания выработанного пространства и площади допускаемого обнажения пользуются приближенными характеристиками пород по их устойчивости.

По устойчивости руды и вмещающие породы можно разделить на следующие пять групп.

1. Очень неустойчивые – совсем не допускают обнажения кровли и боков выработки без крепления и, как правило, требуют применения опережающей крепи. При разработке рудных месторождений такие породы (плавуны, сыпучие и рыхлые породы, насыщенные водой) встречаются очень редко.

2. Неустойчивые – допускают небольшое обнажение кровли, но требуют прочного поддержания ее вслед за выемкой.

3. Средней устойчивости – допускают обнажение кровли на сравнительно большой площади, но при длительном обнажении требуют поддержания.

4. Устойчивые – допускают очень значительное обнажение кровли и боков и нуждаются в поддержании только в отдельных местах.

5. Очень устойчивые – допускают огромное обнажение как снизу, так и с боков и длительное время могут стоять, не обрушаясь, без поддержания. Породы 3-й и 4-й групп при разработке рудных месторождений встречаются наиболее часто.

Кусковатость отбитой руды (крупность кусков, получающихся при отбойке) характеризуются ее гранулометрическим составом, т. е. количественным соотношением кусков различных размеров в общей массе отбитой руды. Крупность кусков, имеющих неправильную форму, принято выражать средним размером по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Существуют различные градации кусковатости. Наиболее проста и удобна следующая градация.

Рудная мелочь – от рудной пыли до кусков с поперечными размерами 100 мм. При разработке жильных месторождений иногда производят сортировку руды, выборку из нее пустой породы, в этом случае выделяют особую градацию – несортируемая мелочь с размерами кусков менее 50 мм.

Руда средней крупности – от 100 до 300 мм.

Руда крупнокусковатая – от 300 до 600 мм.

Руда очень крупнокусковатая – более 600 мм.

Кусковатость руды при отбойке зависит, с одной стороны, от физико-механических свойств руды в массиве, в частности от ее строения, а с другой – от применяемого способа отбойки, диаметра взрывных шпуров и скважин, их расположения, типа взрывчатого вещества, способа взрывания и др. [12].

6.15. Стадии разработки рудных месторождений

Вскрытие состоит в проведении горных выработок, открывающих доступ к месторождению или его части с земной поверхности.

Подготовка (или подготовительные работы) – это проведение горных выработок – штреков, восстающих, ортов и др., которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обо-

собленные выемочные участки – этажи, блоки, панели, столбы. Выемочный участок делится подготовительными и нарезными выработками на отдельные части: подэтажи, слои, полосы, прирезки, уступы, камеры, междуэтажные, междукамерные, междупанельные целики и др.

Очистная выемка – это технологический процесс извлечения руды из выемочного участка и поддержание образующихся при этом очистных выработок и очистного пространства.

Планомерная и эффективная разработка месторождения возможна при условии строгой увязки во времени и пространстве вскрытия, подготовки и очистной выемки и при обеспеченности рудника (шахты) достаточными запасами вскрытого подготовленного и готового к выемке полезного ископаемого [12].

Вскрытыми называют запасы руды в разрабатываемом месторождении или его части, находящиеся выше горизонта подсечения их вскрывающими выработками (шахтным стволом, квершлаги, штольнями).

Подготовленными называют запасы руды выемочных участков, в которых полностью пройдены подготовительные выработки, предусмотренные принятой системой разработки.

Готовыми к выемке называют запасы руды подготовленных и готовых к выемке запасов руды обязательно для того чтобы:

- по мере отработки одних выемочных участков месторождения своевременно и планомерно развивать добычу руды на других участках в количестве и с качеством, установленными проектом;

- иметь резервные выемочные участки на случай временного прекращения работ по вскрытию и подготовке или необходимости увеличения размера добычи сверх установленного планом;

- иметь запас времени для эксплуатационной разведки и дренажа частей месторождения, вводимых в эксплуатацию.

6.16. Особенности вскрытия рудных месторождений

Главными вскрывающими выработками являются шахтный ствол и штольня. Кроме главных выработок для вскрытия используются: вспомогательные стволы, служащие для вентиляции и дополнительного выхода на поверхность; квершлаги, соединяющие главный и вспомогательные стволы с месторождением. Кроме того, для вскрытия нижележащих горизонтов и отдельных участков рудного тела проходят: слепые стволы, капитальные восстающие уклоны.

Главные вскрывающие выработки служат для транспортирования полезного ископаемого на поверхность, для вентиляции, передвижения людей, доставки материалов, оборудования и других целей.

Ввиду ответственного назначения выработок вскрытия и большого срока службы очень важен правильный выбор их формы, размеров сечения и способа крепления.

При выборе формы сечения и способа крепления необходимо исходить из минимальных затрат по проведению и креплению выработки и расходов по ремонту ее крепи а все время существования [12].

Размеры выработки должны быть достаточными для нормальной работы транспорта, безопасными и удобными для передвижения людей, доставки материалов и оборудования, а также обеспечивать прохождение необходимого количества воздуха.

Штольни могут быть свободообразной, трапециевидной, реже прямоугольной формы и проводятся с уклоном 0,001 –0,008 в сторону устья. Длина штолен достигает нескольких километров. Например, длина Мизурской штольни на Садонском руднике больше 4 км; медное месторождение рудника «Нейшенл таннел» (США) вскрыто штольней 7300 м.

Штольня, как вскрывающая выработка, имеет ряд преимуществ по сравнению с шахтным стволом. Стоимость проходки и крепления 1 м штольни обходится в 5–7 раз (в зависимости от притока воды) дешевле, а скорость проходки в 3–5 раз выше. Транспортирование руды намного дешевле и от добычных

блоков до обогатительной фабрики может осуществляться без перегрузки руды. Передвижение людей и грузов безопаснее. Стоимость водоотлива значительно ниже, т. к. движение воды происходит самотеком и водоотливных установок не требуется. Стоимость поверхностных сооружений у устья штольни значительно ниже, т. к. не требуется сооружения копра, надшахтного здания и подъемной машины. Ремонт крепи штольни проще.

Шахтные стволы имеют прямоугольную и круглую форму сечения, редко эллиптическую. На большинстве новых рудников предпочитают проходить стволы круглой формы. Размер сечения ствола зависит от его назначения. Капитальные стволы служат одновременно для подъема руды и породы, подъема и спуска людей, спуска крепежных материалов, вентиляции. В них же размещают водоотливные и воздушные трубы, а также силовые кабели.

Главные вскрывающие выработки могут проходить: по месторождению; по пустым породам со стороны лежачего либо висячего бока или с флангов; по пустым породам и руде, пересекая рудное тело.

По роду применяемых главных выработок можно выделить следующие способы вскрытия: штольней; вертикальным стволом; наклонным стволом и комбинированным способом.

Первые три способа можно объединить в группу простых способов вскрытия:

Простые способы. Вскрытие вертикальным шахтным стволом (по месторождению, по лежачему боку, по висячему боку и по флангам); вскрытие наклонным шахтным стволом (по месторождению, по лежачему боку и по флангам); вскрытие штольней (по месторождению, по лежачему боку, по висячему боку).

Комбинированные способы. Вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в вертикальный слепой ствол; вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонный шахтный ствол; наклонный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонные слепые стволы; штольня с переходом в вертикальные слепые стволы; штольня с переходом в наклонные слепые стволы.

Вспомогательные стволы служат в основном для вентиляции и как дополнительный выход на поверхность, что диктуется условиями безопасности. Кроме того, их используют иногда для спуска и подъема людей, материалов, оборудования, для подъема пустых пород (или руды), для ускорения подготовки шахтного поля и этажей [12].

Взаимное расположение главных и вспомогательных стволов определяется принятой схемой проветривания.

При центральной схеме проветривания как главный, так и вспомогательный стволы располагаются в центре шахтного поля или вблизи центра на расстоянии не менее 30 м одни от другого (рис. 6.28).

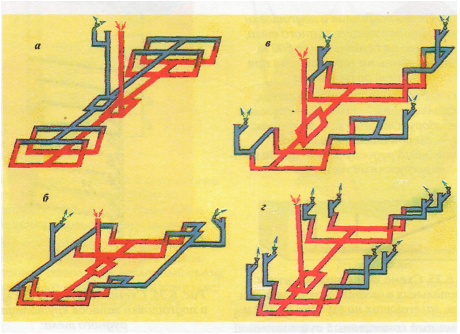


Рис. 6.28. Схемы вентиляции шахт:
а – центральная; б – крыльевая; в – групповая;
г - участковая

При диагональной схеме проветривания главный ствол располагается в центре шахтного поля, а вспомогательные стволы – на флангах. Особое место занимает вариант диагональной схемы проветривания, когда главный и вспомогательный стволы располагаются на разных флангах. Центральное расположение главных и вспомогательных выработок имеет ряд существенных достоинств: минимальное число вспомогательных стволов, поверхностных сооружений; возможность оставления у обоих стволов, если они заложены в висячем боку, общего охранного

целика; легкость соединения главного и вспомогательного стволов, позволяющая ускорить начало очистных работ.

Вместе с этим центральное расположение имеет и много недостатков. Главные из них: удлиняется путь вентиляционной струи, в результате чего депрессия вентилятора возрастает на 30–40 % по сравнению с диагональным расположением, при наступающей выемке возможны утечки воздуха через выработанное пространство («короткие токи»); сложнее условия выхода людей на поверхность в случае аварии. Центральное расположение стволов при вскрытии рудных месторождений применяется значительно реже, чем диагональное.

Вместо вспомогательного ствола на одном из флангов в неглубоких рудниках малой производительности иногда проходят вентиляционный шурф, оборудованный лестничным ходом.

При разработке тонких жил на небольшой глубине вентиляционные шурфы располагают в нескольких местах по простиранию жилы и соединяют их с верхним этажным штреком. Нижние этажи проветривают через восстающие.

При значительной производственной мощности шахты или наличии в шахтном поле нескольких рудных тел иногда проходят несколько вспомогательных стволов различного назначения: для спуска и подъема людей, спуска закладки и выдачи пустой породы из подготовительных выработок, спуска материалов.

Большая длина шахтного поля на очень крупных шахтах вызывает необходимость разделения каждого из крыльев шахтного поля для проветривания на две секции. При таком секционном проветривании вспомогательные стволы закладывают на флангах поля и в промежутках между флангами и главными стволами [12].

6.17. Штольневое вскрытие

Вскрытие штольней имеет ряд серьезных достоинств перед другими способами вскрытия, поэтому, когда позволяет рельеф местности и условия залегания месторождения, этому способу вскрытия отдают предпочтение.

Относительно рудного тела штольню располагают по простиранию, вкрест простирания или по диагонали к линии простирания.

При вскрытии маломощных месторождений по простиранию штольню проводят по руде; в мощных месторождениях штольню обычно располагают параллельно рудному телу по пустым породам и проводят от нее до месторождения квершлаги (или орты-заезды).

Расположение штольни в висячем или лежачем боку месторождения при вскрытии вкрест простирания определяется положением рудного тела относительно склона горы. Как правило, месторождение выше уровня штольни отрабатывают несколькими этажами, поэтому возможны два варианта вскрытия.

В первом случае каждый этаж вскрывают самостоятельными штольнями (рис. 6.29), которые служат для проветривания, доставки материалов, выдачи пустой породы, передвижения рабочих. Руду с верхних этажей перепускают до нижней (капитальной) штольни по рудоспускам.

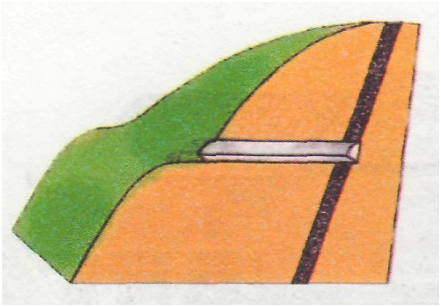


Рис. 6.29. Схемы вскрытия шахтного поля штольней, расположенной в висячем боку

Во втором случае проходят только одну нижнюю штольню. Этот вариант применяется, когда по условиям залегания рудного тела на каждом этаже пришлось бы проводить очень длинные штольни по пустым породам. Вышележащие этажи над штольней вскрывают капитальным восстающим или слепым стволом с вентиляционным и ходовым отделениями, а также клетевым

подъемом для доставки людей, материалов и оборудования. Для перепуска руды обычно устраивают несколько рудоспусков.

Устья штолен необходимо располагать в местах, не подверженных затоплению весенними и ливневыми водами. Размеры площадки перед устьем штольни должны обеспечивать размещение необходимых поверхностных сооружений; к площадке должны быть удобные подъездные пути. Последнее условие в гористой местности не всегда удается выполнить, и часто руду транспортируют от штольни по канатным дорогам или конвейерами [12].

6.18. Вскрытие вертикальными стволами

При вскрытии крутопадающего месторождения вертикальным шахтным стволом главный ствол, как и вспомогательные фланговые стволы, располагается за зоной сдвижения горных пород (рис. 6.30, 6.31).

На каждом горизонте от главного ствола до месторождения проходят квершлаги, а вдоль рудного тела до вспомогательных стволов – штреки.

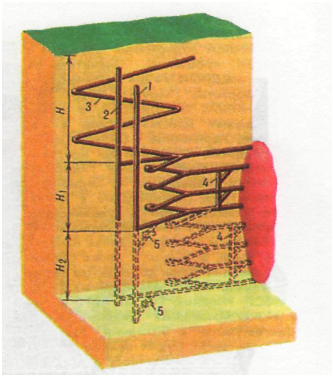


Рис. 6.30. Схема вскрытия и подготовки запасов крутопадающего рудного тела, залегающего на глубине до 600 м, концентрационном горизонтом при поэтапной разработке*:*
1 – скиповой рудоподъемный ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – наклонный съезд; 4 – капитальный рудоспуск; 5 – дробильно-перегрузочный комплекс

Этот способ вскрытия является самым распространенным в горнорудной промышленности. Большинство железорудных месторождений Криворожья, Урала, месторождений руд цветных и редких металлов вскрыто вертикальными стволами, пройденными в лежачем боку [12].

Вскрытие вертикальным стволом, пройденным в висячем боку, применяется значительно реже, т. к. при этом суммарная длина квершлагов по сравнению со вскрытием со стороны лежачего бока больше. Кроме того, наиболее длинными оказываются верхние квершлаги; это увеличивает первоначальные капитальные затраты и продолжительность вскрытия. Поэтому его применяют только в особых случаях, когда породы лежачего бока сильно водоносны или неустойчивы, когда заложение ствола в лежачем боку невозможно или невыгодно по условиям рельефа или застроенности поверхности.

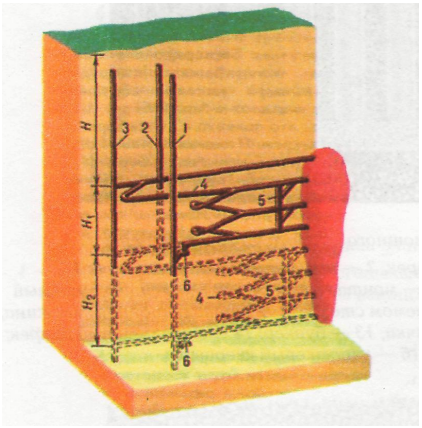


Рис. 6.31. Схема вскрытия и подготовки запасов крутопадающего рудного тела, залегающего на глубине более 600 м, концентрационном горизонтом при поэтапной разработке*:*
1 – скиповой рудоподъемный ствол; 2 – вентиляционный ствол;
3 – грузовой ствол, оборудованный кабель-краном;
4 – слепой наклонный съезд; 5 - капитальный рудоспуск;
6 – дробильно-перегрузочный комплекс

Например, при вскрытии Кусинского месторождения титаномагнетитовых руд ствол был заложен в висячем боку вследствие наличия в породах лежачего бока водонасыщенных карстовых известняков.

6.19. Вскрытие наклонными стволами

При вскрытии месторождения наклонным стволом, пройденным в породах лежачего бока, параллельно месторождению от ствола шахты до рудного тела проходят квершлаги, длина которых, особенно на нижних горизонтах, значительно меньше, чем при вскрытии вертикальным стволом. Разница в длине квершлагов тем ощутимее, чем меньше угол падения рудного тела. Вспомогательные стволы на флангах месторождения в этом случае могут быть наклонными или вертикальными.

Вскрытие наклонными стволами в лежачем боку получило широкое распространение на Североуральских бокситовых рудниках.

При вскрытии наклонным стволом, пройденным по месторождению, квершлаги отсутствуют, и стоимость проходки ствола частично окупается попутно добываемой рудой. Однако, кроме недостатков, присущих любому наклонному стволу, в этом случае возникает необходимость оставления охранного целика с обеих сторон от ствола. Ширина этого целика возрастает с глубиной [12].

Вскрытие наклонным стволом по месторождению может оказаться целесообразным только для тонких, слаборазведанных пологопадающих и наклонных жил с небольшой глубиной распространения. В очень редких случаях (рудник «Эрингтон», Канада) наклонные стволы располагают в висячем боку месторождения.

Пологие и горизонтально залегающие рудные тела на небольшой глубине вскрывают наклонными конвейерными рудовыдачными стволами в сочетании со вспомогательными вертикальными стволами или вентиляционными скважинами (рис. 6.32).

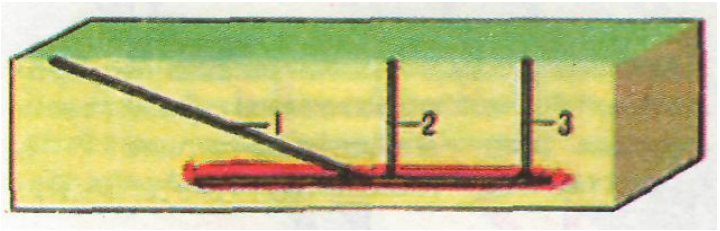


Рис. 6.32. Схемы вскрытия пологих и горизонтальных пластовых рудных тел и пластов, залегающих на глубине до 300 м:
1- наклонный конвейерный рудовыдачной ствол; 2 – вспомогательно-вентиляционный ствол; 3 – вентиляционный ствол или вентиляционная скважина

6.20. Комбинированные способы вскрытия

Сущность комбинированных способов вскрытия состоит в том, что разные части месторождения вскрывают различными выработками. Такое вскрытие целесообразно, в частности, в тех случаях, когда протяженность месторождения по падению велика и подъем по одному очень длинному стволу не обеспечивает заданной производительности. Комбинированное вскрытие характерно также для месторождений, залегающих в гористых местностях, которые распространяются ниже уровня штольни. В этом случае ниже штольни для вскрытия пользуются слепым стволом [12].

Рудные тела крутого падения могут быть вскрыты вертикальными стволами в сочетании с наклонным съездом для самоходного оборудования (рис. 6.33).

Близко расположенные зоны оруденения в отдельные залежи, существенно отличающиеся по качеству руды или составу полезного компонента, возможно, а иногда технически необходимо вскрывать одновременно и разрабатывать из единой сети в одном шахтном поле с формированием нескольких рудопотоков (рис. 6.34).

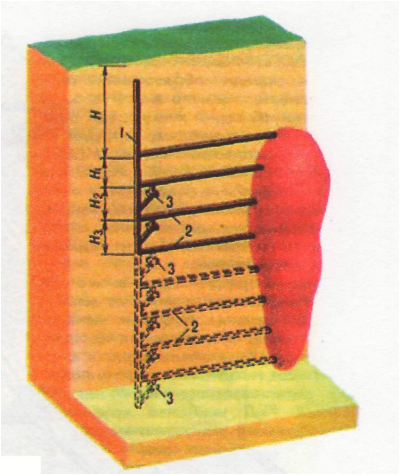


Рис. 6.33. Схема подэтажного вскрытия и подготовки запасов крутопадающего рудного тела*: 1 – скиповой рудоподъемный ствол; 2 – этажный квершлаги; 3 – дробильно-перегрузочный комплекс*

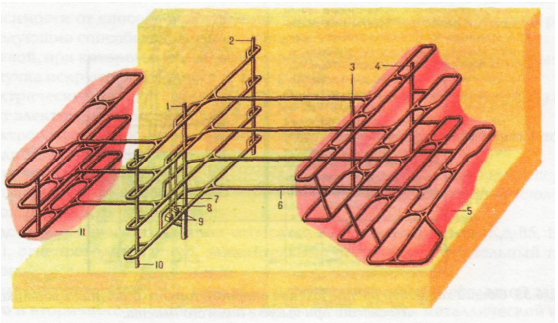


Рис. 6.34. Схема комплексного вскрытия рудного месторождения*: 1 – скиповой рудовыдачной ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – капитальный рудоспуск; 4 – лифтовой подъемник; 5 – руды черный металлов; 6 – концентрационный горизонт; 7,8 – рудоспуски соответственно для руд черных и цветных металлов; 9 – дробильно-перегрузочные комплексы; 10 – вентиляционно-вспомогательный ствол; 11- - руды цветных металлов*

6.21. Околоствольные выработки

Совокупность подземных выработок, расположенных около шахтного ствола, именуется околоствольным двором.

Околоствольный двор состоит из выработок грузовой ветви, в которых производится разгрузка вагонеток в подземный бункер или загрузка их в клеть; выработок порожняковой ветки, служащих для сбора порожних вагонеток; выработок, соединяющих грузовую и порожняковую ветви; ряда камер: насосной, электроподстанции, подземной дробилки, электровозного депо, водосборников, диспетчерской и др. [12].

В зависимости от способа подъема руды в стволе различают скиповые, клетевые и скипо-клетевые околоствольные дворы. Околоствольные дворы могут быть тупиковые и круговые, а также односторонние и двусторонние.

Для шахт с небольшой годовой производственной мощностью характерен тупиковый клетевой односторонний околоствольный двор, где грузовая и порожняковая ветви сосредоточены в одной выработке. Этот околоствольный двор, обладая минимальным объемом, не может обеспечить высокой производительности вследствие сложности обмена порожних и груженых вагонеток.

В большинстве случаев околоствольные дворы с полным комплектом выработок устраивают на каждом этаже. Это создает благоприятные условия для подземного транспортирования руды, доставки материалов и оборудования, вентиляции и подготовки, особенно для месторождений с большими запасами руды на этаже.

Однако в ряде случаев, в частности, когда запасы руды в этаже невелики, а годовая производственная мощность шахты значительна (что возможно при современной интенсивной разработке месторождений), проходить на каждом этаже околоствольные выработки и длинные квершлаги оказывается экономически нецелесообразно и технически очень трудно. В этом случае квершлаги от ствола до рудного тела проводят не на ка-

ждом этаже, а через два-три этажа (редко более), т. е. применяют вскрытие групповыми квершлагами. При этом связь между стволом и откаточными выработками этажа осуществляется через вертикальные и наклонные выработки, которые обеспечивают спуск (реже подъем) руды до главных откаточных выработок, перемещение людей, доставку материалов и оборудования, проветривание.

Вскрытие крутопадающего месторождения вертикальным стволом с концентрационным горизонтом показано на рис. 6.35.

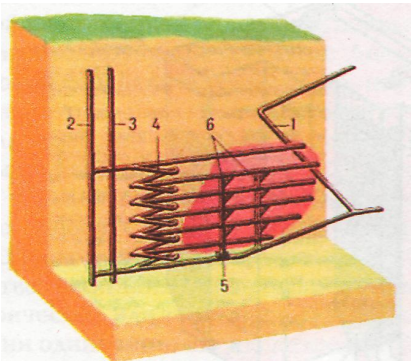


Рис. 6.35.Схема вскрытия и подготовки запасов наклонного рудноготела, залегающего на глубине более 600 м, концентрационном горизонтом:
1 – наклонный конвейерный рудовыдачной ствол; 2 – вентиляционный ствол ; 3 – грузовой ствол; 4 – наклонный съезд; 5 – дробильно-перегрузочный комплекс; 6 – капитальный рудоспуск

Вскрытие концентрационными горизонтами значительно снижает затраты на горнокапитальные работы и позволяет интенсифицировать разработку месторождения. Наличие запаса руды в перепускных восстающих положительно сказывается на работе транспорта и подъеме.

К числу недостатков относятся: необходимость проходки и оборудования дополнительных выработок (восстающих, рудоспусков и др.) для связи этажных откаточных выработок с капи-

тальным штреком или квершлагом, значительные затраты на поддержание рудоспусков, дополнительные расходы на перегрузку и (иногда) на откатку руды, доставку материалов и оборудования, усложнение спуска и подъема рабочих, затруднение подготовки, усложнение вентиляции.

6.22. Выбор места заложения ствола

Выбор места заложения ствола производится с учетом следующих главных факторов: безопасности; удобства расположения устья ствола и поверхностных сооружений; расходов на подземный и поверхностный транспорт руды и породы, доставку материалов к месту работ, вентиляцию подземных выработок; затрат времени на передвижение людей под землей к месту работ; а также местных факторов: местоположения обогатительной фабрики или завода, наличия на поверхности различных сооружений, дорог и пр.

Безопасность сооружения ствола определяется двумя основными элементами:

- расположение вне зоны возможного нарушения горного массива (сдвижения пород);
- наличие и правильный выбор размеров охранного целика.

Горные выработки и пустоты, образовавшиеся после выемки полезного ископаемого, заполняются со временем или сразу обрушающимися породами, в результате чего массив пород над месторождением деформируется и оседает. Этот процесс называется сдвижением пород. Сдвижение обычно вызывает плавное оседание земной поверхности, без разрыва ее сплошности, или резкое, со значительными смещениями и провалами [12].

В области сдвижения горных пород выделяют несколько зон, которые показаны на рис. 6.36.

Часть земной поверхности, подвергшуюся сдвижению, называют мульдой сдвижения. В пределы мульды сдвижения включают участки земной поверхности с величиной оседания 10 мм и более.

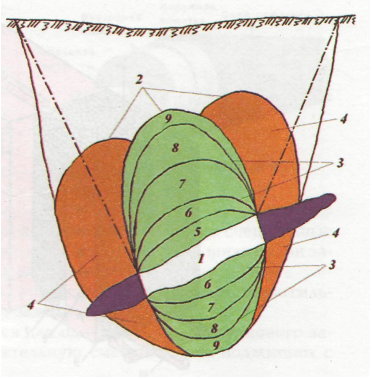


Рис. 6.36. Сдвижение горных пород при разработке:
1 – зона техногенного разрушения; 2 – геофизический экотон;
3 – область разгрузки; 4 – область повышенного горного давления;
5 – зона предельного равновесия; зоны;
6 – разломов; 7 – активных трещин; 8 – локальных трещин;
9 – плавной деформации

Сдвижение пород происходит по криволинейным поверхностям, но для графических построений их принимают за плоскости, образующие с горизонтальной плоскостью углы: граничный γ^0, сдвижения γ' и разрывов γ'' (обрушения). Граничным углом ограничивается вся область сдвижения пород; плоскость разрывов проходит через крайние внешние трещины на земной поверхности; углом сдвижения определяется зона опасных сдвижений для поверхностных и подземных горнотехнических сооружений.

Если мощность отрабатываемого месторождения незначительна или разработка ведется на большой глубине, то сдвижение пород поверхности не достигает. Глубину разработки, при которой отработка полезного ископаемого не вызывает сдвижений земной поверхности, называется безопасной. Отношение минимальной безопасной глубины к мощности месторождения называют коэффициентом безопасности.

Коэффициент безопасности зависит от физико-механических свойств пород и примерно равен: при разработке

месторождений без закладки 200, с полной сухой закладкой 80, с мокрой закладкой 30.

Величина углов сдвижения зависит от физико-механических свойств пород, слоистости, водоносности угла падения месторождения, глубины разработки и изменяется в широких пределах. При неслоистом строении пород эти углы принимают в пределах 45–70°, при слоистом – 30–65°.

Предохранить поверхностные сооружения и выработки вскрытия от сдвижения пород можно путем расположения их за пределами сдвижения или путем оставления под ними охранных целиков из руды (рис. 6.37 и 6.38). Так как фактические углы сдвижения могут оказаться меньше запроектированных, то в целях безопасности поверхностные сооружения и выработки вскрытия принято располагать на расстоянии 30-60 м, иногда до 120 м от границы зоны сдвижения на поверхности.

В местностях с гористым рельефом ствол шахты (штольню) следует располагать так, чтобы он и обслуживающие его сооружения не пострадали от обвалов породы, оползней, снежных лавин, а также не были затоплены во время быстрого таяния снегов и сильных ливней.

По условию минимальной работы подземного транспорта ствол должен быть расположен в плоскости, перпендикулярной к простиранию и делящей запасы всего месторождения на равные или почти равные части.

С изменением места заложения ствола время, затрачиваемое на передвижение людей по откаточным выработкам до места работы, будет изменяться. Среднее расстояние передвижения всех работающих с изменением места заложения шахтного ствола будет изменяться примерно так же, как и работа подземного транспорта. Поэтому место заложения ствола, оптимальное по условиям транспорта, одновременно отвечает и оптимальным условиям по передвижению рабочих по выработкам основного горизонта. То же относится и к расходам по доставке материалов по откаточным выработкам.

Зависимость между положением ствола и расходами по вентиляции не постоянна, но подсчеты показывают, что место заложения ствола, отвечающее наименьшим расходам по венти-

ляции, примерно совпадает с решением, найденным из условия оптимальной работы подземного транспорта.

Существенное, иногда решающее значение при выборе места заложения устья ствола имеют местные факторы: физико-механические свойства пород, пересекаемых стволом, рельеф поверхности, местоположение обогатительной фабрики и др.

Следует избегать пересечения стволом плывунов, водоносных или нарушенных пород, проходка по которым сопровождается большими трудностями и требует усиленной крепи. Рельеф поверхности должен обеспечивать удобное расположение поверхностных сооружений и вспомогательных цехов и отвалов. Расположение ствола должно быть удобным для подвода железной дороги. Путь к месту обработки руды должен быть наиболее коротким, легко сооружаемым и дешевым в эксплуатации. Иногда оказывается целесообразно изменить намеченное место заложения ствола только потому, что стоимость сооружения пути для поверхностного транспортирования руды и его последующей эксплуатации оказывается высокой.

Выбор варианта вскрытия и места заложения вскрывающих выработок выполняется на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов в следующем порядке.

1. Устанавливаются технически возможные и подлежащие сравнению варианты вскрытия месторождения.

Для месторождений, состоящих из одного рудного тела, число этих вариантов обычно невелико. При выборе способа вскрытия для нескольких рудных тел число технически приемлемых вариантов возрастает. В этом случае возможны независимое вскрытие каждого рудного тела и совместное вскрытие общей вскрывающей выработкой [12].

2. Для технико-экономического сравнения вариантов выявляются капитальные затраты и эксплуатационные расходы, зависящие от вскрытия по отдельным статьям. При этом затраты и расходы одинаковые или очень близкие по величине для сравниваемых вариантов, а также все второстепенные затраты не подсчитывают и не включают в итоговую сумму. Все учитываемые затраты и расходы определяют для одного и того же перио-

да времени; наиболее удобным является полный срок существования шахты.

3. Иногда для отдельных вариантов предварительно выявляют подварианты, сравнивают их между собой, и лучший вводят в общее сравнение вариантов.

4. Подсчитанные для каждого варианта затраты и расходы по отдельным статьям сводят в общую таблицу.

5. Принято считать, что возможная неточность экономических подсчетов по вариантам составляет от 5 до 10 %. Поэтому если учитываемые суммарные затраты и расходы по какому-либо варианту превышают таковые по другому варианту не более чем на 5–10%, но вместе с тем этот (первый) вариант имеет существенные преимущества в техническом отношении, то ему отдается предпочтение.

6.23. Технологическая схема рудника

Подземный рудник – сложная и разветвленная производственная система. Технология разработки месторождения требует выполнения большого числа производственных процессов, жестко взаимосвязанных между собой. Эти процессы можно разделить на основные и вспомогательные.

Основные производственные процессы включают в себя:

- проведение горных выработок, обеспечивающих доступ к полезному ископаемому и добычу его;
- отбойку руды, т. е. отделение руды от массива с дроблением ее на куски;
- доставку руды – перемещение отбитой руды в пределах выемочного блока или панели;
- вторичное дробление чрезмерно крупных кусков (негабарита); его применяют в большинстве случаев, однако оно может не понадобиться при мелком дроблении руды;
- поддержание очистного пространства;
- подземное транспортирование и подъем руды и пустой породы на поверхность, их складирование и отгрузка потребителям.

Отбойка, доставка руды, вторичное дробление негабарита, поддержание очистного пространства – процессы, обеспечивающие в совокупности выемку руды, их называют добычными (или очистными) работами.

Вспомогательные производственные процессы призваны обеспечить эффективное и безопасное выполнение основных. К ним относятся:

- водоотлив (откачка воды на поверхность);
- вентиляция (проветривание) подземных выработок;
- энергоснабжение и освещение;
- транспортирование материалов, оборудования, перевозка людей;
- монтажно-демонтажные работы;
- ремонтные работы.

Добытые руды черных и цветных металлов представляют собой сырье, которое за редким исключением (например, самородки) не может быть непосредственно использовано в промышленности. Поэтому рудное сырье подвергается последующей переработке, т.е. обогащению и металлургическому переделу.

Обогащение – выделение из руды полезных компонентов и их отделение от ненужных и вредных примесей. В результате обогащения получают концентраты, содержание металлов в которых гораздо выше, чем в исходной руде (для цветных металлов иногда в сотни раз).

Концентраты направляют на металлургический передел, из них получают металлы. Из богатых, например железных, руд при содержании железа более 50–55 % металл можно получить непосредственно при металлургическом переделе сырой руды, минуя стадию обогащения.

Обобщая сказанное, можно представить совокупность основных производственных процессов подземной добычи и переработки металлических руд в виде технологической схемы, которая отражает последовательность выполнения и заимосвязь этих процессов, т. е. технологию работ, в которой отражено также отношение тех или иных производственных процессов к определенной стадии разработки месторождения (рис. 6.37).

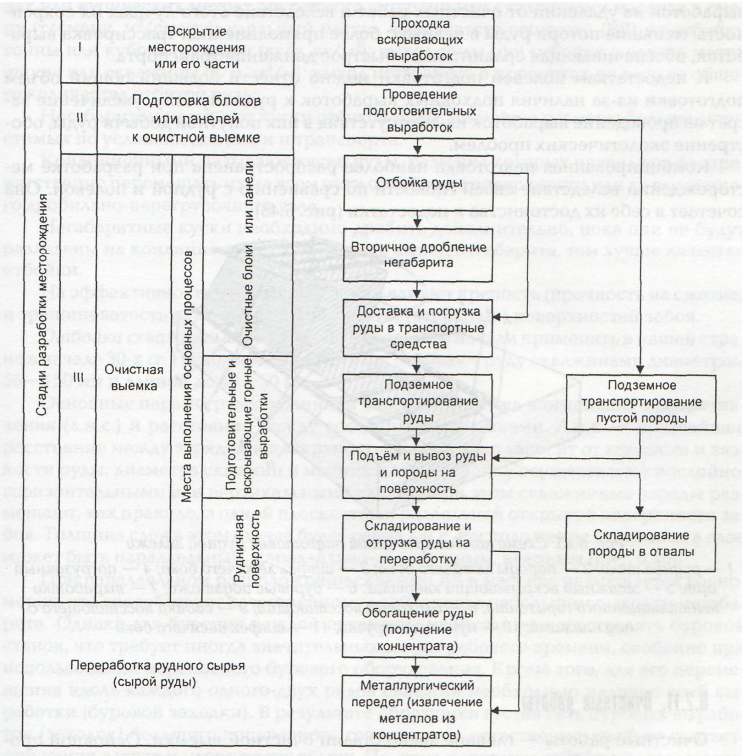


Рис. 6.37. Технологическая схема подземного рудника

6. 24. Подготовка рудных месторождений

Подготовка – это проведение горных выработок для разделения вскрытых участков месторождения на очистные блоки и панели и обеспечения очистной выемки.

Подготовительные выработки – откаточные (транспортные) и вентиляционные штреки и квершлаги, орты, блоковые восстающие различного назначения, блоковые или панельные рудоспуски, наклонные съезды для перемещения самоходного оборудования между горизонтами.

Назначение подготовительных выработок заключается в следующем:

- оконтуривание (выделение) этажа, шахтного поля, блоков или панелей;

- создание связи блока (панели) с общерудничной транспортной сетью;

- обеспечение эффективного проветривания рабочих мест;

- обеспечение свободного доступа в забои и аварийного выхода из них, снабжения забоев оборудованием, материалами, энергией, высокопроизводительной выдачи из них добытой руды.

По местоположению подготовительных выработок можно выделить три способа подготовки:

- рудная (выработки проведены по руде);

- полевая (выработки проведены по пустым породам);

- комбинированная, сочетающая в себе признаки рудной и полевой.

Рудную подготовку применяют при разработке крутых маломощных залежей, мощных залежей любого падения, пологих и горизонтальных залежей выдержанного залегания с транспортированием руды по почве.

Рудная подготовка обладает следующими достоинствами: доразведка запасов руды, меньшие затраты на проведение выработок за счет реализации попутно добываемой руды; меньший общий объем подготовительных выработок, т. к. они всегда производятся достаточно близко к очистным блокам.

К недостаткам рудной подготовки можно отнести проведение подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ (например, вблизи них осуществляют взрывную отбойку), что требует увеличения затрат на их сохранение; оставление вокруг рудных подготовительных выработок ограждающих целиков, которые вообще не отрабатывают или извлекают с большими потерями руды.

Полевую подготовку используют в основном при выемке руды с обрушением налегающих пород, и иногда – при разработке жильных месторождений.

Достоинствами этой подготовки являются размещение подготовительных выработок на удалении от очистных работ и вследствие этого лучшая их сохранность; меньшие потери руды

в целиках; более прямолинейная трассировка выработок, обеспечивающая сравнительно быстрое движение транспорта.

К недостаткам полевой подготовки можно отнести больший общий объем подготовки из-за наличия подходных выработок к рудному телу; увеличение затрат на проведение выработок из-за отсутствия в них попутной добычи руды, обострение экологических проблем.

Комбинированная подготовка наиболее распространена при разработке месторождений вследствие своей гибкости по сравнению с рудной и полевой. Она сочетает в себе их достоинства и недостатки (рис. 6.38) [12].

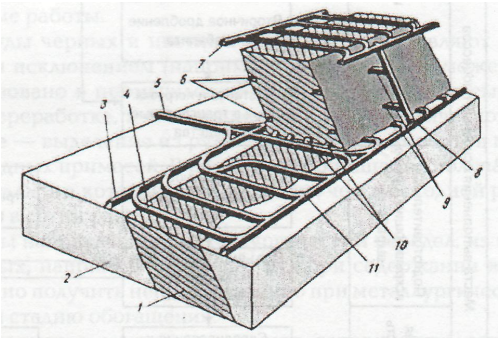


Рис. 6.38. Схема комбинированной подготовки рудной залежи
1 – рудное тело; 2 – породы лежачего бока; 3 – штрек лежачего бока; 4 – погрузочный орт; 5 – этажный вскрывающий квершлаг; 6 – буровые подэтажи; 7 – выработка вентиляционного горизонта; 8 – блоковый восстающий; 9 – сбойки восстающего с подэтажом; 10 – пункты погрузки; 11- штрек висячего бока

6. 25. Очистные работы

Очистные работы – главное звено стадии очистной выемки. Основной процесс очистных работ – отбойка руды, за которой следует доставка ее к транспортным средствам. Доставка сопровождается, как правило, вторичным дроблением негабаритных кусков. Безопасное и высокопроизводительное ведение работ по

отбойке и доставке руды обеспечивается надежным поддержанием очистного пространства.

Отбойка – отделение руды от массива с одновременным ее дроблением на куски.

При добыче руд применяют взрывную, механическую отбойку и самообрушение.

Как уже отмечалось, наиболее распространена на подземных рудниках взрывная отбойка руд любой крепости.

Отбойку производят с использованием только внутренних зарядов, размещенных внутри массива: шпуровых, скважинных и в некоторых случаях минных.

Для оценки результатов отбойки применяют следующие технико-экономические показатели: производительность труда бурильщика, выражаемая в тоннах или кубических метрах обуренного шпурами или скважинами массива в смену (т/смену, м^3/смену); удельный расход взрывчатого вещества (ВВ), на отбойку тонны или кубометра руды (кг/т, кг/м^3); выход руды при отбойке с одного метра шпура или скважины (т/м, м^3/м); выход негабарита в процентах по весу от общего количества отбитой руды.

Негабаритом называют куски отбитой руды, имеющие размеры больше допустимых по условиям доставки и транспорта.

Кондиционными называют куски руды, размеры которых позволяют беспрепятственно перемещать их на всем пути от забоя до поверхности или до подземного дробильно-перегрузочного узла.

Негабаритные куски необходимо дробить дополнительно, пока они не будут разделены на кондиционные. Чем меньше выход негабарита, тем лучше качество отбойки.

На эффективность взрывной отбойки влияют крепость (прочность на сжатие) и трещиноватость руды, число обнаженных (открытых) поверхностей забоя.

Отбойка скважинными зарядами. На подземных рудниках отбивают руду скважинами диаметром 56–150 мм и длиной до 40–50 м.

Основные параметры скважинной отбойки – линия наименьшего сопротивления (л.н.с.) и расстояние между соседними

скважинами. Л.н.с. – кратчайшее расстояние между зарядом и поверхностью забоя. Оно зависит от крепости и вязкости руды, диаметра скважин и мощности ВВ. Отбойку осуществляют послойно, горизонтальными или вертикальными слоями; при этом скважинные заряды размещают, как правило, в одной плоскости, параллельной открытой поверхности забоя. Толщина слоя в этом случае будет равна л.н.с. Расположение скважины в слое может быть параллельным, параллельно-сближенным, веерным (рис. 6.39).

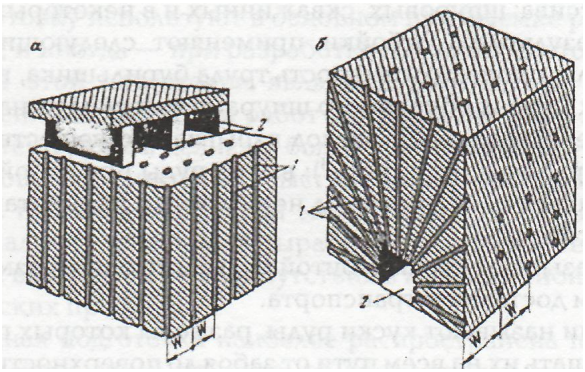


Рис. 6.39. Схемы параллельного (а) и веерного (б) расположения взрывных скважин при отбойке руды:
1 – скважины; 2 – буровые выработки; W – линии наименьшего сопротивления

При параллельном расположении скважин ВВ в массиве размещается равномерно, что способствует качественному дроблению с небольшим выходом негабарита. Однако для бурения каждой скважины необходимо переставлять буровой станок, что требует иногда значительных затрат рабочего времени, особенно при использовании переносного бурового оборудования. Кроме того, для его перемещения вдоль каждого одного-двух рядов скважин необходимо наличие всей выработки (буровой заходки). В результате образуется густая сеть буровых выработок (заходок) большого поперечного сечения, что, естественно, требует соответствующих затрат и удорожает добычу. По этим

причинам отбойку параллельными скважинами применяют в устойчивых труднодробимых рудах, когда повышенные затраты на отбойку компенсируются уменьшением расходов на вторичное дробление негабарита.

Для сохранения преимущества параллельного расположения скважин и уменьшения его недостатков на многих железорудных шахтах Сибири и при разработке железистых кварцитов в Кривбассе успешно применяют отбойку параллельно-сближенными скважинами. Она отличается от отбойки параллельными скважинами тем, что вместо одной скважины в ряду бурят несколько близко расположенных (сближенных) скважин. Расстояние между ними составляет 3–4 диаметра одной скважины, число скважин в одном комплекте 3–10. Несколько сближенных скважин при производстве взрыва работают вместе как одна скважина большого диаметра. Это позволяет увеличить расстояние между буровыми заходками и уменьшить их число, а следовательно, затраты на проходку.

Наиболее распространено веерное расположение скважин в слое (скважины расходятся веером из одной точки). В этом случае станок переставляют только для бурения скважин в следующем веере. Поэтому, во-первых, резко сокращаются затраты времени на перестановку станка и возрастает выработка бурильщика за смену. Во-вторых, необходимо меньшее число буровых выработок. Недостатки отбойки веерными скважинами связаны с неравномерным размещением ВВ по площади забоя. Так как вблизи буровой выработки скважины расположены густо, некоторые из них заряжают не полностью (повышенный расход скважин на отбойку), а по краям забоя расстояние между концами скважин составляет около полутора л.н.с., и качество дробления здесь невысокое (велик выход негабарита).

Для бурения скважин применяют следующее оборудование: колонковые перфораторы (веерные скважины), буровые станки с погружными пневмоударниками (параллельные, параллельно-сближенные и веерные скважины), самоходные бурильные установки (в основном веерные скважины), иногда станки шарошечного бурения (веерные скважины).

Заряжание скважин производят почти исключительно установками для пневмозаряжания, при этом используют гранулированные ВВ различных типов.

При отбойке взрывают обычно несколько рядов скважин. При большой площади забоя количество отбитой руды может составлять тысячи, десятки и даже сотни тысяч тонн, а количество взрываемого при этом ВВ – до десятков тонн. Такие взрывы называют массовыми. Для уменьшения разрушительного воздействия массовых взрывов на окружающие горные выработки сооружения под землей и на поверхности взрывание скважинных зарядов производят по частям с замедлением между рядами скважин и между скважинами в слое. Подготовка массового взрыва занимает несколько смен, причем в это время другие работы в блоке не ведут. Массовые взрывы приурочивают к общешахтным выходным, т.к. на проветривание после них затрачивается до 20 часов. После производства массовых взрывов первыми в шахту спускаются горноспасатели, которые берут пробы шахтного воздуха и при необходимости ремонтируют поврежденные выработки.

Технико-экономические показатели отбойки скважинами:

- производительность труда бурильщика составляет от 30–50 м³/смену в крепких рудах до 250–300 м³/смену в рудах средней крепости;
- удельный расход ВВ изменяется от 1,5 до 0,5 кг/м³, причем при отбойке веерными скважинами удельный расход ВВ на 10–15 % выше, чем при отбойке параллельными;
- выход руды составляет 4–5 м³/м крепких рудах и 15–20 м³/м в рудах средней крепости;
- выход негабарита в зависимости от свойств руды изменяется на различных рудниках от 3 до 15 % и выше.

Область применения скважинной отбойки – мощные (более 6–8 м) рудные залежи достаточно устойчивых руд обычно средней ценности, т.к. точность отбойки руды скважинами (особенно веерными) по контакту с пустыми породами невысокая, что связано с повышением разубоживания.

Шпуровая отбойка. Шпуровые заряды обладают меньшей мощностью и по сравнению со скважинными в 1 м шпура диа-

метром 40–50 мм вмещается 0,8–1,5 кг ВВ, тогда как в 1 м скважины диаметром 105–150 мм – до 15–20 кг взрывчатки. Это определяет значительную трудоемкость шпуровой отбойки, т. к. для добычи одного и того же количества руды нужно пробурить шпуров в несколько раз больше чем скважин. Поэтому шпуровую отбойку используют, как правило, в тех случаях, где невозможно или невыгодно применять скважинную.

Порядок выемки руды с использованием шпуров – послойный в восходящем или в горизонтальным направлении. При восходящей выемке массив руды отрабатывают горизонтальными слоями снизу вверх. Так как при этом люди работают под рудным массивом, он должен иметь устойчивость не ниже средней. Отбойку руды в каждом слое осуществляют восходящими шпурами, если руда устойчива, или горизонтальными шпурами, если устойчивость массива недостаточна (рис. 6.40).

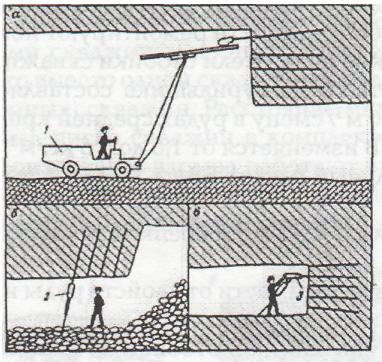


Рис. 6.40. Схемы отбойки руды горизонтальными (*а* и *в*) и восходящими (*б*) шпурами (*а*, *б* – отбойка на две свободные поверхности, *в* – на одну): *1 – самоходная бурильная установка; 2 – телескопный перфоратор; 3 – ручной перфоратор на пневмоподдержке*

Последнее объясняется тем, что при отбойке горизонтальными шпурами кровля забоя получается более гладкой и в ней образуется меньше заколов – кусков, слабо связанных с массивом и способных отделиться от него в любой момент. При отбойке восходящими шпурами можно бурить шпуры одновременно несколькими бурильными машинами по длине забоя и

отбивать руду в больших объемах, чем при отбойке горизонтальными шпурами, длина которых (до 3–4 м) ограничивает разовый объем отбойки.

Отбойку в горизонтальном направлении осуществляют в длинных забоях (лавах) на две обнаженные поверхности (выемка уступом) или в узких забоях с одной обнаженной поверхностью, как при проведении горных выработок (рис. 6.40, *в*).

Параметры шпуровой отбойки – л.н.с. или площадь забоя, приходящаяся на один шпур и изменяющаяся от 0,25–0,4 м² в узких, стесненных забоях до 0,5–1 м² в забоях большой площади.

При шпуровой отбойке применяют следующее буровое оборудование: ручные перфораторы с пневмоподдержкой (горизонтальные и слабонаклонные шпуры), телескопные перфораторы (восходящие шпуры); самоходные бурильные установки (шпуры любого направления). Заряжание шпуров патронированными ВВ обычно производится вручную, а при использовании гранулированных ВВ применяются пневмозарядные установки эжекторного или нагнетательного типов. Взрывание шпуровых зарядов производят посредством огнепроводного шнура (при небольшом числе зарядов) или с помощью электродетонаторов.

Технико-экономические показатели шпуровой отбойки:

- производительность труда бурильщика изменяется от 5–50 м³/смену при использовании перфораторов до 400–600 м³/смену при применении самоходных бурильных установок с 2–3 бурильными машинами (большие величины – в рудах средней крепости и забоях достаточной площади);
- удельный расход ВВ на отбойку – 0,6–3 кг/м³;
- выход отбитой руды на 1 м шпура – 0,3–1,5 м³/м;
- выход негабарита – от 0 до 3–5 %.

Область применения шпуровой отбойки – маломощные рудные тела жильных месторождений, проходческие работы при проведении практически всех видов горных выработок.

Минная отбойка. Как основной этот способ отбойки распространен мало. Ее применяют в основном для обрушения целиков, в которых уже есть или могут быть проведены горные выработки. Заряды ВВ, масса которых достигает сотен кило-

граммов, размещают на почве выработок или в их ответвлениях (минных карманах) насыпью или в мешках. Расстояние между зарядами достигает 8–12 м. Перед взрыванием заряды иногда засыпают забойкой из дробленой породы для увеличения эффективности разрушения массива.

Механическая отбойка применяется в основном при выемке руд и пород с применением самоходных шарошечных комбайнов.

Самообрушение руды. Это наиболее дешевый вид отбойки. Под рудным массивом проводят сеть пересекающихся выработок, раздельных между собой наибольшими целиками. Затем на определенной площади целики разрушают (взрывают), вследствие чего рудный массив снизу лишается опоры (подсекается). Под действием собственного веса и давления налегающих пород рудный массив начинает растрескиваться (как говорят, «созревать») и затем обрушаться. Увеличивая площадь подсечки, можно развивать самообрушение массива.

Наиболее благоприятна для самообрушения руда, разбитая частой сетью трещин, однако достаточно устойчивая для того, чтобы в ней можно было сохранять горные выработки. Такие условия довольно редки, поэтому разработка руд с использованием самообрушения распространена мало.

Выпуск – перемещение отбитой руды под действием собственного веса и под воздействием погрузочных и доставочных машин из очистного пространства в доставочные или транспортные выработки. Выпуск руды применяют, если доступ людей в очистное пространство запрещен или невозможен, т. е. очистное пространство представляет собой бункер, заполненный отбитой рудой.

Применяют следующие способы выпуска руды: донный – через специальные выработки в днище (основании) очистных блоков; торцевой – через торец выработки.

Выработки для донного выпуска руды – воронки и траншеи (рис. 6.41). Воронка – углубление в днище (основании) блока в форме перевернутого конуса или цилиндра. В основании воронки проходят выработку (выпускную дучку), соединяющую очи-

стное пространство через полость воронки с доставочным или транспортным горизонтом.

Воронки образуют посредством шпуровой отбойки, что связано с повышением затрат, однако их размеры и форму легко приспособить к изменению мощности рудного тела и вследствие этого уменьшить потери руды.

Траншеи имеют сходящиеся к низу стенки. Для их образования в основании проходят траншейную выработку, из которой выбуривают вертикальные веера скважин и взрывают их, как правило, одновременно с отбойкой руды в блоке (в отличие от воронок, которые обычно образуют заблаговременно). К траншее снизу подводят погрузочные выработки, через которые ее соединяют с доставочным или транспортным горизонтом. Затраты на образование траншей меньше, чем на образование воронок. Однако из-за прямолинейной формы и использования для отбойки более мощных скважинных зарядов их применяют, как правило, при разработке мощных залежей устойчивых руд.

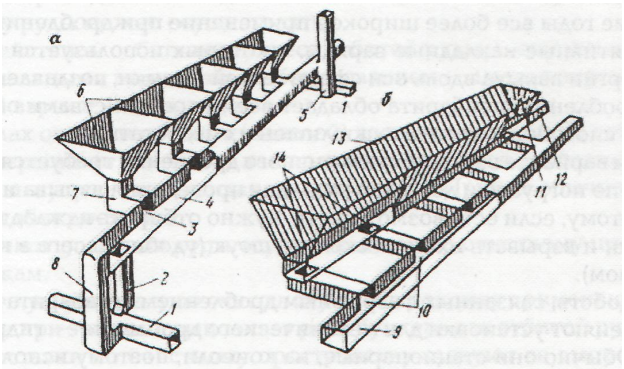


Рис. 6.41. Схемы оснований блоков в виде воронок (*а*) и траншеи (*б*) при данном выпуске руды: *1 – откаточные орты; 2 – рудоспуск; 3 – выпускная выработка; 4 – скреперный штрек; 5 – вентиляционный восстающий; 6 – воронки; 7 – дучка; 8 – ходовой восстающий; 9 – откаточный штрек; 10 –ниши для погрузочной машины; 11- веер взрывных скважин для образования траншеи; 12 – траншейный штрек; 13 – траншея; 14 – выпускные отверстия в почве траншейного штрека*

При взрывной отбойке руды почти не удается избежать выхода негабаритных кусков. Поэтому очистная выемка обычно сопровождается вторичным дроблением негабарита.

Вторичное дробление осуществляют либо в очистном пространстве, если там работают люди, либо в выпускных, погрузочных или доставочных выработках.

Наиболее часто применяют взрывное дробление негабарита. При дроблении накладными зарядами их кладут на кусок негабарита и присыпают сверху забойкой (глиной с песком или мелкой породой). При взрыве накладных зарядов образуются мелкие осколки, которые могут повредить крепь, оборудование, кабели или трубы. Расход ВВ составляет при этом до 1,5–2 кг на 1 м³ негабарита.

Шпуровые заряды позволяют лучше использовать энергию взрыва, поэтому удельный расход ВВ снижается в 3–4 раза по сравнению с использованием обычных накладных зарядов. Однако при этом необходимо дополнительное время на бурение шпуров.

В последние годы все более широкое применение при дроблении негабарита находят кумулятивные накладные заряды, в которых используется эффект концентрации энергии взрыва вдоль оси сферической выемки, создаваемой в заряде. Этот способ дробления негабарита обладает всеми достоинствами обоих рассмотренных выше способов и практически лишен их недостатков.

При любом варианте взрывного вторичного дробления требуется приостанавливать работы по погрузке и доставке руды для проведения взрыва и проветривания забоя. Поэтому, если есть возможность, нужно отбирать и складировать негабаритные куски и взрывать их по несколько штук (удобнее всего в конце смены, перед перерывом).

Из-за неудобств, связанных с взрывным дроблением негабарита на рудниках, все чаще применяют установки для механического дробления – гидро- или пневмоударники. Обычно они стационарные, на консоли, поэтому используются, как правило, у рудоспусков. Кроме того, выпускают образцы самоход-

ных машин для дробления негабарита, оснащенные гидроударниками, которые могут работать непосредственно в забоях.

Ликвидация зависаний. При выпуске отбитой руды из очистного пространства в выпускных отверстиях образуются зависания – застревания крупных кусков или заклинивание нескольких мелких. Зависания возникают тем чаще, чем больше в руде негабарита. Для ликвидации зависания над выпускным отверстием под них подводят на шестах заряд ВВ – фугас массой от нескольких килограммов до десятков килограммов ВВ. При взрыве фугаса одновременно дробятся и негабариты, застрявшие в выпускном отверстии (рис. 6.42).

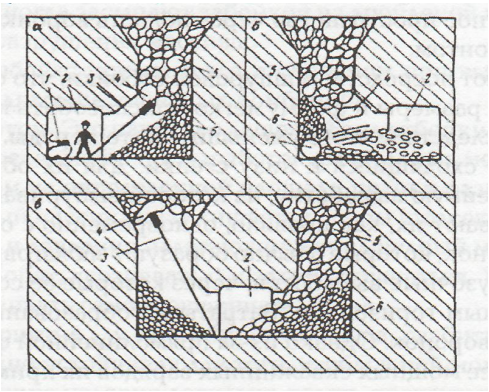


Рис. 6.42. Схемы ликвидации низкого (*а*), высокого (*в*) заторов с использованием фугасов и низкого затора с применением пневмоимпульсных устройств (*б*):
1 – накладной заряд; 2 – скреперный штрек; 3 – фугас на шесте; 4 – затор; 5 – горловина воронки; 6 – рудная «постель»; 7 – пневмоимпульсное устройство

Если зависание возникает в результате заклинивания кусков между лобовиной выпускного отверстия и насыпью руды под ним, то оно может быть ликвидировано как взрывным, так и безвзрывным способом. Для этого на многих рудниках цветной и черной металлургии применяют пневмоимпульсные устройства (ПУ), позволяющие разрушать зависания руды за счет энер-

гии сжатого воздуха, подаваемого в устройство, заранее размещенное на днище выпускной выработки (рис. 6.42, *б*).

Доставка – перемещение отбитой руды из забоя в средства подземного транспорта. На нее приходится от 30 до 50 % всех затрат на очистную выемку в блоках.

Доставку руды можно осуществлять:

- под действием собственного веса отбитой руды – самотечная;
- специальными машинами и оборудованием – механизированная;
- силой взрыва – взрывная.

В пределах очистных блоков (панелей) доставка включает в себя ряд взаимосвязанных операций (в т. ч., как правило, вторичное дробление негабарита, а при донном выпуске – и ликвидацию зависаний). Причем обычно сочетается несколько способов доставки.

Самотечная доставка руды осуществляется по очистному пространству или по рудоспускам.

Самотечную доставку по очистному пространству применяют довольно широко. Так как при этом она выполняет роль бункера для отбитой руды, то после самотечной доставки по очистному пространству следуют ее выпуск и погрузка в транспорт или механизированная доставка по почве доставочных выработок.

Самотечную доставку руды по рудоспускам применяют на многих рудниках. Длина рудоспусков меняется от нескольких до сотен метров. Для беспрепятственного движения руды по рудоспускам угол их наклона должен быть не менее 55–60°, а его диаметр – в 3–4 раза больше размера кондиционного куска.

Механизированная доставка руды. Механизированная доставка включает в себя погрузку (совмещаемую с выпуском после самотечной доставки), собственно доставку и разгрузку. Возможны случаи, когда доставка заключается только в погрузке в транспортные средства.

При механизированной доставке применяют или только погрузочные машины (погрузка в транспорт), или комплексы погрузочных и саморазгружающихся доставочных машин, или, наконец, комбинированное погрузочно-доставочное оборудование.

На рудниках, разрабатывающих металлические руды, погрузку руды непосредственно в транспортные средства применяют при очистной выемке довольно широко. Основным видом погрузочного оборудования при этом являются установки непрерывного действия – питатели (главным образом, вибрационные), выпускающие руду из воронок или траншей и грузящие ее в вагоны электровозного транспорта.

Широкое распространение получили на рудниках цветной металлургии комплексы из самоходных погрузочных и доставочных машин. Например, на рудниках Джезказганского и Ачисайского комбинатов в Казахстане применяют комплексы экскаватор – автосамосвал, погрузочная машина с нагребающими лапами типа ПНБ – автосамосвал. А на Тырнаузском комбинате на Кавказе и на Абаканском руднике успешно используют комплекс вибропитатель – автосамосвал. Производительность этих комплексов в зависимости от длины доставки достигает до 800–1200 т/смену. На рудниках Джезказганского ГМК при доставке в очистном пространстве хорошо зарекомендовали себя комплексы, состоящие из ковшового погрузчика с ковшом вместимостью 3–4 м³ и автосамосвала. Комплексы погрузочная машина – автосамосвал применяют для доставки руды по очистному пространству высотой не менее 3 м при погрузке руды погрузочными машинами типа ПНБ и не менее 5 м при погрузке экскаваторами и ковшовыми погрузчиками. Длина доставки автосамосвалами – 400–1000 м.

К погрузочно-доставочному оборудованию относят скреперные установки, самоходные погрузочно-доставочные (ПД) и погрузочно-транспортные (ПТ) машины.

Скреперные установки вследствие конструктивной простоты и невысокой стоимости являются на многих, особенно небольших рудниках наиболее распространенным оборудованием для доставки руды (рис. 6.43). Их успешно применяют в узких забоях, небольшой мощности залежах и при ограниченном поперечном сечении доставочных выработок.

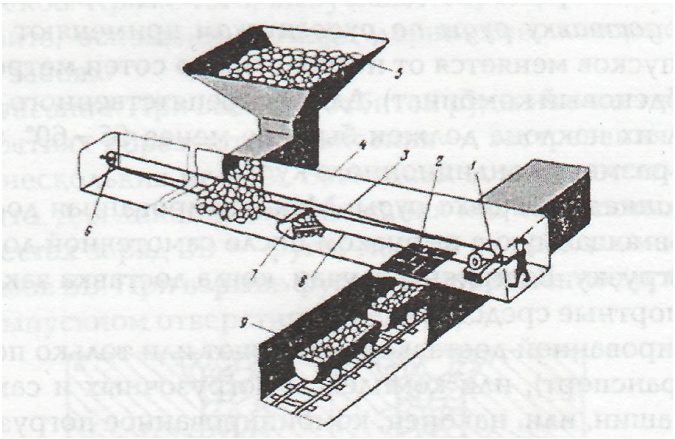


Рис.6.43.Схема скреперной доставки и погрузки руды: *1 – скреперная лебедка; 2 – грохот; 3 – холостая ветвь каната; 4 – скреперная выработка; 5 – воронка; 6 – хвостовой бочок; 7 – скреперный ковш; 8 – рабочая ветвь каната; 9 – транспортная выработка*

Мощные установки обычно используют при донном выпуске в рудных телах значительной мощности. Руду скреперуют на расстояние 10–30 м в рудоспуск или через полок (настил с грохотом) непосредственно в вагоны. Иногда руду под уклон скреперуют мощными установками на расстояние до 150 м и более. В целом использование скреперных установок наиболее эффективно при разработке маломощных рудных тел, залежей с малыми запасами, расположенными на некотором расстоянии от основных запасов шахтного поля, а также на рудниках с невысокой годовой производительностью и при разработке неустойчивых руд, когда необходимо проведение выработок минимального поперечного сечения, в которых не может работать другое (например, самоходное) оборудование.

Наиболее универсальные виды самоходного оборудования для доставки руды – погрузочно-доставочные (ПД) и погрузочно-транспортные (ПТ) машины. В настоящее время выпускают несколько типоразмеров такого оборудования. Например, машины типа ПД имеют грузоподъемность от 2 до 12 т (5 типоразмеров), а машины типа ПТ – от 2,5 до 20 т (5 типоразмеров).

Скорость движения машин ПД и ПТ составляет в среднем 6–10 км/ч из-за сложности трассы и неровности почвы доставочных выработок, которые к тому же нередко имеют уклон до 10–12°. Производительность ПД (рис. 6.44) и ПТ машин снижается при увеличении длины доставки.

В зависимости от грузоподъемности (вместимости ковша) машин типа ПД оптимальная длина доставки изменяется от 50–80 до 250–300 м. При этом их производительность может достигать 600–1200 т/смену. Машины типа ПТ при одинаковой грузоподъемности с машиной типа ПД имеют меньшие размеры и могут проходить по выработкам меньшего поперечного сечения. Их выгоднее применять при длине доставки от 100 до 500 м и более мелком дроблении.

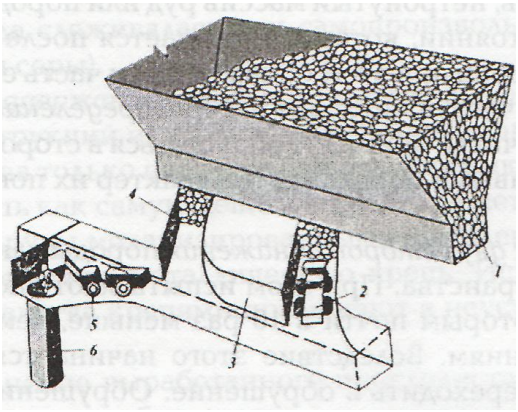


Рис. 6.44. Схема доставки руды до рудоспуска ковшовыми погрузочно-доставочными машинами типа ПД:
1 – траншея; 2 – погрузочно-доставочная машина под погрузкой; 3 – доставочная выработка; 4 – погрузочный заезд; 5 – погрузочно-доставочная машина на разгрузке у рудоспуска; 6 – рудоспуск

Взрывная доставка (рис. 6.45) была впервые применена в СНГ в условиях, где невозможны или нецелесообразны другие ее виды (самотечная, механизированная), например, при разработке наклонных залежей с углом падения от 15 до 45°.

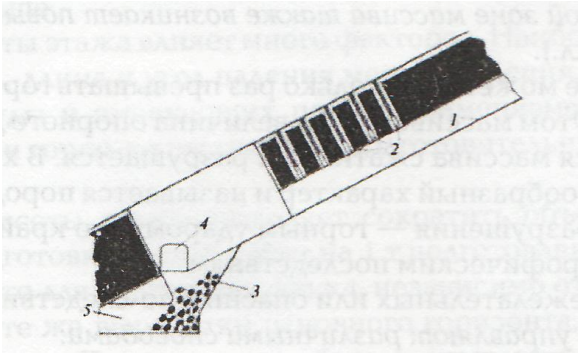


Рис. 6.45. Взрывная доставка руды:
1 – выработка для бурения скважин (буровой восстающий);
2 – скважины; 3 – выработка для приема отбитой руды;
4 – штрек для образования отрезной щели;
5 – выработка для погрузки руды

Руду отбивают веерными или параллельными скважинами в направлении падения залежи. Вследствие метательного действия взрывных газов, обладающих высоким давлением, отбитая руда отбрасывается вниз по падению залежи в воронки на расстояние от 20 до 60 м. Это расстояние тем значительнее, чем больше угол падения и мощность залежи. Часть руды падает на почву залежи на более близком расстоянии, и со временем там накапливаются довольно значительные остатки, причем они тем больше, чем меньше угол падения и больше длина доставки. Эта руда препятствует взрывной доставке, поэтому время от времени почву очистного пространства зачищают от остатков руды скрепером или бульдозером, который на канате прикрепляют к лебедке, установленной на верхнем горизонте. Бульдозером управляют дистанционно из буровой выработки, т. к. вход в открытое очистное пространство запрещен [13].

7. ПОДВОДНАЯ РАЗРАБОТКА РУД

7.1. Сущность технологии

Под подводной добычей полезных ископаемых понимается разработка месторождений полезных ископаемых, залегающих на дне и в недрах Земли, покрытых Мировым океаном. К этой отрасли горного дела относится также извлечение полезных ископаемых из морской воды и морских рассолов.

Извлечение полезных ископаемых из морской воды основано на физико-химических процессах выделения растворимых в ней солей, общий объем которых достигает 48 млн. км^3 различных элементов, в том числе свыше 6 млрд. т меди, 6 млрд. т урана, 6 млрд. т олова, 4 млрд. т никеля, 0,5 млрд. т серебра, 10 млн. т золота и др. Добыча поваренной соли из морской воды известна с древнейших времен. В V в до н. э. в дельте Днепра добывалась соль при испарении воды в специальных неглубоких бассейнах. Такой способ применялся в древности, а в средние века был основным способом получения соли во Франции, Испании, Китае и Индии. В северных районах соль получали за счет вымораживания морской воды в бассейнах с последующей выварокой сгущенного рассола. С середины XIX в. из маточных рассолов производства поваренной соли во Франции начали получать бром.

Промышленное извлечение магния из морской воды начато с 30-х годов нашего века. В 1970 г. в США, Англии и других странах работало более 100 предприятий по добыче натрия из морской воды с объемом производства более 10 млн. т, магния – 300 тыс. т и брома 75 тыс. т. Потребность Японии в соли практически удовлетворяется за счет извлечения ее из морской воды. В СССР начато промышленное освоение рассолов Сиваша. До 1951 г. в заливе Кара-Бугаз-Гол производилась добыча мирабилита из морских вод бассейновым способом.

Современная технология извлечения указанных элементов из морской воды предусматривает, как правило, концентрацию извлекаемых элементов за счет выпаривания или хлорирования,

а затем при взаимодействии насыщенного раствора с другими элементами их извлечения в виде нерастворимых соединений.

Но за исключением натрия, магния, брома концентрация других элементов в морской воде весьма низкая, что не позволяет их извлекать рентабельно. Совершенствование установок по адсорбции, ионному обмену и экстракции при интенсивном внедрении все более экономичных схем получения питьевой воды из морской воды создает благоприятные перспективы для извлечения других элементов.

Разработка поверхностных месторождений шельфа и ложа океана производится открытым способом через водную толщу. На поверхности шельфа, составляющего 19 % площади Суши, и ложа океана (соответственно 50 % площади Земли) сосредоточены огромные минеральные ресурсы. Только в железо-марганцевых конкрециях донных отложений Тихого океана запасы марганца прогнозируются в 240 млрд. т, кобальта – 2,8 млрд. т, никеля 9,4 млрд. т, меди 5,3 млрд. т. На шельфе найдены россыпные месторождения тяжелых минералов и металлов, а также строительных материалов.

Извлечение полезных ископаемых из подводного забоя на поверхность комплексом механизмов и оборудования, работающего в водной среде, с целью получения, переработки и использования основных и сопутствующих компонентов месторождения. При подводной добыче выделяют следующие этапы: 1) отделение добываемого сырья от массива месторождения; 2) транспортировка от заборного механизма до плавающего или стационарного средства (судна, баржи, понтона, платформы); 3) первичная обработка сырья (грохочение, сепарирование, промывание и т. д.); 4) хранение и транспортировка для последующей переработки. Первый этап осуществляется механическим, гидравлическим, пневматическим способами или их сочетанием. При механическом способе применяют бульдозерные лопаты, шнеки, грейферы, ковши и т. п., при гидравлическом и пневматическом – гидромониторы, эрозионные насадки, сифоны, насосы. Работы второго этапа ведут с помощью грейферов, ковшовых цепей, шнековых и ленточных конвейеров, напорных насосов, эрлифтов, эжекторов. Третий этап связан с работой

грохотов, гидроциклонов, сепараторов. На четвертом этапе необходимы хранилища, а также средства транспорта (суда, баржи, трубопроводы). Выбор тех или иных средств и способов добычи зависит от многих факторов и определяется технико-экономическими расчетами. Преобладающим фактором является глубина моря. Различают добычу: мелководную при глубине воды не более 5–10 м; в пределах шельфа с глубиной до 100–200 м; свыше 200 м до предельных глубин океана (моря). В двух первых зонах добывают: строительные материалы, драгоценные камни и металлы, полиметаллические и железосодержащие пески, сырье для химической промышленности, энергетическое сырье. Третья зона перспективна для добычи конкреций, нефти и газа.

7.2. Схемы разработки

С каждым годом растет интерес к месторождениям полезных ископаемых, залегающих в морях и озерах на значительной глубине под водой. Именно в связи с этим начинает обособляться специальный подводный способ разработки месторождений, при котором основные процессы горных работ происходят в горных выработках незамкнутого контура, открытых в гидросферу.

Полезные ископаемые Мирового океана можно разделить на три группы:

1) растворенные в воде;
2) залегающие в виде россыпей на морском дне;
3) залегающие в коренных породах морского дна.

В зоне шельфа Мирового океана наибольшее распространение имеют россыпи тяжелых минералов – ильменита, рутила, циркона, моноцита, магнетита, касситерита; реже встречаются золото, платина, вольфрамит и другие минералы. В этой же зоне шельфа сосредоточено большое количество строительных материалов (песок, галька, гравий).

В более глубоких частях океана встречаются залежи конкреций фосфорита железомарганцевые конкреции (рис. 7.1) и кремниевые илы.



Рис. 7.1. Подводная фотография покрова железо-марганцевых конкреций на дне Тихого океана (глубина 5400 м к юго-западу от о. Раторонга, о-ва Кука)

В настоящее время разрабатываются, главным образом, россыпи, залегающие на глубинах не более 50 м. Для добычи в основном применяются землесосные черпаковые и скреперные драги, а также канатно-скреперные установки.

Землесосные драги всасывают песок со дна водоема глубиной до 1–20 м и по пульпопроводам доставляют его в виде пульпы на обогатительные устройства. Если грунтовый насос находится ниже уровня воды, удается добывать пески с глубины до 45 м.

По своему назначению современные драги делятся на континентальные и морские. С помощью континентальных драг, которые монтируются на плоскодонном понтоне, разрабатываются речные и озерные россыпи. Морские драги применяются для разработки прибрежных (шельфовых) россыпей, а также россыпей, залегающих на дне морей. Они монтируются обычно на килевых судах.

Для добычи конкреций на больших глубинах пока еще нет надежных способов. Имеются лишь отдельные установки и множество проектов и предложений (рис. 7.2).

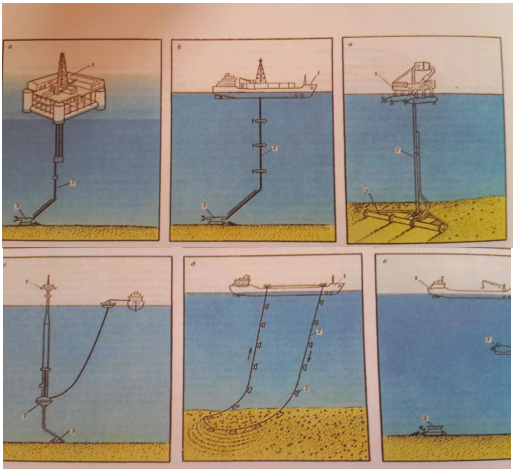


Рис. 7.2. Предлагаемые схемы глубоководной добычи твердых полезных ископаемых.
Типы установок: а – эрлифтная; б – с перекачивающими насосами; в – трубопроводно-контейнерная; г – с подводной камерой; д – канатно-скиповая; е – автономная; 1 – плавсредство; 2 – установка подъема; 3 – агрегат сбора

Так в Японии для добычи железомарганцевых конкреций с глубин до 6 км предложено применять многочерпаковую цепь, которая тянется судном. Цепь приводится в движение специальными лебедками, установленными на судне. Ковши емкостью до 100 л крепятся на синтетическом тросе, через 20–25 м применяются также грейферные ковши. В США успешно применяются скреперные драги-ковши, которые тянутся за судном и по мере наполнения поднимаются на борт.

7.3. Технология добычи строительных материалов

Сейчас земснаряды применяются, в основном, при дноуглублении судового хода, в морских портах и на крупных реках (в Украине это реки Днепр, Дунай, Южный Буг, Днестр и др. при попутной добыче песка, потребляемого строительной индустрией (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Гавань «Океан»

При разработке обводненных месторождений песков применяется традиционная технология. Добычные работы производятся с применением земснаряда, транспортирующего разрабатываемую горную массу по рефулерному и стационарному пульпопроводам на карты намыва. Подпитка водой котлована земснаряда производится за счет оборотного водоснабжения, после обезвоживания песка на картах намыва.

Опыт проектирования и эксплуатации песчаных карьеров на месторождениях Александровское, Галициновское, Афанасьевское, Балабановское, Трихатское (Украина), показывает, что цеховая себестоимость песка, добываемого по описанной технологии, без учета платы за недра, при эксплуатации электрических земснарядов, составляет около 4 грн/м^3 ($0,75), а при использовании дизельных земснарядов повышается до 8 грн/м^3 ($1,5). Значительное количество земснарядов используется при добыче строительного и стекольного песка из обводненных месторождений суши и подводных морских залежей (рис. 7.4).



Рис. 7.4. Добыча строительного и стекольного песка из обводненных месторождений суши

Актуальность применения землесосных снарядов при отработке сухопутных обводненных месторождений песков обосновывается минимальной себестоимостью добычи 1 $м^3$ п. и. При сравнении, на этапе проектирования, отработки Балабановского месторождения строительных песков (Николаевская обл., Украина), трех технологических схем добычи песка – экскаваторная, гидромониторно-землесосными установками и плавучими земснарядами, установлено, что при использовании дизельного земснаряда ЛС-27 и МЗ-11 затраты в 1,02 1,4 раза меньше, чем при разработке с использованием других рассмотренных технологических схем выемки обводненного полезного ископаемого. При этом, весомая доля затрат в экскаваторной и гидромониторно-землесосной схемах разработки приходится на дренажные работы и водоотлив (18–18,7 %). С учетом же издержек за нарушение гидрологического режима в районе, прилегающем к месту добычи, указанные затраты достигают 22–24 %. Применение же электрических земснарядов ЗГМ-1 350А, МЗ-16Э позволяет уменьшить затраты соответственно в 2,9–4 раза.

При глубоководной морской добыче полезных ископаемых, в особенности шельфовых, необходимо уделять большое значение минимизации экологического ущерба, наносимого окружающей водной среде добычными работами.

Негативные последствия масштабной морской добычи песков достаточно подробно изучены. Основные из них:

- уничтожение нерестилищ рыб, в результате резко сокращается улов и численность морских животных;
- уничтожение донной флоры и фауны;
- загрязнение и уменьшение пляжной зоны;
- оползание берегов в море.

Например, в результате эксплуатации Ялтинского месторождения строительного песка (1952–1975 гг.) на дне бухты в 250–300 м от набережной образовался подводный карьер протяженностью более 2 км. Следствием этого явилось сокращение пляжа и повышенный риск возникновения оползневых явлений в сейсмически активной зоне на Крымском полуострове.

С учетом опыта эксплуатации подводных карьеров и моделирования процесса динамики подводного склона пришли в выводу, что глубина разработки строительных песков должна превышать 25–30 м. Поэтому с такими глубинами шельфовой зоны и связаны реальные перспективы развития сырьевой базы.

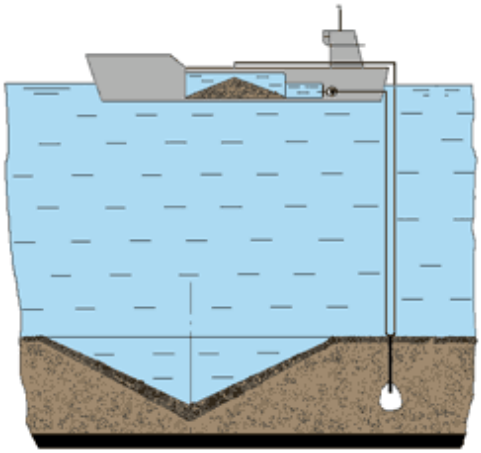


Рис. 7.5. Судовой добычной комплекс (СДК) для подводной морской добычи песка по экологически щадящей технологии (разработка Национального горного университета, г. Днепропетровск)

Для подводной морской добычи песка, удовлетворяющей вышеперечисленным требованиям, в институте НИПИ Океанмаш (г. Днепропетровск) был разработан судовой добычной комплекс (СДК). Научное обоснование решений выполнялось специалистами Национального горного университета (г. Днепропетровск). Суть экологически щадящей технологии заключается в заборе полезного ископаемого из-под донной поверхности посредством гидравлического грунтозаборного устройства (рис. 5). При этом минимально нарушается донная поверхность, практически исключается образование тонкодисперсных взвесей в зоне грунтозабора. Добытое п. и. погружается в отвозные плавсредства, при этом образование шлейфа мутности отсутствует, т. к. отработанная вода не сливается в водоем, как при традиционной технологии, а в комплексе оборотного водоснабжения направляется к грунтозаборному устройству для размыва грунта.

Технически проект осуществим и в более простом варианте – СДК создается в виде самоотвозного земснаряда, оснащенного гидротранспортным технологическим оборудованием судового базирования с системой оборотного водоснабжения. Ведение разработки месторождений предполагалось посредством ямочной технологии добычи.

С целью опробования основных технических решений была создана крупномасштабная модель грунтозаборного устройства (М1:4), представляющая собой комбинацию водоструйного насоса и гидромонитора. В 1998 г. на Днепровском речном полигоне в устье р. Самары вблизи г. Днепропетровск были проведены испытания экспериментальной установки, включая образцы полноразмерных технических средств добычи и элементов экологически щадящей технологии. В результате оценки экологических последствий отработки полигона установлено отсутствие нарушения донной поверхности, сохранение прозрачности воды, сохранение планктонных и донных организмов – 90–95 % исходного состояния. Общий результат испытаний позволил рекомендовать способ добычи для промышленного внедрения при разработке подводных месторождений песков. Однако ввви-

ду общего экономического кризиса в стране работы были свернуты, а институт расформирован.

В настоящее время в Национальном горном университете ведутся работы по исследованию процессов, происходящих при размыве грунтов турбулентной водяной струей, обоснованию рациональных параметров, разработке и модернизации технических средств для ведения подводных горных работ, разработке технологии добычи (в том числе экологически щадящей) полезных ископаемых из подводных месторождений.

Выполняется проектирование горных предприятий для разработки обводненных россыпных и нерудных строительных полезных ископаемых.

В целом, как считают специалисты, XXI в. будет временем бурного развития морской геологии и морского горного промысла. В последние 50 лет Мировой океан активно исследуется экономически развитыми странами, рассматривающими его как основную сырьевую базу будущего, как потенциальный источник снабжения минеральным сырьем различных отраслей экономики на долгосрочную перспективу. Политики ведущих мировых держав прекрасно осознают – кто будет первым в изучении ресурсов Мирового океана, создании средств и технологий для их добычи, тот станет хозяином ресурсов в будущем. На этом фоне сворачивание соответствующих целевых программ и явно недостаточное финансирование науки в странах СНГ не вызывают оптимизма. Однако, начавшийся экономический рост все же дает надежду, что уже в ближайшем будущем научные центры и производители, работающие над созданием эффективных технологий и оборудования для освоения минеральных ресурсов Мирового океана, получат реальную поддержку и смогут должным образом ответить на вызовы времени.

8. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

8.1. Виды строительных горных пород и их свойства

Горные породы издавна используются человеком для прикладных целей. Породы, добываемые из земных недр в виде каменных глыб – блоков или плинт, представляют собой исходное сырье для производства облицовочных материалов, а также архитектурно-строительных, монументальных и некоторых технических изделий.

На территории нашей страны в качестве декоративно-облицовочных камней используются следующие типы горных пород:

- магматические – граниты, гранитогнейсы, гранодиориты, диориты, габбро-диориты, габбро-диабазы, пироксениты, сиениты, порфириты и др.;

метаморфические – кварциты, кварцитопесчаники, мраморы, амфиболиты;

- осадочные – известняки, доломиты, песчаники, гипсы.

К основным факторам, определяющим 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 распространенная глубинная порода. Минеральный состав гранитов характеризуется наличием следующих компонентов: кварц, щелочной полевой шпат, кислый плагиоклаз, биотит, мусковит, иногда роговая обманка. Строение породы – однородное с равномернозернистой структурой. В гранитах наблюдается иногда порфировидное строение вследствие развития крупных кристаллов полевого шпата, что придает ему особо высокую декоративность. Граниты имеют плотность 2600–2700 кг/м^3, малую пористость – в среднем 1,5 %, незначительное водопоглощение – не более 0,6 %, предел прочности при сжатии 120–250 Мпа, хорошую сопротивляемость

истиранию. Чаще граниты имеют серую окраску различных оттенков, реже розовую, красную. Очень редки граниты голубовато-зеленой окраски. Встречаются также очень светлые, почти белые граниты. Используют гранит для облицовки цоколей, порталов, устройства полов и лестниц с интенсивным движением людских потоков, облицовки набережных и т. п. Гранит – порода монолитная, позволяющая получать блоки больших размеров.

Диорит – глубинная зернистая порода, состоящая из плагиоклаза и темного минерала (пироксена или биотита). Кроме того, в состав диорита небольшим количеством входит кварц. Окраска диоритов – серая или зеленовато-серая, при преобладании темных минералов, переходящая в почти черную. Диориты плохо принимают полировку. Предел прочности при сжатии 150–300 Мпа. Залегают диориты в виде штоков, иногда образуют крупные массивы. Применяют их для наружных облицовок, а также для изготовления ступеней и покрытия полов.

Сиенит – глубинная зернистая порода. Главными составляющими являются калиевый полевой шпат и темный минерал (пироксен, биотит), кварц отсутствует или имеется в небольшом количестве. Структура сиенитов близка к гранитам и часто носит порфировидный характер. Структура сиенитов – полнокристаллическая, обычно среднезернистая. Плотность сиенитов 2700 кг/м^3, предел прочности при сжатии примерно 200 Мпа. Применяют их в строительстве аналогично гранитам.

Габбро – кристаллическая глубинная порода среднезернистой структуры, состоящая из плагиоклаза и темных минералов (пироксена, оливина, роговой обманки). Цвет – от серого до черного. Плотность колеблется в пределах 2700 – 3200 кг/м^3, а предел прочности при сжатии 200–300 МПа. Габбро пригодны для наружной отделки зданий, настилки полов, сооружения памятников.

Лабрадорит – является габбро-норитовой породой и характеризуется преобладанием кристаллов лабрадора, имеющих иногда голубую, синюю, реже золотистую иризацию. Чем больше иризирующих кристаллов в лабрадорите, тем выше свойства породы. Плотность породы в пределах

2600–2900 кг/м^3, предел прочности при сжатии 200–280 МПа. Применяется для наружных и внутренних облицовок, широко используется при сооружении памятников.

Из группы эффузивных пород чаще всего используются:

Диабаз – изверженная порода полнокристаллической структуры, состоящая из плагиоклаза и авгита. Цвет темно-серый или зеленовато-черный. Плотность 2900 – 3100 кг/м^3, предел прочности при сжатии около 220–280 МПа. Применяются для наружной отделки зданий, настилки полов, изготовления дорожной шашки, брусчатки и бортового камня.

Базальт – изверженная излившаяся порода. Состоит из плагиоклаза, авгита, оливина, магнетита. Структура неполнокристаллическая, мелкозернистая. Цвет базальта темно-серый или черный. Плотность 2800– 3000 кг/м^3, предел прочности при сжатии 100–400 МПа. Особо плотные базальты используются для облицовок в гидротехническом строительстве. Благодаря малому коэффициенту температурного расширения из базальта изготавливают мерные плиты и измерительный инструмент высшего класса. Пористые разновидности базальта хорошо обрабатываются и применяются для изготовления наружных облицовок.

Андезит – изверженная излившаяся порода неполнокристаллической структуры. Состоит из плагиоклаза и темноцветных минералов. Цвет серый и темно-серый. Плотность 2900 кг/м^3, предел прочности при сжатии 140–250 МПа. Плотные андезиты применяются преимущественно в виде плит для кислостойких облицовок.

Из группы метаморфических пород в качестве облицовочного камня наиболее широко применяются мраморы. Гораздо реже используются кальциты. Промежуточное положение между осадочными и метаморфическими карбонатными породами занимают широко использующиеся мраморированные известняки.

Мрамор – полнокристаллическая порода, состоящая из зерен кальцита и доломита. В мраморах часто присутствуют кварц, графит, гематит, лимонит, хлорит, гранат и другие минералы. Текстура может быть массивной, слоистой, полосчатой, мозаичной. Мрамор имеет самую различную окраску – от чистобелой до черной, а также розовую, голубую, желтую, зеленую и

др. Неравномерное распределение примесей вызывает полосчатую или пеструю, пятнистую окраску. Большое значение для оценки декоративных качеств мрамора имеет его просвечиваемость, т. е. способность пропускать свет на глубину. Некоторые разновидности мрамора просвечивается на глубину 3–4 см. Плотность мрамора в среднем составляет 2700 кг/м^3, предел прочности при сжатии 70–150 МПа. Мраморы хорошо пилятся, шлифуются и полируются. Широко применяются для внутренних облицовок зданий.

Кварцит – метаморфическая горная порода, образовавшая из кварцевого песчаника. Кварциты характеризуются высокой механической прочностью, кислото- и щелочеупорностью, малой пористостью. Они хорошо полируются, но их обработка ввиду высокой твердости трудна и дорога, что ограничивает их применение в качестве декоративного камня. Цвет серый, красный и малиново-красный разных оттенков, реже чисто-белый. Плотность 2000–2600 кг/м^3, предел прочности при сжатии 206–557 МПа.

Породы средней прочности охватывают широкую гамму горных пород с пределом прочности на сжатие 40–150 МПа. При разработке месторождений пород средней прочности применяется технология добычи блоков с использованием камнерезных машин. Однако в отличие от добычи низко прочных пород разработка месторождений пород средней прочности характеризуется значительно большим разнообразием применяемых средств резания камня, в которых используются рабочие органы, основанные на различных принципах направленного разрушения горных пород.

8.2. Особенности технологии разработки, требования к сырью и готовой продукции

При разработке месторождений камня с большим значением предела прочности при сжатии и при наличии включений твердых пород (кварца, диорита и др.) применяются комбинированные способы добычи блоков (рис.7.3). Помимо камнерезных машин используются средства направленного создания трещин. Таким образом, разработка месторождений пород средней прочности близка к технологии добычи прочных пород. Совершен-

ство технологии добычи блоков определяется эффективностью средств резания. В большей степени она зависит от средств проходки щелевых выработок и рациональности их использования.

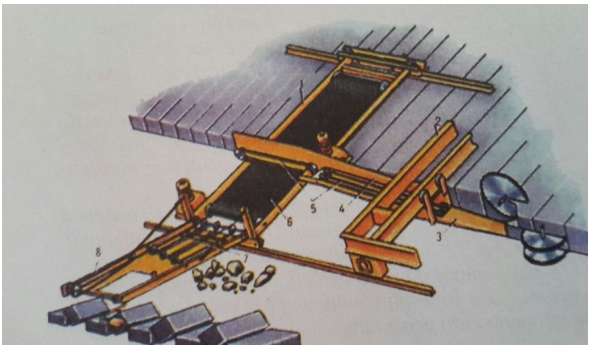


Рис.7.3. Камнеуборочная машина в забое карьера:
1 – рама камнеуборочной машины; 2,3,4 – соответственно рама, отжимной клин и направляющий борт камнерезной машины; 5 и 7 – цепные конвейеры камнеуборочной машины; 6 – ленточный конвейер; 8 – цепь поворота блоков

Технологический процесс отделения блоков от массива прочных горных пород строится на сочетании камнерезных и колочных работ. Такой подход к процессу отделения блоков сокращает объемы работ по проходке щелевых выработок, как наиболее трудоемкие, и расширяет использование средств направленного развития трещин, которые обеспечивают получение разделительных щелей при сравнительно небольших трудовых затратах.

Технология добычи блоков при этом осуществляется в две стадии. Вначале от массива отделяют монолит (крупный блок), который в последующем разделывают на блоки нужных размеров. Перед отделением монолита от массива его обнажают щелевыми выработками настолько, чтобы обеспечить естественную целостность камня и не допустить развитие трещин в массиве и отделяемом монолите. Степень обнажения и размеры отделяемого монолита определяются характером трещиноватости массива и технологическими параметрами средств для проходки

щелевых выработок, а также средств направленной колки камня и отбойки.

Буровзрывной способ отбойки. Буровзрывной способ создания разделительных трещин чаще всего используется при отделении крупных монолитов от массива. Преимуществом этого способа перед другими является не только возможность получения разделительных трещин в заданном направлении, но и способность выполнить работу по перемещению отделяемого монолита от забоя. Возможность перемещения крупных монолитов от забоя выгодно выделяет буровзрывной способ от других методов и средств отбойки. Сразу же после перемещения монолита от забоя можно проводить работы по роспуску его на блоки с применением различных средств направленной колки и грузоподъемных механизмов и машин.

При буровзрывном способе отбойка осуществляется следующим образом. По линии намеченной отбойки бурятся шпуры на всю высоту отделяемого монолита или скважины, если высота отделяемого монолита более 5 м. В шпурах (скважинах) размещается заряд. Взрыв зарядов ведется одновременно во всех шпурах. В качестве ВВ применяется черный дымный порох, обладающий метательными свойствами. При правильно выбранном расположении шпуров, ассе и конструкции зарядов дополнительного трещинообразования в массиве не происходит.

Взрывание пороховых зарядов производят с помощью огнепроводного или детонирующего шнура, капсюлями-детонаторами или специальными электровоспламенителями.

Невзрывчатые разрушающие средства. В последние годы испытываются невзрывчатые разрушающие средства (НРС), обладающие способностью при затвердевании расширяться. При заполнении этим веществом шпуров оно затвердевает и, расширяясь, создает достаточно высокую нагрузку на стенки шпура.

9. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ОБОГАЩЕНИЮ (ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ) ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

9.1. Обогащение полезных ископаемых

Обогащением полезных ископаемых называют совокупность процессов первичной обработки минерального сырья, добытого из недр, в результате которых происходит отделение полезных минералов (а при необходимости и их взаимное разделение) от пустой породы. В результате обогащения получают один или несколько продуктов, называемых *концентратами.* Так как большая часть ценного компонента переходит в один продукт (концентрат), другой продукт, получаемый в процессе обогащения и называемый *отходами*, обедняется. В отходах обогащения содержатся главным образом минералы пустой породы и незначительная доля ценных компонентов. *Промежуточным продуктом (промпродуктом)* называется продукт переработки, содержание полезного компонента в котором больше, чем в отходах, но меньше, чем в концентрате.

Полезным, или ценным, компонентом называют тот элемент или природный минерал, с целью получения которого добывается данное полезное ископаемое.

Вредными примесями называют элементы или природные соединения, присутствие которых в полезном ископаемом ухудшает его качество (например, присутствие серы и фосфора в железных рудах и коксующихся углях резко снижает их качество).

Из всего разнообразия твердых полезных ископаемых можно выделить следующие основные группы:

- *металлические* руды, служащие сырьем для получения черных, цветных, редких, драгоценных и других металлов;
- *неметаллические*, сырье для получения неметаллических элементов и соединений, строительных, абразивных и других элементов;
- *горючие полезные ископаемые* (уголь, сланцы, торф), используемые как топливо или как химическое сырье.

Технология обогащения полезного ископаемого состоит из ряда последовательных операций, осуществляемых на обогатительной фабрике. *Обогатительными фабриками* называют промышленные предприятия, на которых перерабатывают полезные ископаемые и выделяют из них один или несколько товарных продуктов с повышенным содержанием ценных компонентов и пониженным содержанием вредных примесей. Фабрики по территориальному расположению подразделяются на:

- *индивидуальные обогатительные фабрики (ОФ)*, предназначенные для обогащения полезного ископаемого, добытого на одном предприятии, и расположенные на ее территории;
- *групповые фабрики (ГОФ)*, предназначенные для обогащения полезного ископаемого группы предприятий и расположенные на территории одной из шахт;
- *центральные обогатительные фабрики (ЦОФ)*, предназначенные для обогащения полезного ископаемого группы предприятий и территориально не связанные ни с одним из них.

Процессы переработки полезных ископаемых по назначению в технологическом цикле фабрики разделяются на *подготовительные, собственно обогатительные и вспомогательные.*

9.2. Понятия об основных методах, процессах, операциях обогащения

К подготовительным операциям относят дробление, измельчение, грохочение и классификацию, а также операции усреднения полезных ископаемых, которые могут проводиться на рудниках карьерах, в шахтах и на обогатительных фабриках.

К основным обогатительным процессам относят те физические и физико-химические процессы разделения минералов, при которых полезные минералы выделяются в концентраты, а пустая порода в отходы.

К вспомогательным процессам относят процессы удаления влаги из продуктов обогащения. Такие процессы называются обезвоживанием, которое проводится с целью доведения влажности продуктов до установленных норм. К вспомогательным процессам также относят очистку сточных производственных

вод (для повторного их использования или сброса в водоемы) и процессы пылеулавливания.

При обогащении полезных ископаемых используют различия их физических и физико-химических свойств, из которых существенное значение имеют цвет, блеск, твердость, плотность, спайность, излом, магнитные, электрические и некоторые другие свойства.

Технологические результаты обогащения того или иного полезного ископаемого нельзя оценить при помощи одного какого-либо показателя. Необходимо учитывать несколько основных показателей, характеризующих процесс обогащения в целом. К основным показателям относят: *содержание компонента* в исходном сырье и продуктах обогащения; *выход* продуктов обогащения; *извлечение* компонентов в продукты обогащения.

Содержанием компонента называется отношение массы компонента к массе продукта, в котором он находится. Содержание компонентов обычно определяется химическими анализами и выражается в процентах, долях единицы или для драгоценных металлов в граммах на тонну (г/т). Содержание компонентов принято обозначать греческими буквами: α – содержание в исходной руде; β – содержание в концентрате, пром. Продукте или отходах ($\beta_к$, $\beta_{пп}$, $\beta_{отх}$ соответственно).

Выходом продукта обогащения называется отношение массы полученного продукта к массе переработанного исходного сырья. Выход выражается в процентах или долях единицы и обозначается греческой буквой γ.

Извлечением компонента в продукт обогащения называется отношение массы компонента в продукте к массе того же компонента в исходном полезном ископаемом. Извлечение выражается обычно в процентах или долях единицы и обозначается греческой буквой ε. Извлечение полезного компонента в концентрат характеризует полноту его перехода в этот продукт в процессе обогащения.

Грохочением называется процесс разделения кусковых и зернистых материалов на продукты различной крупности, называемые классами, с помощью просеивающих поверхностей с

калиброванными отверстиями (колосниковыми решетками, листовыми и проволочными решетками и др.).

Дробление и измельчение – процессы разрушения полезных ископаемых под действием внешних сил до заданной крупности, требуемого гранулометрического состава или необходимой степени вскрытия минералов. Процессы дробления и измельчения могут быть подготовительными операциями (например, на обогатительных фабриках перед обогащением полезного ископаемого) или иметь самостоятельное значение (дробильно-сортировочные фабрики, дробление и измельчение угля перед коксованием, перед пылевидным его сжиганием и т. д.).

На обогатительных фабриках для дробления различных полезных ископаемых применяют почти исключительно механические дробилки раздавливающего и раскалывающего (щековые, конусные, валковые) и ударного (молотковые, роторные, дезинтегральные) действия (рис. 9.1).

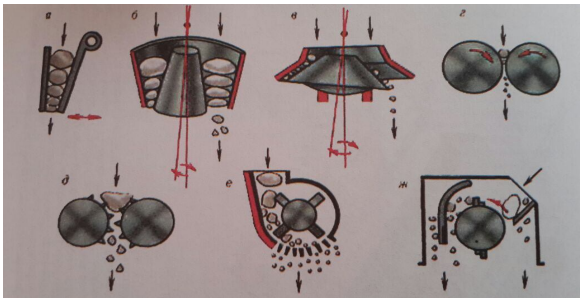


Рис. 9.1. Принципиальные схемы дробилок:
а – щековая; б – конусная крупного дробления; в – конусная среднего и мелкого дробления; г – валковая; д – валковая зубчатая; е – молотковая; ж – роторная

В щековых дробилках материал раздавливается между двумя плитами (щеками), одна из которых неподвижная, а другая подвижная (качающаяся). Щековые дробилки бывают с простым (ЩДП) и сложным (ЩДС) движением подвижной щеки (рис. 9.2).

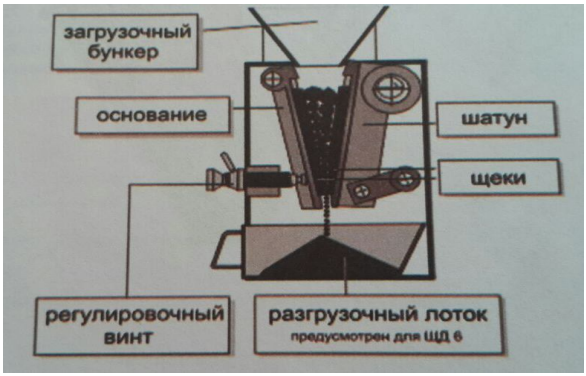


Рис.9.2. Схемы щековой дробилки ЩД 10

В дробилках ударного действия разрушение материала происходит за счет кинетической энергии движущихся тел. К ним относятся три типа дробилок: молотковые, роторные и стержневые. Дробилки ударного действия применяют для среднего и мелкого дробления мягких и средней крупности неабразивных материалов (углей, известняков, гипса, мела и т. д.) Основными преимуществами этих дробилок являются простота конструкции, большая производительность, низкая металлоемкость, высокая степень дробления и удобство обслуживания.

Гравитационными процессами обогащения называются процессы, в которых разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером или формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления. В качестве среды, в которой осуществляется гравитационное обогащение, используются при мокром обогащении вода, тяжелые суспензии или растворы, при пневматическом воздух. К *гравитационным процессам* относятся отсадка, обогащение в тяжелых средах (главным образом в минеральных суспензиях), концентрация на столах, обогащение в шлюзах, желобах, струйных концентраторах, конусных, винтовых и противоточных сепараторах, пневматическое обогащение. К гравитационным процессам также можно отнести и промывку полезных ископаемых. Гравитационные процессы обогащения отличаются, как правило, высокой

производительностью обогатительных аппаратов, простотой производственного комплекса, относительной дешевизной и высокой эффективностью разделения минеральных смесей.

Отсадкой называют процесс разделения смеси минеральных зерен по плотности в водной или воздушной среде, колеблющейся (пульсирующей) относительно разделяемой смеси в вертикальном направлении. Исходный материал вместе с водой непрерывно подается на отсадочное решето, через отверстия которого попеременно проходят восходящие и нисходящие вертикальные потоки воды. Отсадка является одним из наиболее распространенных методов гравитационного обогащения полезных ископаемых.

Флотацией называется процесс разделения тонкоизмельченных полезных ископаемых, осуществляемый в водной среде и основанный на различии их способности, естественной или искусственно создаваемой, смачиваться водой, что определяет избирательное прилипание частиц минералов к поверхности раздела двух фаз. Флотационный процесс осуществляется чаще всего в трехфазной системе, включающей твердую (Т), жидкую (Ж) и газообразную (Г) фазы.

В настоящее время флотация широко применяется для обогащения большинства руд цветных и редких металлов, апатитовых, фосфоритовых, баритовых, графитовых, флюоритовых и других руд, полевошпатового сырья и угольных шламов. Метод флотационного обогащения находит применение при обогащении железных и марганцевых руд. Широкая распространенность флотации объясняется универсальностью процесса, связанной с возможностью разделения практически любых минералов и возможностью обогащения бедных руд. Магнитные методы нашли широкое применение для обогащения руд цветных металлов, при доводке концентратов редких и цветных металлов, для регенерации сильномагнитных утяжелителей при обогащении, для удаления железных примесей из фосфоритовых руд, кварцевых песков и других материалов [14].

10. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ ОСВОЕНИЯ НЕДР

10.1. Общие закономерности формирования экологиче ских последствий освоения недр

При освоении недр Земли в интересах развития технократической цивилизации наиболее масштабным изменениям в количественном и качественном смысле подвергается литосфера, часть которой извлекается на поверхность и включается в оборот вещества и энергии вне внутренней равновесной системы самой литосферы.

Предельные масштабы такого изменения определяются способностью геофизических структур локализовать область техногенного воздействия и со временем включить эту область в эволюционный процесс окружающего ее природного объекта.

Геофизические свойства внутренней части техногенно измененных недр определяются особенностями процессов извлечения полезных ископаемых, т. е. определяются набором неизбежных действий, необходимых для осуществления целевой функции геотехнологии – изъятие и доставка на поверхность части материала литосферы, представляющего хозяйственную ценность. Здесь можно выделить три основных класса:

1) материал литосферы добывается для прямого использования (уголь, песок, глина, камень и т. д.);

2) извлекаемый материал литосферы является носителем полезного компонента (руды цветных и черных металлов) и требует переработки на поверхности;

3) полезный компонент извлекается без выдачи на поверхность материала-носителя (нефть, газ, вода, выщелачивание металлов, тепло и т. д.).

По своей физической сути используется только один метод достижения конечной цели разработки – это придание тем или иным способом избранному объему литосферы (или его части) нового свойства – подвижности.

Подвижность полезной части литосферы может быть обеспечена за счет изменения физического состояния материала пу-

тем перевода в иное агрегатное состояние (выплавление серы) или дезинтеграции (уголь, руды, стройматериалы). Подвижность полезной составляющей может быть придана также путем создания условий для ее миграций – физических (нефть, газ, вода, тепло) или химических (выщелачивание металлов на месте залегания). Для осуществления главной целевой функции добычи минерального сырья – включения части ресурсов литосферы в оборот вещества и энергии техносферы – необходимо обеспечить доступ с земной поверхности к месту залегания полезного компонента, придать этому компоненту подвижность и выдать его в этом состоянии на поверхность Земли. Таким образом, обобщенная функциональная модель техногенного изменения недр при добыче минерального сырья включает в себя три обязательных этапа:

- доступ с поверхности к месту дислокации в литосфере участка с полезными свойствами;
- придание подвижности полезному компоненту, залегающему в литосфере;
- выдача полезного компонента в подвижном состоянии на поверхность Земли.

При строительстве подземных сооружений, когда полезным компонентом является пустота (создаваемые полости), схема остается в принципе такой же, но на втором этапе подвижность придается не полезному компоненту, а материалу литосферы, заполняющему будущую полезную полость. Этот же материал выдается на поверхность на третьем этапе [15].

Таким образом, техногенное вторжение в литосферу с целью извлечения минеральных ресурсов приводит ее отдельные участки в совершенно новое состояние, причем вследствие единства материального мира эти изменения неизбежно создают прямые или косвенные последствия для всех остальных элементов экосистемы планеты Земля. Именно в таком объемном характере техногенного воздействия, активно нарушающем состояние всех ее сфер (литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы), и заключается главная особенность экологии освоения недр. С точки зрения сохранения естественной биоты Земли техногенное влияние добывающих предприятий выражается в

появлении неприродных факторов, под хроническим воздействием которых природно-равновесные экосистемы начинают изменяться в направлении предшествующих стадий сукцессии вплоть до полной их деградации. Обратная же связь, отражающая влияние биосферы на техносферу, выражается в том, что введение биологически обоснованных ограничений величины техногенных факторов определяет выбор технологических решений и через них – пути развития техносферы в целом [16].

10.2. Структура техногенного воздействия на экосистему

Процесс техногенного разрушения литосферы при получении необходимых полезных ископаемых порождает разветвленную систему разнообразных воздействий на экосистемы природно-территориальных комплексов, в пределах которых располагаются добывающие предприятия. Величина и качество этих воздействий определяются типом геотехнологии, применяемой при добыче полезного ископаемого, а экологические последствия – особенностями строения нарушаемой при этом экосистемы. Поэтому при изучении всего комплекса этих вопросов целесообразно дифференцированно рассматривать техногенные факторы как свойство той или иной геотехнологии и воздействие этих факторов – как реакцию конкретной биологической системы, попавшей под его влияние.

По причинам своего возникновения все техногенные факторы геотехнологий достаточно четко разбиваются на две большие группы:

- являющиеся прямым следствием антропогенного разрушения литосферы и формирования в ней нового литосферного объекта – техногенно измененных недр;
- зависящие от характера применяемых при техногенном изменении недр геотехнологий.

По времени существования техногенных факторов можно выделить:

- существующие только в период эксплуатации месторождения;

- существующие при эксплуатации месторождения и после ее завершения;

- появляющиеся после завершения эксплуатации месторождения.

По возможностям снижения экологической опасности реального добывающего предприятия техногенные факторы (и их воздействия) делятся на:

- устранимые за счет введения в технологию дополнительных мероприятий;

- устранимые за счет замены применяемой технологии;

- неустранимые для данного вида производства.

Вскрытие месторождения осуществляется проведением до полезного ископаемого горных выработок, открывающих доступ к нему с земной поверхности. Они называются выработками вскрытия и включают в себя шахтные стволы и штольни различного назначения, околоствольные выработки, квершлаги, капитальные рудоспуски. При проведении всех этих выработок возникающие на их контуре напряжения и деформации со временем релаксируют и не вызывают сколько-нибудь заметных изменений в окружающих природных образованиях литосферы. Развитие возмущений, вызываемых фактом формирования таких протяженных полостей, ограничивается поверхностными изменениями на контуре выработок, а вся картина перераспределения напряжений охватывает незначительную часть массива, непосредственно прилегающую к выработкам. То есть возмущения налегающей толщи горных пород носят локальный характер и по отношению к экосистемам на земной поверхности не являются экологически опасным фактором [16].

При доминирующем сегодня в горной промышленности буровзрывном способе проходки в природные экосистемы выбрасывается минеральная пыль и взрывные газы, а также откачиваются минерализованные шахтные воды. Сейсмическим воздействием вследствие малых масштабов взрывания, видимо, можно пренебречь. Весь объем пород, вынимаемых на этой стадии освоения месторождений, складируется на земной поверхности, для чего неизбежно отторгается часть территории природного комплекса.

На стадии вскрытия месторождения обычно формируется и основная инфраструктура поверхностного комплекса предприятия. Согласно действующему законодательству, получение горного отвода не дает права на использование поверхности земли. Поэтому на каждый промышленный объект выделяется земельный отвод, величина которого представляет собой часть площади экосистемы. Функциональная структура этих площадей достаточно однотипна для всех горных предприятий, а размер возрастает не прямо, но пропорционально годовой добыче горной массы.

На стадии отработки основных запасов месторождения литосфера подвергается максимальным изменениям, экологические последствия которых хотя и разнообразны, но, тем не менее, имеют достаточно хорошо выраженную внутреннюю структуру.

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

Для каждой из этих групп характерны свои, только ей присущие способы техногенного изменения свойств участков литосферы, включающих месторождения минерального сырья, и свои последствия при восстановлении равновесия в техногенно измененных участках недр после завершения процессов добычи полезных ископаемых.

К первой группе относятся технические и технологические решения, связанные с образованием полостей различной конфигурации в недрах литосферы, обладающих природной способностью противостоять возмущению исходного природного поля напряжений, вызванного образованием таких полостей. Возникающие на контуре выработок напряжения и деформации со временем релаксируют без сколько-нибудь заметного влияния на состояние окружающего массива. Время существования таких выработок очень

велико, и они не вызывают сколько-нибудь заметных изменений в окружающих их литосферных объектах [17].

Сюда относятся выработки различного назначения при подземном строительстве, очистные выработки при добыче штучного камня, каменной соли, руд черных и цветных металлов, особенно при разработке месторождений под дном морей и водоемов, когда несущие целики рассчитываются на длительную прочность с большим запасом. Этот способ выемки характеризуется низким (около 30–40 %) извлечением полезного ископаемого; основная масса запасов месторождения при этом сосредоточена в целиках.

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

В результате по мере отработки месторождения происходит заполнение выработанного 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, а после ее завершения происходит постепенное затухание необратимых деформаций во вмещающих породах и уплотнение обрушенных пород внутри мульды сдвижения.

При выемке пластовых месторождений формирование мульды сдвижения и ее параметров происходит аналогичным образом.

В целом техногенное вторжение такого рода может рассматриваться как объем определенных размеров, изменение которого сопровождается необратимыми процессами в ближней зоне и последующим уплотнением этой зоны за счет развития процессов неупругого расширения (разрушения) пород вглубь массива. Границы зоны техногенного изменения пород литосферы при этом определяются условием достижения равновесия между величиной реакции бокового распора нетронутого массива и отпором, создаваемым обрушенными и уплотненными породами зоны обрушения. При выходе этих нарушений на земную поверхность происходит ее деформация (вплоть до полного разрушения) со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями.

Третья группа технологий разработки месторождений минерального сырья связана с процессом заполнения выработанного пространства по мере выемки полезного ископаемого искусственно получаемым материалом с определенными прочностными и деформационными свойствами. Иногда для уменьшения величины деформаций налегающей толщи пород и сокращения затрат на создание искусственного материала с необходимыми прочностными и деформационными свойствами в выработанном пространстве оставляются регулярные вертикальные целики, работающие за пределом прочности. Будучи размещенными в массиве закладки, они выполняют своеобразную роль арматуры, изменяя деформационные свойства материала, заполняющего выработанное пространство.

Аналогичным образом происходит и деформирование вмещающих пород при разработке нефтяных и газовых месторождений, когда по мере выработки нефти и газа снижается противодействие давлению налегающих пород, и они оседают над продуктивной толщей плавно на величину, соизмеримую с объемом выработанной нефти или газа.

Таким образом, в третьей группе технологий техногенное вторжение в литосферу характеризуется тем, что изъятый объем материала литосферы замещается техногенным материалом с известными (заданными) прочностными и деформационными свойствами, которые определяют масштабы переходной зоны,

формирующей вместе с изъятым объемом материала техногенно измененные недра как новый литосферный объект. По характеру релаксационных процессов и экологическим последствиям эта группа занимает промежуточное положение между двумя описанными выше.

В результате использования наиболее распространенных способов антропогенного вторжения в литосферу с целью извлечения минеральных ресурсов большие ее участки переходят в новое качественное состояние. Возникают обширные зоны деформации, затрагивающие подрабатываемые массивы горных пород вплоть до земной поверхности. Развитие этих процессов активно нарушает равновесие элементов гидросферы Земли за счет изменения режима обращения подземных и поверхностных вод, а также их загрязнения и засорения.

Полное или частичное нарушение водоупорных оснований горизонтов глубинных вод, попавших в зоны обрушения, разломов и активных трещин, приводит к интенсивному дренажу подземных вод в горные выработки. Реакция геотехнологии на это физическое явление выражается в создании системы активного водоотлива. Интенсивное удаление подземных вод из зоны горных работ приводит к понижению их свободной или напорной поверхности и формированию обширной воронки депрессии, охватывающей всю толщу налегающих пород до земной поверхности, а также к загрязнению поверхностных водотоков.

Описанные выше изменения состояния налегающей толщи пород и связанное с этим нарушение водоупорных оснований пластов не только изменяет схему и баланс обращения подземных вод, но и является, по сути, первопричиной появления еще одного экологически значимого фактора горного производства – сброса на земную поверхность откачиваемых из подземных выработок шахтных вод.

В схематическом виде общая структура формирования типовых техногенных факторов при подземном освоении недр приведена на рис. 10.1.

Площадь, занимаемая твердыми отходами производства при подземной разработке месторождений, зависит не только от применяемой геотехнологии, но и от геологического типа ме-

сторождения, масштаба производства и характера использования добытого полезного ископаемого.

Особенностью экологических последствий развития горного производства является то, что некоторые техногенные экологические факторы, возникающие в результате техногенного изменения недр или как следствие применяемых при этом технологий, не только нарушают состояние экосистемы, но и сами по себе становятся причиной появления вторичных техногенных экологических факторов, характер и интенсивность влияния которых на природные объекты зависят уже не от геотехнологии, применяемой при выемке запасов, а от внутренних свойств и особенностей первичного техногенного фактора.

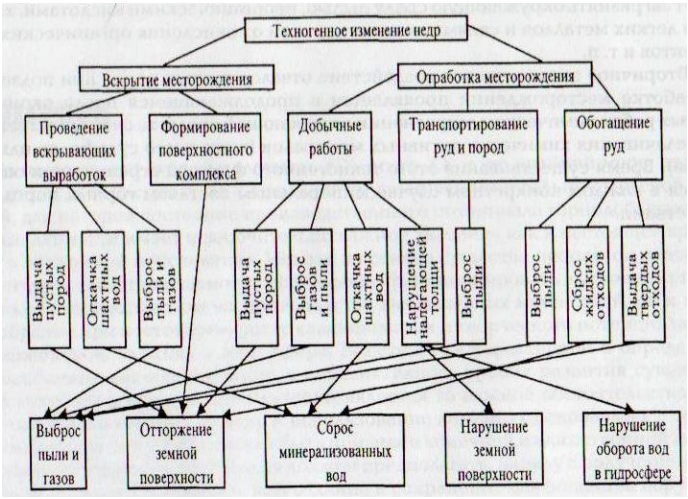


Рис. 10.1.Структура техногенных экологических факторов при подземном освоении недр

Очень важно, что действие большинства вторичных факторов продолжается и после завершения разработки месторождения. Наиболее развитая система вторичных факторов появляется в связи с отторжением земной поверхности в различных целях (рис. 10.2).

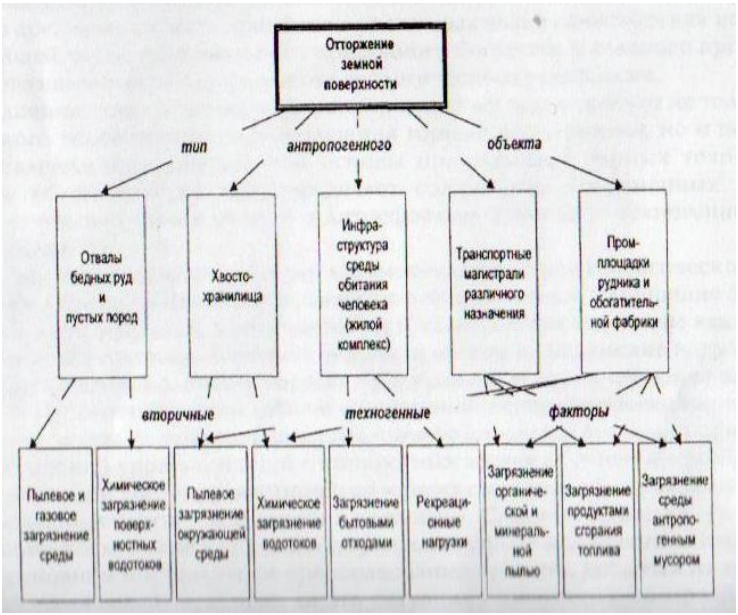


Рис. 10.2. Структура вторичных техногенных экологических факторов

При складировании на этих участках твердых отходов (отвалы пустых пород и бедных руд, а также хвостохранилища обогатительных фабрик) вследствие физико-химических изменений состояния материала отвалов под влиянием природных воздействий (осадки, перепады температур, окисление и т. д.) эти отвалы могут загрязнять окружающую среду пылью, неорганическими кислотами, хлоридами легких металлов и солями тяжелых, газами от окисления органических компонентов и т. п.

Вторичное экологическое воздействие отвалов пустых пород при подземной разработке месторождений проявляется в продолжающемся после окончания горных работ химическом загрязнении окружающей среды за счет естественного выщелачивания химически активных минералов (чаще всего сульфидов или хлоридов). Время существования этого техногенного фактора ограничено и определяется в каждом конкретном случае минеральным составом горных пород и их свойствами [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состояние производственного потенциала горнодобывающей промышленности имеет исключительно важное значение как в настоящее время, так и будущей перспективе. Исходя из самого существа процессов освоения недр, горные предприятия могут эффективно функционировать в условиях рынка не только при постоянном воспроизводстве выбывающих мощностей, но и главным образом при постоянном росте квалификации и творческого потенциала горных инженеров, занятых в этой сфере. Вместе с тем характерной и определяющей особенностью современного и перспективного уровня развития существующей техно-практической цивилизации является то важное обстоятельство, что само извлечение из недр и использование полезных ископаемых с заданными показателями уже не может быть признано конечной и единственной целью их освоения. Этот процесс должен предполагать, наряду с получением минерального сырья, постоянное воссоздание и сохранение для общества нарушенных участков недр как объектов, ценных в хозяйственном, экологическом, научном отношении. То есть освоение недр всегда должно предполагать их сохранение в указанных выше качествах как источника важнейшей части национального природного богатства и главного природо-образующего компонента в соблюдении экологического равновесия.

Выполнение этих сложных задач требует не только периодического технического переоснащения горных предприятий, но и постоянного обновления интеллектуальной основы применяемых горных технологий. Последнее обстоятельство предопределяет содержание современных горных наук как источника новых знаний о литосферном объекте – техногенно измененных недрах.

Эксплуатация и сохранение недр взаимосвязаны общей геологической основой, а также технологически, экономически и экологически. Нарушение этой целостности всегда приводит к необратимым и тяжелым последствиям как для хозяйства, так и для природы. Соответственно, освоение и сохранение недр предполагает многофункциональность горных предприятий и очень сложную внутреннюю структуру геотехнологий добычи и пер-

вичной переработки полезного ископаемого. Это означает, что квалификация горного инженера должна предполагать не только высокий уровень знаний о конкретных вопросах горного производства и горных наук, но и широкую эрудицию во многих смежных областях знаний (особенно в области геологии, экономики и экологии). Следует гордиться, что даже в компьютерно-космический век вся материальная сфера и энергетика нашего общества в основном построены на преобразовании веществ, добытых из литосферы горными инженерами. И вряд ли эта ситуация изменится в обозримом будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сейдалы А. С., Лазарева Е. А., Семилетова И. А.* Современное состояние угольной, горнодобывающей и металлургической промышленности Казахстана: Аналит. обзор. –Алматы: КазгосИНТИ, 2000.

2. *Студенцов В. В., Клец А. Н.* Горно-металлургический комплекс Республики Казахстан: анализ, запасы, технологии. – Алматы: 1997.

3. *Ребрик Б.М.* У колыбели геологии и горного дела. – М.:Геоинформмарк, 2000. –181 с.

4. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли */ Под ред. К.Н. Трубецкого.* –М.: АГН, 1997. –478 с.

5. *Борисов С. С., Клонов М. П., Горновой Б. А.* Горное дело. –М.: Недра, 2000. – 358 с.

6. *Мельников Н.В. и др.* Горное дело (терминологический словарь). –М.:
Недра, 1974. – 527 с.

7. *Городниченко В. И., Дмитриев А. П.* Основы горного дела. –М.: 2008. –484с.

8. *Кузьмин Е. В., Хайрутдинов М. М., Зенько Д.К.* Основы горного дела
–М.: ООО "АртПРИНТ+" 2007. –472с.

9. *Агошков М. И, Борисов С .С., Боярский М. А.* Разработка рудных и нерудных месторождений. –М.: Недра, 1983. –418 с.

10. *Ракишев Б. Р.* Технологические комплексы открытых горных работ: Учеб. пособие. –Алматы: КазНТУ, 2012. – 340 с.

11. *Егоров П. В., Бобер Е. А., Кузнецов Ю. Н. и др.* Основы горного дела. –М.: МГТУ, 2003. – 405 с.

12. *Воронин Д. А.* Основы горного дела. –М.: Недра, 1970. –195 с.

13. *Некрасовский Я. Э., Колоколов О. В.* Основы технологии горного производства. –М.: Недра, 1981. –201 с.

14. *Агошков М. И, Борисов С .С., Боярский М. А.* Разработка рудных и нерудных месторождений. –М.: Недра, 1983. –418с.

15. *Некрасовский Я. Э., Колоколов О. В.* Основы технологии горного производства. –М.: Недра, 1981. –201 с.

16. *Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е.* Электрохимия сульфидов: теория и практика флотации. –М.: Наука, 1993. –206 с.

17. *Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. и др.* Структура техногенно измененных недр при их освоении // Вестник РАН. 2002. № 11. Т. 72. –С. 969–973.

18. *Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Бурцев Л. И.* Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. –М.: Научтехлитиздат, 2003. – 262 с.

19. *Егоров П. В., Бобер Е. А.* и др. Основы горного дела. –М.: 2006. – 408 с.

ГЛОССАРИЙ

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

Горное предприятие – самостоятельная производственная единица, осуществляемая эксплуатационную разведку, добычу, и обогащение полезных ископаемых.

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.

Карьер – горное предприятие, осуществляющее добычу полезных ископаемых открытым способом.

Разрез – это карьер по добыче угля.

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

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

Производительность горных предприятий, называемая также производственной мощностью, исчисляется в тоннах полезного ископаемого, добываемого в течение года.

Горный отвод – часть недр, предоставленная организации или предприятию для промышленной разработки содержащихся в ней залежей полезных ископаемых.

Разработка месторождения – комплекс работ по вскрытию, подготовке и очистной выемке.

Земельный отвод – участок земельной площади, предоставленный в пользование предприятию или организации с определенным целевым назначением.

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 нецелессообразно при современном уровне техники и технологии добычи (малое количество, малая мощность, высокая зольность, сложность залегания и пр.).

Промышленные запасы – часть балансовых запасов, подлежащая извлечению и выдаче на поверхность.

Потери – часть балансовых запасов, остающаяся в недрах при их разработке.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1.	**Добывающая промышленность и развитие горной техники и технологии**	8
1.1.	История становления горного дела	8
1.2.	Этапы развития горной техники и технологии	9
1.3.	Основные представления о комплексном освоении недр	22
2.	**Общие представления об источниках минеральных ресурсов**	25
2.1.	Строение земной коры	25
2.2.	Сведения о горных породах	27
2.3.	Основные сведения о способах разработки полезных ископаемых	30
3.	**Технические системы освоения месторождений полезных ископаемых**	37
3.1.	Формы и элементы залегания полезных ископаемых, классификация, деление их по мощности и углу падения	37
3.2.	Способы разработки месторождений полезных ископаемых	44
3.3.	Горные выработки – назначение и способы проведения	48
4.	**Основы разрушения массивов горных пород**	56
4.1.	Общие положения	56
4.2.	Физико-механические свойства горных пород	57
4.3.	Разрушение горных пород взрывом	58
5.	**Основные сведения о горных работах при открытом. Способе добычи полезных ископаемых**	66
5.1.	Сущность и содержание открытых горных работ	66
5.2.	Элементы и параметры уступа	67
5.3.	Периоды открытых горных работ	72

5.4.	Технологические процессы открытых горных работ	82
5.5.	Подготовка горных пород к выемке	84
5.6.	Выемочно-погрузочные работы	88
5.7.	Транспортные работы	91
5.8.	Отвалообразование	94
5.9.	Восстановление и использование нарушенных открытыми горными работами территорий	101
5.10.	Системы открытых разработок месторождений	102
6.	**Разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом**	108
6.1.	Пластовые месторождения	108
6.2.	Понятие о шахтном поле	109
6.3.	Этапы разработки шахтных полей	114
6.4.	Общие сведения о системах вскрытия и подготовки шахтных полей	115
6.5.	Подготовка запасов к очистной выемке	121
6.6.	Подготовка выемочных полей	122
6.7.	Очистные работы	125
6.8.	Механизированная выемка в длинных очистных забоях	127
6.9.	Доставка в очистных забоях	130
6.10.	Горное давление	132
6.11.	Управление горным давлением и крепь очистных выработок	133
6.12.	Технология и организация очистных работ	136
6.13.	Системы разработки угольных пластов и их классификация	138
6.14.	Подземная разработка рудных месторождений	143
6.15.	Стадии разработки рудных месторождений	149
6.16.	Особенности вскрытия рудных месторождений	151
6.17.	Штольневое вскрытие	154
6.18.	Вскрытие вертикальными стволами	156

6.19.	Вскрытие наклонными стволами	158
6.20.	Комбинированные способы вскрытия	159
6.21.	Околоствольные выработки	161
6.22.	Выбор места заложения ствола	163
6.23.	Технологическая схема рудника	167
6.24.	Подготовка рудных месторождений	169
6.25.	Очистные работы	171
7.	**Подводная разработка руд**	187
7.1.	Сущность технологии	187
7.2.	Схемы разработки	189
7.3.	Технология добычи строительных материалов	191
8.	**Разработка месторождений строительных горных пород**	197
8.1.	Виды строительных горных пород и их свойства	197
8.2.	Особенности технологии разработки, требования к сырью готовой продукции	200
9.	**Основные сведения по обогащению (первичной переработки) полезных ископаемых**	203
9.1.	Обогащение полезных ископаемых	203
9.2.	Понятия об основных методах, процессах, операциях обогащения	204
10.	**Общие сведения об экологических проблемах освоения недр**	209
10.1.	Общие закономерности формирования экологических последствий освоения недр	209
10.2.	Структура техногенного воздействия на экосистему	211
	Заключение	219
	Библиографический список	221
	Глоссарий	223

Учебное издание

Гульнара Мейрамова Юсупова
Найля Мейрамовна Макажанова

ОСНОВЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

Нач. РО ИИЦ *З. А. Губайдуллина*
Редактор *Г. М. Дюсенбаева*
Компьютерная верстка *С.Е. Орысбекова*

Подписано в печать 28.12. 2016 г.
Тираж 300 экз. Формат 60x84 1/16. Бумага типогр. № 1.
Уч.изд. л. 14. Усл.п.л. 13. Заказ № 768. Цена договорная

Издание Казахского национального исследовательского
технического университета им. К. И. Сатпаева
Департамент по связям с общественностью КазНИТУ
г. Алматы, Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-002-3

