МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева

А. Н. Дауренбекова
А. Кожантов

ОСНОВЫ ГОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рекомендовано Учебно-методическим советом университета
в качестве учебного пособия

Алматы 2017

УДК 622
ББК 33.12
Д 21

Рецензенты:
Буктуков Н. С.,д-р техн. наук, проф., дир. ИГД им. Д. А. Кунаева,
Букейханов Д. Г., д-р техн. наук, проф., зав. лаб. ИГД им. Д. А. Кунаева

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2017 г.

Дауренбекова А. Н.
Д21 Основы горной технологии: Учеб. Пособие / А. Н. Дауренбекова, А. Кожантов. – Алматы: КазНИТУ имени К. И. Сатпаесва, 2017. –174 с.: Ил. 73. Табл. 10. Библиогр. – 21 назв.

ISBN 978-601-323-073-3

В настоящем учебном пособии излагаются вопросы горного дела применительно к подземной и открытой, гидромеханизированной и подводной, скважинной и комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых. В нем излагаются общие сведения о разработке месторождений полезных ископаемых, видах горных предприятий, видах продукции горных предприятий и основных ее потребителях, элементах залегания месторождений полезных ископаемых, горных выработках, процессах и технологиях горного производства.

Учебное пособие «Основы горной технологии» написано в соответствии с типовым и рабочим учебными планами для специальности 5В070700 «Горное дело», отвечает всем требованиям Государственного общеобязательного стандарта образования Республики Казахстан, квалификационной характеристике и уровню подготовки специалистов данного профиля. Материал дисциплины «Основы горной технологии» изложен в логической последовательности изучаемого предмета.

Учебное пособие может быть использовано студентами других специальностей, а также инженерно-техническими работниками горных предприятий.

ISBN 978-601-323-073-3
© Дауренбекова А. Н., Кожантов А. 2017
© КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Горное дело – это область деятельности человека, включающая в себя горную науку и горное производство, охватывающая всю совокупность способов разведки месторождений полезных ископаемых, строительства и эксплуатации горнодобывающих предприятий, с целью освоения природных ресурсов недр Земли.

Дисциплина «Основы горной технологии» является одной из первых дисциплин, формирующих профиль подготовки специалистов по направлению «Горное дело». Задачей ее изучения является получение знаний об основных принципах добычи различных полезных ископаемых подземным, открытым, геотехнологическим и другими способами.

Изучение дисциплины позволит студенту освоить терминологию и получить представление о перспективах развития горной промышленности, основных горнодобывающих предприятиях, видах продукции горных предприятий и основных ее потребителях, элементах залегания месторождений полезных ископаемых, горных выработках, видах горных предприятий, процессах и технологиях горного производства, выполнять простые расчеты параметров горных работ (размеры поперечного сечения горных выработок, рабочих площадок уступов карьеров, расход ВВ, показатели извлечения минерального сырья и др.).

Изучение дисциплины базируется на знаниях разделов общетеоретических и общетехнических дисциплин. Основными из них являются: геология, история горного дела, начертательная геометрия, экология и др.

Изучение курса «Основы горной технологии» позволяет ознакомиться студентам с горным производством и предшествует последующему изучению дисциплин специальности и практической работе.

ВВЕДЕНИЕ

Полезные ископаемые, располагающиеся в земной коре в пределах территории страны, образуют ее минерально-сырьевую базу. Эти природные ресурсы называют богатством недр государства.

Казахстан обладает огромными запасами минерального сырья и входит по этому показателю в пятерку ведущих стран мира. Среди 186 стран мира Казахстан по запасам вольфрама, свинца и бария занимает первое место, хромита, серебра и цинка – второе, марганца и молибдена – третье, меди – четвертое, урана – пятое, золото - шестое, железной руды – седьмое, олова и никеля – восьмое, угля и природного газа – девятое, нефти – тринадцатое.

В недрах Казахстана сосредоточена одна треть мировых запасов хромита, одна четвертая – урана и марганца, одна десятая железной руды. Огромны запасы топливно-энергетических ресурсов. Имеются достаточно крупные месторождения фосфоритов, асбеста, редких металлов, солей, сырья для производства строительных материалов.

Добычу полезных ископаемых обеспечивают горнодобывающие отрасли промышленности, перспективы развития которых зависят прежде всего от состояния природных ресурсов. Их освоение играет важнейшую роль в развитии экономики страны.

Для горнодобывающей промышленности характерны:

- непосредственное влияние на окружающую среду, что обусловливает ряд экологических проблем при освоении месторождений полезных ископаемых;
- постоянное перемещение рабочего места, что предъявляет особые требования к средствам механизации и автоматизации производственных процессов;
- постоянное увеличение глубины горных работ, что обусловливает ухудшение горно-геологических условий разработки, возможность возникновения газодинамических явлений. Все это создало предпосылки к снижению комфортности и повышению опасности труда.

Добыча твердых полезных ископаемых включает следующие стадии: вскрытие и подготовку месторождений, очистную выемку. Они предполагают выполнение ряда технологических процессов, необходимых для добычи полезного ископаемого: проведение и крепление горных выработок, очистные работы, транспортирование и подъем полезных ископаемых, проветривание горных выработок и водоотлив и т. д. Знание стадий и процессов и их взаимоувязки является необходимым условием эффективной разработки месторождений полезных ископаемых.

В настоящем учебном пособии излагаются вопросы горного дела применительно к подземной и открытой, гидромеханизированной и подводной, скважинной и комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых. В нем в сжатой форме излагаются общие сведения о разработке месторождений полезных ископаемых, представляющей собой сложный и специфический технологический процесс.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ РАБОТАХ

1.1. Месторождения полезных ископаемых и элементы их залегания

Земная кора, или литосфера – это каменная оболочка земли толщиной 15÷70 км, которая сверху ограничена гидросферой и атмосферой, а снизу – так называемой мантией. Земная кора состоит из горных пород. Они подразделяются на коренные и наносные.

Коренные породы – это породы, залегающие на месте первоначального образования и не подвергавшиеся разрушению. *Наносы* – это рыхлые осадочные породы, которые образовались в результате разрушения коренных пород. Разрушение коренных пород происходило вследствие выветривания, размыва водой и т. п. Коренные породы по происхождению делят на изверженные (магматические), осадочные и метаморфические (видоизмененные).

Изверженные, или магматические породы образовались в результате охлаждения и затвердевания магмы. К изверженным породам относятся гранит, сиенит, диорит, габбро, диабаз, базальт и др.

Осадочные породы образуются вследствие отложения минеральных и органических частиц на дне рек, озер и морей. Минеральные осадки получаются при растворении или разрушении водой и солнцем изверженных или образовавшихся ранее других осадочных пород. Органические осадки возникают вследствие накопления на дне остатков различных организмов (например, моллюсков). К ним относятся уголь, аргиллит, алевролит, песчаник, известняк, глина и др.

Метаморфические породы образовались из магматических или осадочных пород, претерпевших изменение (метаморфизм) в недрах земли под влиянием температуры и давления. Характерными представителями метаморфических пород являются кварциты, мрамор. Верхняя часть земной коры, доступная непосредственному изучению (до глубины 16÷20 км), сложена преимущественно изверженными породами (95 %). Метаморфические породы составляют 4 %, осадочные – 1 %.

Устойчивые агрегаты одного или нескольких минералов, образующие самостоятельные геологические тела, называют *горными породами* (песчаник, кварцит, гранит, мрамор, кварцит железистый, известняк, базальт и др.). Горные породы имеют более или менее однородный состав и строение.

Минералами называются природные химические соединения (реже самородные элементы), являющиеся естественными продуктами различных физико-химических процессов, протекавших в земной коре или на ее поверхности.

Горные породы и минералы, которые могут быть использованы в естественном виде или после соответствующей переработки, называются *полезными ископаемыми*. Полезные ископаемые бывают: горючие (энергоносители) и негорючие (руды). В природе они встречаются в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Полезные ископаемые в виде минералов и горных пород относятся к твердым полезным ископаемым; жидкости и газы, заполняющие естественные полости в горных породах, – к жидким и газообразным. К твердым полезным ископаемым относятся уголь, руды черных и цветных металлов, драгоценные камни, соли, строительные горные породы (доломиты, пески, глины, кварциты, граниты и др.). Жидкими полезными ископаемыми являются нефть, рассолы, воды; к газообразным полезным ископаемым относят природные газы: метан, этан, пропан.

Горные породы, не являющееся объектом извлечения полезных компонентов при разработке месторождений (или минеральное соединение, не содержащее полезных компонентов или содержащее их слишком мало для рентабельной переработки), называются *пустыми породами*.

Разделение всех горных пород на полезные ископаемые и пустые породы является условным. В зависимости от потребности народного хозяйства в минеральном сырье, технологии его добычи и переработки на горном предприятии одни и те же горные породы могут быть и полезными ископаемыми, и пустыми породами. Кроме этого, извлеченные из недр и уложенные в отвалы пустые породы могут со временем, по мере развития технологии переработки, перейти в категорию полезных ископаемых.

Горной массой называют всю выданную на поверхность руду и породу как в смешанном виде, так и раздельно. Сюда же входит и порода, полученная при проведении горных выработок.

Естественное местное скопление полезного ископаемого в толще земной коры в объемах и концентрации, достаточных для рентабельной разработки, называется *месторождением полезного ископаемого*. По виду полезного ископаемого различают месторождения:

а) твердого минерального топлива: угля, торфа, горючих сланцев;

б) рудные: железных, марганцевых, медных, свинцовых, урановых и других руд;

в) нерудные: фосфоритов, апатитов, солей, различных строительных пород;

г) прочие: драгоценных камней и др.

Форма залегания месторождений полезных ископаемых обусловлена условиями их образования и может быть правильной и неправильной.

Для магматических и частично метаморфических месторождений полезных ископаемых характерны главным образом неправильные формы залегания, т. е. залежи в виде жил, прожилков, гнезд, штоков, линз и куполов (рис. 1.1).

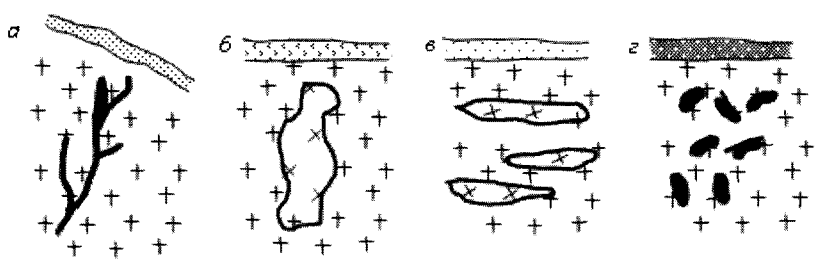


Рис. 1.1. Формы залегания рудных тел:
а – жила; б – шток; в – линзы; г – гнезда

Для осадочных, в первую очередь и частично для метаморфических месторождений полезных ископаемых,

характерны правильные формы залегания в виде пластов и пластообразных залежей (рис. 1.2).

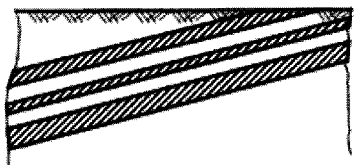


Рис. 1.2. Свита пластов

Пространственное положение месторождений полезных ископаемых определяется их элементами залегания – *простиранием и падением.*

Пластом называется плитообразная залежь, имеющая значительное распространение в земной коре и ограниченная двумя более или менее параллельными плоскостями. Весьма тонкие пласты, не разрабатываемые вследствие малой мощности (до 0,4 м), называются *прослойками*. 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.*

Простирание пласта – протяжение его в направлении линии простирания, представляющей собой линию пересечении пласта с горизонтальной плоскостью (рис. 1.3).

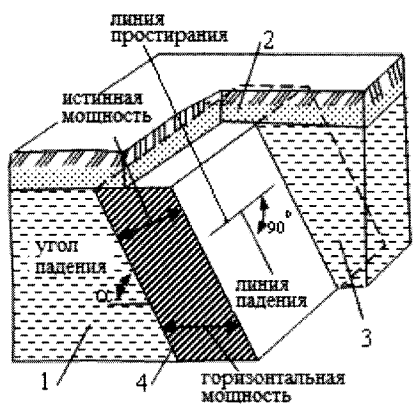


Рис. 1.3. Элементы залегания рудного тела: *1, 3 – вмещающие породы соответственно лежачего и висячего боков; 2 – покрывающие породы; 4 – руда*

Падением пласта называется его протяжение по линии падения, под которой понимается линия, лежащая в плоскости пласта и перпендикулярная линии простирания. *Угол падения пласта* – угол между линией падения пласта и горизонтальной плоскостью. Угол падения измеряется в градусах.

Пласты, жилы и подобные им геологические тела залегают под различными углами падения.

Угол падения угольных пластов и рудных тел влияет на выбор технологии горных работ, способы добычи, доставки и транспортирования полезных ископаемых.

Пласты и рудные тела имеют различную толщину, называемую *мощностью*. Различают мощность *истинную*, т. е. измеренную по нормали между почвой и кровлей залежи, а также горизонтальную и вертикальную. Поскольку в пределах залежи полезного ископаемого мощность ее, как правило, изменяется, поэтому на практике употребляют термин «*средняя мощность*».

Таблица 1.1

Классификация залежей полезных ископаемых по углу падения

Тип пласта (залежи) по углу падения	Угол падения, градус		
	угольных пластов		рудных месторождений
	при подземной разработке	при открытой разработке	
Горизонтальным	–	0	0
Пологий	0–18	До 10	До 25
Наклонный	19–35	10–30	25–45
Крутонаклонный	36–55	–	–
Крутой	> 56	> 30	> 45

В зависимости от мощности различают:

- пласты и пластообразные залежи:

– весьма тонкие – мощность менее 0,5 м;
– тонкие – мощность от 0,5 до 1,3 м;
– средней мощности – от 1,3 до 3,5 м;
– мощные – мощность более 3,5 м;

- рудные залежи при подземной разработке:

– весьма тонкие – мощность менее 0,7 м;

– тонкие – мощность от 0,7 до 2 м;
– средней мощности – от 2 до 5 м;
– мощные – мощность от 5 до 15 м;
– весьма мощные – мощность более 15 м;

• рудные залежи при открытой разработке:

– тонкие — мощность до 2–3 м;
– малой мощности – до 10–20 м;
– средней мощности – 20–30 м;
– большой мощности – более 30 м.

Разделение месторождений полезных ископаемых по мощности связано с выбором технологии горных работ и применяемых технических средств, с возможностью обеспечения комфортных и безопасных условий труда.

Глубина залегания – расстояние по нормали от земной поверхности до верхней границы рудного тела.

Глубина распространения – расстояние по нормали от земной поверхности до нижней границы рудного тела.

В результате подвижек земной коры появляются различные ***нарушения*** первоначального залегания горных пород. Различают нарушения с разрывом сплошности – *разрывные* и нарушения без разрыва сплошности горных пород – *складчатые*. Основным элементом разрывного нарушения горных пород являются *трещины*.

Любые геологические нарушения залегания месторождений полезных ископаемых обычно осложняют их разработку.

1.2. Запасы и извлечение полезных ископаемых

Прежде чем приступить к разработке месторождения полезного ископаемого, необходимо определить его местонахождение и технологическую возможность, экономическую целесообразность разработки. Для решения этой задачи проводят геологоразведочные работы.

Разведкой называют комплекс работ по определению основных элементов залегания полезного ископаемого, его качества и количества.

По стадии проведения, степени детальности на полноту изучения месторождения разведка делится на *предварительную,*

детальную и *эксплуатационную,* причем последняя выполняется в процессе разработки месторождения полезного ископаемого.

Геологоразведочные работы осуществляют путем проведения различных горных выработок (скважин, канав, шурфов, штолен и др.) и геофизическими методами. Разведка месторождений сопровождается *подсчетом запасов полезных ископаемых.*

В зависимости от степени разведанности условий залегания месторождения или его части, изученности качества минерального сырья запасы разделяют на категории А, В, C_1, C_2.

К категории А относят запасы, по которым полностью закончены геологоразведочные работы на рассматриваемой территории, полностью выявлены условия залегания полезного ископаемого, его природные типы и сорта, их соотношения и пространственное положение, технологические свойства.

К категории В относят запасы с выявленными основными особенностями условий залегания, природными типами и промышленными сортами полезного ископаемого без точного установления пространственного положения каждого типа, с выясненными основными технологическими свойствами полезного ископаемого и главными природными факторами, определяющими условия ведения горно-эксплуатационных работ.

К категории C_1 относят запасы, примыкающие к контурам запасов категорий А и В. Для них изучены в общих чертах условия залегания, природные типы, качество, технологические свойства и другие факторы, определяющие постановку детальных разведочных и исследовательских работ.

К категории C_2 относят запасы с условиями залегания и распространения полезного ископаемого, определенными по геологическим и геофизическим данным и подтвержденными посредством вскрытия месторождения полезного ископаемого в отдельных его точках или по аналогии с изученными участками месторождения.

Запасы, установленные на основе общих геологических представлений, называют ***прогнозными запасами.***

Все подсчитанные запасы, которые включают общее количество полезных ископаемых, выявленных при разведке месторождения, называют *геологическими.* Запасы, использование которых экономически целесообразно и удовлетворяет кондициям, установленным для их подсчета, называют ***балансовыми.*** Запасы полезных ископаемых, извлечение которых при современном состоянии технологии добычи и переработки нецелесообразно, называют *забалансовыми.* При проектировании горных предприятий определяют *промышленные запасы,* представляющие собой количество полезного ископаемого, которое может быть добыто из разведанного месторождения. Разница между балансовыми и промышленными запасами представляет собой планируемые *потери полезного ископаемого*.

Основные источники потерь:

а) часть полезного ископаемого, оставляемая в недрах в виде целиков для поддержания горных выработок или вышележащих породных массивов;

б) часть полезного ископаемого, остающаяся у его контактов с вмещающими породами в местах изменения элементов залегания;

в) часть полезного ископаемого, остающаяся на почве горных выработок, в отбитой пустой породе и т. п.

Кроме количественных, имеют место качественные потери, вызываемые изменением состава, например, вследствие попадания в полезное ископаемое пустых пород при добыче, доставке и транспортировке.

Потерю качества добываемых руд вследствие попадания в них пустых пород называют *разубоживанием*. Попадание в уголь пустых пород снижает его качество из-за повышающейся при этом зольности.

Потери полезных ископаемых в недрах в зависимости от сложности месторождений могут изменяться от 10 до 40 % и более от балансовых запасов. Увеличение потерь полезных ископаемых приводит к нерациональному использованию недр и минерального сырья, уменьшение потерь – к повышению затрат на разработку месторождений, поэтому при проектировании предприятий устанавливается величина допустимых потерь.

1.3. Горные предприятия и виды их продукции

Промышленное предприятие, предназначенное для разведки или разработки месторождения полезных ископаемых, называют ***горным предприятием.*** Предприятие, выполняющее не только добычу, но и обогащение полезных ископаемых называют *горнообогатительным.*

Горные предприятия, осуществляющие подземную разработку месторождений полезных ископаемых, называют *шахтами* и *рудниками.*

Понятие *«шахта»* как самостоятельная производственно-хозяйственная единица включает в себя наземные сооружения и совокупность подземных горных выработок.

Рудник может состоять из одной или нескольких шахт, обогатительной фабрики и других цехов, объединенных административным управлением.

Горные предприятия, осуществляющие разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом, называют *карьерами* или *разрезами.*

Горные предприятия, разрабатывающие россыпные месторождения, называют *приисками,* а также *шахтами, разрезами* и *карьерами.*

Месторождение или его часть, предназначенная для разработки одним горным предприятием, называют в зависимости от способа разработки *шахтным* или *карьерным полем.*

Границами шахтных или карьерных полей являются условные поверхности, ограничивающие их по простиранию и по падению. Размеры шахтных и карьерных полей определяются на основании технико-экономических расчетов. При разработке угольных месторождений длина шахтного поля по простиранию составляет от 6 до 20 км, по падению – от *2*до 6 км.

Производительность горных предприятий, называемая также производственной мощностью, исчисляется тоннами полезного ископаемого, добываемого в течение года. Производственная мощность рудников и шахт составляет от десятков-тысяч до миллионов тонн полезного ископаемого.

Производственная мощность карьеров, разрабатывающих месторождения редкометаллических руд, строительных пород, может составлять сотни тысяч тонн в год, а разрабатывающих угольные и железорудные месторождения, – до десятков миллионов тонн в год. Продолжительность существования горных предприятий составляет от 5 до 50 лет и более.

Добываемые горными предприятиями основные виды твердых полезных ископаемых разделяются по химическому составу и направлению использования: *металлические, неметаллические и горючие.*

К металлическим полезным ископаемым относят руды:

• черных металлов, содержат железо, марганец, хром, титан и др.;

• цветных металлов, содержат медь, свинец, цинк, алюминий, олово и др.;

• драгоценных металлов: золота, серебра, платины;

• на радиоактивные элементы уран, торий и др.;

• редких, легких и рассеянных элементов, содержат цирконий, тантал, ниобий, бериллий, литий, германий, таллий, кадмий и другие элементы.

К неметаллическим полезным ископаемым относятся:

• строительные материалы – горные породы: граниты, гнейсы, известняки, глины и суглинки, песок и гравий и т. д.;

• сырье для металлургической промышленности – такие горные породы и минералы, как известняки, доломит, флюорит, графит, магнезит, огнеупорные глины, формовочные материалы и др.;

• индустриальное сырье – асбест, тальк, барит, слюды, полевой шпат и пегматит, корунд и др.;

• сырье для пищевой и химической промышленности – фосфориты, апатиты, сера, мышьяк, бор, ископаемые соли, мел и др.

К твердым горючим ископаемым относят бурый и каменный угли, антрацит, горючие сланцы, торф.

Все полезные ископаемые используют в качестве необходимого и важнейшего компонента в производственных процессах различных отраслей промышленности и сельского хозяйства.

1.4. Технологии разработки месторождений полезных ископаемых

Разработкой месторождения называют комплекс работ по вскрытию, подготовке и очистной выемке. Эти работы являются стадиями разработки месторождения. Вскрытие и подготовка осуществляются посредством проведения выработок.

Для разработки месторождений полезных ископаемых в зависимости от горно-геологических условий залегания и свойств пород и полезных ископаемых применяют различные технологии: *подземную, открытую, скважинную и подводную.*

Под *технологией* понимают совокупность производственных процессов, выполняемых во взаимной связи во времени и пространстве. Вместо термина *«технология»* применяется также термин *«способ разработки месторождения полезных ископаемых».* Соответственно различают подземный способ разработки месторождений, открытый способ и т. д.

Основные компоненты технологии разработки месторождений полезных ископаемых:

1. Работы, в результате выполнения которых обеспечивается доступ к полезному ископаемому с поверхности земли. Эти работы называют *вскрытием месторождения.*

2. Разделение залежи полезного ископаемого на части, удобные для извлечения полезного ископаемого из недр земли. Эти работы называют *подготовкой месторождения к выемке.*

3. Работы по непосредственному извлечению полезного ископаемого из недр. Эти работы называют *выемкой полезного ископаемого* или *очистными работами.*

Обычно предприятие, добывающее полезное ископаемое, осуществляет его первичную переработку и обогащение.

После завершения добычных работ необходима ***рекультивация,*** т. е. восстановление земель, нарушенных горными работами.

Горная выработка – сооружение (полость) в недрах земли, созданная в результате ведения горных работ.

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых осуществляется с помощью *открытых горных выработок,* к которым относят выработки, примыкающие к поверхности земли и имеющие незамкнутый контур

поперечного сечения. *Подземными называют выработки*, расположенные на некоторой глубине от поверхности земли и имеющие замкнутый контур поперечного сечения.

Наиболее распространенным способом добычи металлургического сырья является открытая разработка рудных месторождений, посредством которой из недр извлекается более 2/3 всех полезных ископаемых. Это относительно дешевый способ разработки, позволяющий применять мощное и высокопроизводительное оборудование. Однако при проведении открытых работ на многие десятилетия из хозяйственного оборота изымаются огромные площади сельскохозяйственных и лесных угодий. Для доступа к месторождению с поверхности приходится вынимать, перемещать и складировать в отвалы пустые породы, объем которых в несколько раз превышает объем добываемого полезного ископаемого.

При открытом способе добычи все горные работы проводят в открытых горных выработках непосредственно с земной поверхности (рис. 1.4). В зависимости от условий залегания извлекают не только полезное ископаемое, но и пустые породы в значительных объемах. Эти породы называют *вскрышными породами или вскрышей.*

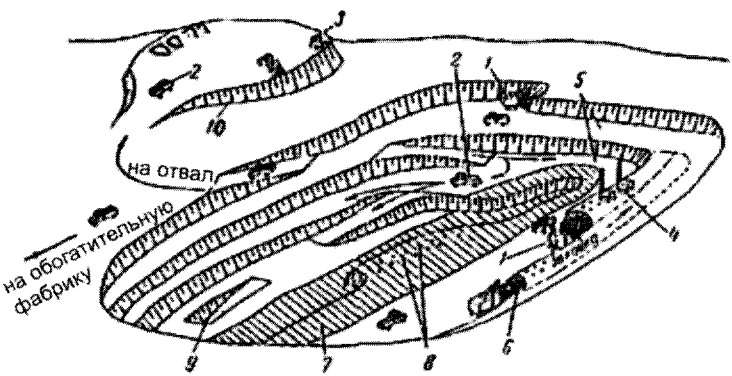


Рис. 1.4. Схема открытой разработки месторождения:
1 – экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – бульдозер; 4 – буровой станок; 5 – рабочие горизонты; 6 – взорванная масса; 7 – залежь полезного ископаемого; 8 – скважины; 9 – въездная траншея; 10 – отвал пустых пород

Основными производственными процессами при открытых горных работах являются: подготовка горных пород к выемке; выемочно-погрузочные работы; перемещение карьерных грузов (авто- или железнодорожный транспорт, а также конвейерная доставка); отвалообразование вскрышных пород и складирование полезного ископаемого.

Основные достоинства открытых горных работ заключаются в следующем:

- возможность обеспечения высокого уровня комплексной механизации и автоматизации, что обусловливает более высокую производительность труда и меньшие затраты на добычу;
- более безопасные и комфортные условия труда;
- меньшие удельные капитальные затраты на строительство предприятия;
- возможность более полного извлечения полезного ископаемого.

Основные недостатки: некоторая зависимость от климатических условий; необходимость отчуждения значительных площадей земли; нарушения водного баланса недр.

Второй по значению способ разработки месторождений – ***подземный,*** на долю которого приходится около 20 % добычи железа, до 45 % добычи меди, до 70 % цинка, до 75 % олова и свинца, 100 % вольфрама. Затраты на добычу руды при подземной разработке месторождений выше, чем при открытой. Подземная добыча ведется на месторождениях, которые экономически нецелесообразно или технически невозможно разрабатывать открытым способом. Подземная разработка в ряде случаев позволяет полностью сохранить земную поверхность, что обеспечивает значительное преимущество перед открытыми горными работами.

Подземной называется технология, осуществляемая с помощью подземных горных выработок.

Поверхность современных шахт и рудников представляет собой комплекс зданий и сооружений, обычно сгруппированных в блоки. На поверхности располагаются здания подъемных машин, копры (конструкции для установки шкивов под канаты

клетей и скипов и разгрузки последних), эстакады, помещения электроподстанции, механических мастерских, компрессорной, административно-бытового комбинат, материальные склады различного назначения.

Скважинную технологию применительно к твердым полезным ископаемым называют также геотехнологией. Сущность ее состоит **в** бурении скважин к полезному ископаемому, изменении физического или химического состояния полезного ископаемого и извлечении продукта на поверхность земли по скважинам. Для перевода твердого полезного ископаемого в состояние, пригодное для транспортирования по скважинам, применяют размыв высоконапорной струей воды, плавление, растворение, химическую и бактериальную обработку.

Скважинная добыча широко применяется для извлечения жидких и газообразных полезных ископаемых (нефть и природный газ).

Подводная технология применяется для разработки континентальных россыпных месторождений, месторождений на дне озер, морей в пределах континентального шельфа и мирового океана.

Добычу полезных ископаемых со дна озер, морей, океанов (золото, олово, платина, минералы, содержащие титан, цирконий и др.) осуществляют в основном в пределах континентального шельфа и ложа мирового океана. Добыча осуществляется земснарядами, черпаковыми элеваторами и грейферными грузчиками через водную толщу, а также через горные выработки, проводимые с земной поверхности. Средняя глубина подводной разработки 30 м.

Из специальных способов разработки месторождений руд черных и цветных металлов наибольшее распространение получила *дражная разработка россыпных месторождений* – золотоносных или оловоносных песков. На ряде месторождений извлечение цветных металлов, золота, урана осуществляют посредством выщелачивания. Способ выщелачивания руд на месте их залегания многие специалисты считают весьма перспективным.

Комбинированной разработкой называется отработка месторождения открытым и подземным способами, когда независимо от временного фактора требуется обязательный учет их взаимного влияния.

1.5. Горные выработки

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

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

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

Разработка месторождений полезного ископаемого складывается из трех этапов: *вскрытие, подготовка и 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 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 пород.

Горные выработки используются для размещения в них добычных горных машин, транспортирования добытого полезного ископаемого и пустых пород, доставки материалов

и оборудования, для передвижения людей и циркуляции воздуха. В выработках прокладывают водоотливные и гидротранспортные трубопроводы, трубопроводы сжатого воздуха и электрические кабели. В выработках, пройденных в горных породах, склонных к обрушению, устанавливают крепь.

К открытым горным выработкам относят *канавы, траншеи, карьеры и разрезы*.

Канава – открытая горная выработка с трапециевидным или прямоугольным поперечным сечением. Глубина канав обычно не превышает 4 м, длина измеряется десятками, а иногда и сотнями метров. Ширина канавы по подошве принимается равной 0,6–1 м. Канавы проводят для разведки месторождений полезных ископаемых, а также для отвода карьерных и шахтных вод.

Траншея – открытая горизонтальная или наклонная горная выработка значительной по сравнению с шириной и глубиной длины, трапециевидной формы поперечного сечения, ограниченная снизу подошвой (дном) и с боков наклонными поверхностями, которые по длине называют *бортами*, а по ширине – *торцами*. Угол наклона плоскости борта траншеи к горизонту называют *углом откоса борта*.

Траншеи служат для транспортирования полезных ископаемых и пустых пород, передвижения людей, машин и механизмов. Площадь поперечного сечения эксплуатационных траншей может составлять сотни квадратных метров.

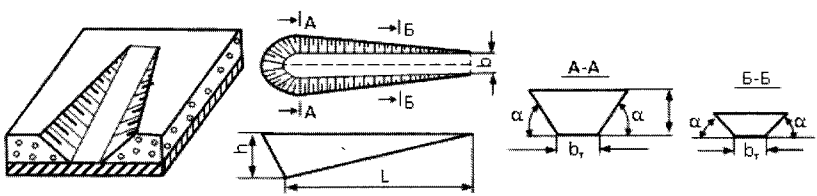


Рис. 1.5. Параметры наклонной траншеи

В зависимости от назначения различают траншеи капитальные (создающие доступ к разрабатываемому рудному телу или угольному пласту), разрезные (для создания

первоначального фронта работ и размещения горного и транспортного оборудования), разведочные (для целей разведки), дренажные (проходятся с целью осушения и водоотлива) и др.

Разведочную траншею, пройденную на косогоре неполной площадью сечения, называют *полутраншеей*.

Комплекс рабочих процессов, выполняемых для образования канавы или траншеи, называют проходкой (проведением) канавы или траншеи.

Карьер – совокупность открытых горных выработок, созданных в связи с добычей полезных ископаемых открытым способом.

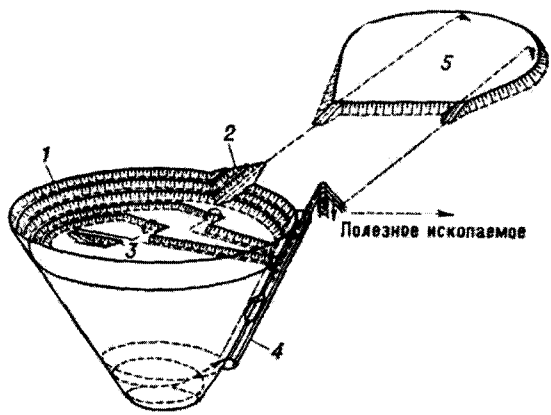


Рис. 1.6. Вскрытие месторождения при открытой разработке:
1 – карьер; 2 – капитальная траншея; 3 – разрезная траншея; 4 – наклонная выработка для транспортировки полезного ископаемого; 5 – отвал пустых пород

Месторождение, разрабатываемое открытым способом, разделяют на горизонтальные слои, высоту которых принимают с учетом изменения качества полезного ископаемого и свойств вмещающих горных пород, с учетом горно-геологических условий залегания месторождения и параметров горно-технологического оборудования. Разработка каждого верхнего слоя опережает разработку нижнего, поэтому карьер приобретает уступчатую форму.

Каждый технологический слой карьера, представляющий собой часть толщи пустых пород или полезного ископаемого и самостоятельно разрабатываемый средствами отбойки горных пород, погрузки и транспортирования горной массы, называется *уступом.*

Элементы уступа: площадки, откос и бровки (рис. 1.7). Площадки уступа разделяются на рабочие и нерабочие. На рабочих площадках располагаются выемочно-погрузочное оборудование, нерабочие площадки остаются свободными. Площадка уступа, на которой расположено горнотранспортное оборудование, называется *рабочим горизонтом уступа.*

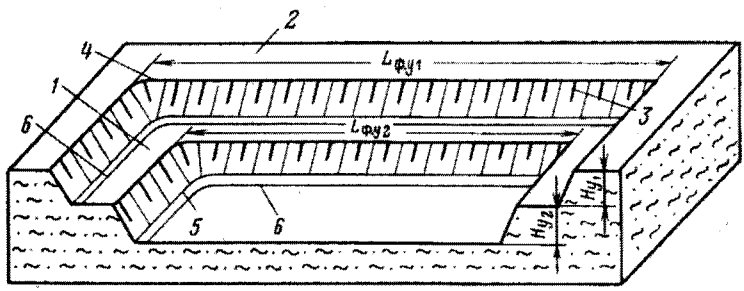


Рис. 1.7. Элементы уступа:
1, 2 – нижняя и верхняя площадки; 3 – фронтальный откос;
4, 5 – верхняя и нижняя бровки; 6 – транспортные коммуникации

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

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

К основным *вертикальным горным выработкам* относят шахтные стволы, шурфы и гезенки.

Шахтный ствол – горная выработка прямоугольного или круглого поперечного сечения, имеющая непосредственный выход на земную поверхность и предназначенная для обслуживания подземных горных работ в пределах всего

месторождения полезных ископаемых или его части. Они имеют значительные размеры поперечного сечения и глубину, диаметры шахтных стволов с круглой формой поперечного сечения составляют 5–8,5 м. Глубина шахтных стволов достигает более 1000 м. Шахтные стволы, предназначенные для подъема полезного ископаемого на земную поверхность, называют *главными стволами.* Шахтные стволы, используемые для подъема пустой породы, спуска и подъема людей, а также для спуска и подъема оборудования и других грузов различного назначения называют *вспомогательными стволами.* Отдельные стволы могут выполнять специальные функции: вентиляционные, водоотливные, закладочные и др.

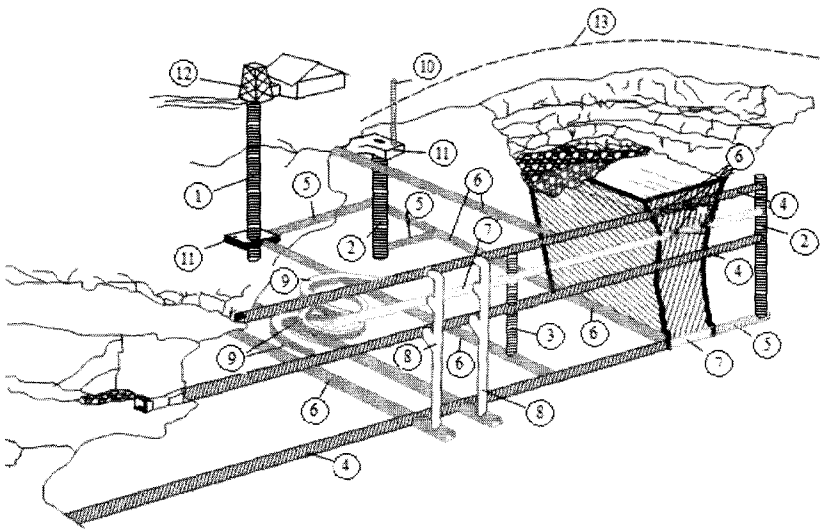


Рис. 1.8. Подземные горные выработки:
1 – ствол; 2 – слепой ствол; 3 – восстающий: 4 – штольня; 5 – квершлаг; 6 – штрек; 7 – орт; 8 – рудоспуск; 9 – спиральный съезд (заезд); 10 –шурф; 11 – околоствольный двор; 12 – копер; 13 – зона сдвижения пород

Слепой ствол – вертикальная выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность и предназначенная для обслуживания горных работ.

Шурф – подземная горная выработка обычно небольшого поперечного сечения и небольшой глубины, имеющая непосредственный выход на земную поверхность, предназначенная для геологоразведочных и эксплуатационных работ. Глубина шурфов обычно не превышает 90 м, площадь поперечного сечения шурфов обычно составляет не более 4 м.

К *основным подземным горизонтальным выработкам* относят тоннели, штольни, квершлаги, штреки, орты.

Тоннель – горная выработка, имеющая два выхода на земную поверхность.

Штольня – горизонтальная или наклонная выработка, имеющая непосредственный выход на поверхность и предназначенная для обслуживания горных работ.

Квершлаг – горизонтальная или наклонная горная выработка, не имеющая выхода на поверхность и служащая для транспортирования различных грузов, для вентиляции, водоотлива, передвижения людей, для прокладки электрических кабелей, линий связи, трубопроводов. Квершлаги проводят, как правило, от шахтного ствола или штольни.

Штрек – подземная горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность. Штреки обычно соединяются с квершлагами и штольнями.

Орт – горизонтальна горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проведенная по полезному ископаемому вкрест простирания залежи. Орты соединяют со штреками и проводят только по мощным залежам полезного ископаемого.

К *вспомогательным горизонтальным горным выработкам* относят просеки, сбойки.

Просек – горная выработка, проводимая по пласту полезного ископаемого в направлении его простирания. Просек обычно проводят параллельно штреку.

Сбойка – горная выработка, проводимая по полезному ископаемому для соединения между собой двух каких-либо близко расположенных выработок.

К *основным наклонным горным выработкам* относят шахтные стволы, бремсберги и уклоны; *вспомогательными наклонными горными выработками* являются скаты, печи и восстающие.

Наклонные шахтные стволы – это стволы с невертикальной продольной осью; их проходят в большинстве случаев по полезному ископаемому и реже по пустым породам.

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, предназначенная для подъема добытого полезного ископаемого с нижележащего горизонта на вышележащий.

Скат – наклонная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность и проводимая по полезному ископаемому. В горнорудной практике скаты называют *рудоспусками.*

Восстающий – наклонная или вертикальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проводимая по восстанию полезного ископаемого и предназначенная для проветривания выработок, передвижения людей, спуска полезного ископаемого и пород, для доставки материалов и оборудования, подачи энергии и воды.

Печь – подземная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проводимая только по полезному ископаемому и предназначенная для проветривания выработок, транспортирования грузов, передвижения людей.

Кроме перечисленных ранее подземных горных выработок в отдельную категорию выделяют *камеры* или *камерные выработки.* Различают камеры, проводимые по полезному ископаемому с целью его извлечения, и камерные выработки, предназначенные для размещения в них машин, механизмов, другого оборудования, материалов, пунктов связи, медицинской помощи, питания и т. п. Камерные выработки расположены обычно вблизи шахтных стволов.

К выработкам небольшого поперечного сечения относят шпуры и скважины.

Шпур – выработка круглого поперечного сечения, представляющая собой цилиндрическую полость, которая выбуривается в толще горных пород для размещения в ней заряда взрывчатого вещества. Диаметр шпуров обычно составляет 30÷40 мм, иногда достигает 60 мм, длина шпуров изменяется от 1,5 до 5 м.

Скважина – горная выработка, отличающаяся от шпура большим диаметром, который составляет 70 мм и более, и длиной, равной от 5 м до нескольких километров. Скважины бурят для разведки месторождений и добычи полезных ископаемых, размещения в них зарядов взрывчатого вещества.

1.6. Основные сведения о свойствах горных пород

Физико-механические свойства горных пород весьма разнообразны. 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 подразделяются на *твердые, пластичные, сыпучие и плывучие*. Твердые горные породы состоят из минеральных частиц, связанных между собой силами молекулярного сцепления и трения. Механическая характеристика горных пород выражается формулой

$$\tau = C + \varphi N, \qquad (1.1)$$

где τ – касательные напряжения на площадке сдвига; C – сила сцепления между отдельными частицами; φ – коэффициент трения ($\varphi = \mathrm{tg}\rho$); ρ – угол внутреннего трения; N – нормальная сила.

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

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

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

Под *плотностью* породы ρ понимают массу ее в единице объема за вычетом объема пор, пустот и трещин. Плотность породы измеряют в кг/м^3 (в производстве иногда – в т/м^3). Плотность каменных углей – 1300–1500, песчаников, алевролитов, известняков – 2580–2800, магматических и метаморфических пород, в зависимости от содержания в них металла, от - 2700 до 5 000 кг/м^3.

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

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

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

$$\gamma = g\rho, \tag{1.2}$$

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

Объемный вес породы γ_0 – вес единицы объема породы в естественном состоянии γ_0 (Н/м^3):

$$\gamma_0 = g\rho_0. \tag{1.3}$$

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

Насыпная объемная масса породы – масса разрыхленной породы в единице объема. Ее измеряют, как и объемную массу ρ, в кг/м^3. Насыпная объемная масса (кг/м^3):

$$\rho_н = \rho / K_р , \qquad (1.4)$$

где $K_р$ – коэффициент разрыхления породы.

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

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

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

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

Под влажностью горной породы понимают массу воды, которая содержится в ней. Ее определяют по разности массы образца в естественном состоянии и массы этого же образца, высушенного при температуре 105–110 °С. Она выражается в процентах. В природных условиях залегания влажность магматических пород не превышает 2 %, каменных углей и вмещающих пород – 6 %.

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

Предел прочности горных пород при сжатии в 5–35 раз больше, чем при растяжении (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Прочностные характеристики горных пород

Горные породы	Предел прочности, МПа	
	на сжатие	на растяжение
Базальт	260–400	22–30
Гранит	80–250	7–23
Кварцит	180–260	14–22
Диабаз	240–300	20–25
Мрамор	60–80	5–8
Известняк	46–75	4–8
Песчаник	30–200	4–18
Алевролит	30–120	3–16
Аргиллит	12–80	1–6
Уголь каменный	11–30	0,8–2,5
Уголь бурый	10–15	0,5–1,2
Сланец горючий	12–19	0,8–1,6
Мергель	25–40	2–3,5
Каменная соль	20–38	0,3–4
Глина	3–10	0,2–0,8
Алевролит и аргиллит углистый	5–25	0,3–2

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

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

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

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

По этому критерию М. М. Протодьяконов предложил классификацию, в которой горные породы разделены на 10 категорий (табл. 1.3). Пределы изменения коэффициента крепости от 0,3 до 20. К первой категории отнесены породы, имеющие наивысшую крепость (f = 20), к десятой – наиболее слабые плывучие породы (f = 0,3).

Таблица 1.3

Классификация горных пород

Породы	Коэффициент крепости	Категория крепости породы по	
		шкале проф. М. М. Протодьяконова	строительным нормам и правилам (СНиП)
Вязкие кварциты и базальты	20	I	XI
Крепкий гранит, самые крепкие песчаники и известняки	15	II	X
Очень крепкие песчаники и известняки	10	III	IX
Колчедан, крепкий известняк	8	IIIa	VIII
Обыкновенный песчаник, песчанистые сланцы	5–6	IV–IVa	VIII
Крепкий глинистый сланец, некрепкий песчаник и известняк	3–4	V–Va	VI–VII
Антрацит, мягкий сланец, мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, разрушенный песчаник	2	VI	VI
Крепкий каменный уголь, разрушенный сланец, отвердевшая глина	1,5	VIa	VI–V
Каменный уголь средней крепости, прочные наносы, плотная глина	1	VII	III
Мягкий уголь, мягкая песчаная глина	0,8	VIIa	II
Торф, влажный песок	0,6	VIII	I
Добытый уголь, песок, насыпной грунт, гравий	0,5	IX	I
Плывуны	0,3	X	I

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

Применительно к горностроительным работам предложена классификация пород по СНиП.

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

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

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

Пластичность – свойство пород изменять свою форму при сохранении объема.

Хрупкость – способность горной породы разрушаться при незначительной пластической деформации.

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

$$K_p = V_в / V_м, \qquad (1.5)$$

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

Коэффициент разрыхления характеризует увеличение объема породы при разрушении (в процессе проведения выработок, выемки полезного ископаемого). Коэффициент разрыхления угля составляет 1,2–1,4, осадочных пород (песчаника, алевролита, аргиллита) – 1,4–2,2, магматических и метаморфических пород – 1,7–2,3.

Буримость горной породы – способность горной породы сопротивляться проникновению в нее бурового инструмента под действием усилий, возникающих при бурении. Показателем служит скорость бурения (мм/мин), иногда – продолжительность бурения 1 м шпура (мин/м).

2. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Способ передачи горной породе, введения в нее энергии практически определяет и название способа разрушения породы. При непосредственном контактном воздействии на породу механического инструмента разрушение называют *механическим.* Если в горную породу для ее разрушения поступает энергия от взрыва заряда взрывчатого вещества (ВВ), то разрушение называют *взрывным.*

В настоящее время механическое и взрывное разрушения горных пород являются наиболее широко применяемыми. Этими способами можно разрушить практически все типы твердых и связных горных пород.

Однако вследствие того, что в связных породах, которые являются существенно менее прочными, в определенных горно-геологических условиях более целесообразно применять *гидравлический способ разрушения,* Сущность его состоит в размыве пород струей воды, вылетающей из насадки гидромонитора с большой скоростью.

Существуют также *физические способы разрушения* горных пород. При конвективном теплообмене способ разрушения называют *термическим;* при передаче энергии посредством электромагнитного излучения – *электротермическим.* При всех этих способах разрушение породы происходит от механических напряжений, возникающих в породе вследствие ее теплового расширения.

Основное влияние на выбор способа разрушения оказывают свойства горных пород, прежде всего их прочность.

2.1. Механическое разрушение горных пород

Механические способы подготовки горных пород к выемке при открытой разработке

Большинство современных выемочно-погрузочных машин не развивают усилий, достаточных для отделения от массива плотных, мерзлых, скальных и полускальных пород.

Для послойного разрушения мерзлоты и пород с коэффициентом крепости по шкале М. М. Протодьяконова $f \leq 8$ нашли широкое применение навесные рыхлители тяжелого

типа на тракторах мощностью более 184 кВт, оборудованных гидравлической системой изменения глубины рыхления. Рабочим органом рыхлителя является зуб, снабженный износостойким наконечником. Для рыхления полускальных и трещиноватых скальных пород используют однозубые рыхлители.

В комплексе с рыхлителями работают бульдозеры, скреперы и одноковшовые погрузчики, осуществляющие выемку разрыхленной горной массы. Рыхлители можно использовать на вспомогательных работах (проведение дренажных канав, корчевание пней и др.), для разрушения мерзлых пород. Их существенный недостаток – малая мощность разрыхленного слоя.

Подготовку к выемке на месторождениях облицовочного камня осуществляют различными механическими способами, обеспечивающими сохранность физико-механических свойств – и декоративных качеств продукции, а также определенных размеров и формы камня. Область применения конкретного способа ограничена интенсивностью распределения трещин и прочностными свойствами пород.

Буроклиновой способ чаще всего предусматривает размещение клиньев с углом заострения 10–12,5° и длиной 120–250 мм в шпурах, предварительно пробуренных по линии раскола. Значительно облегчают условия труда рабочих *гидроклиновые установки*, используемые для отделения камня высотой не более 1,5 м.

При употреблении *невзрывчатых разрушающих средств (НРС)* также необходимо предварительно пробурить шпуры по линии раскола, ориентированной по слоистости. Порошок НРС смешивают с 30–32 % воды (от массы НРС), и полученную смесь заливают во все шпуры. В результате взаимодействия НРС с водой происходит увеличение объема смеси и развитие давления на стенки шпура до 30 МПа за 6–12 ч при температуре разрушаемой породы более 5 °С.

Камнерезные машины с кольцевыми фрезами имеют оригинальный режущий орган, сконструированный А. М. Столяровым.

В *камнерезных машинах* с тонким баром в качестве режущего органа используется цепь, армированная твердосплавными

резцами. Она перемещается по направляющим бара, который может вращаться вокруг своей оси. Наибольшее распространение получили универсальные однобаровые машины.

Ударно-врубовые машины состоят из стальной рамы, установленной на самоходном шасси, по которой перемещается каретка, несущая пневматический бурильный молоток без поворотного устройства.

Камнерезные машины с термоинструментом применяют для добычи блоков гранита или других кварцсодержащих пород. Они оснащены тремя-пятью терморезаками для прорезания щелей в массиве.

Камнерезные машины с канатным рабочим органом принято называть *канатными пилами*. Канатные пилы со свободным абразивом осуществляют резание камня в результате перемещения смеси абразивного порошка с водой за счет поступательного движения трехжильного каната.

Совместное применение различных технических средств для отделения камня от массива позволяет увеличить коэффициент выхода и объемы блоков, снизить трудоемкость, улучшить организацию и безопасность добычных работ.

Механическое разрушение горных пород при подземной разработке

Механическое разрушение как способ ведения горных работ имеет довольно широкое распространение. Его применяют как при добыче угля, так и при проведении горных выработок по углю и породам небольшой крепости.

Механическая отбойка на рудниках, разрабатывающих рудные месторождения, применяется, в основном, с использованием проходческих и очистных комбайнов – самоходных машин на гусеничном или шинном ходу, снабженных породоразрушающим органом и погрузочным устройством. Проходческие комбайны работают в комплексе со средствами доставки или транспортирования руды из забоя и ведут выемку впереди. Для проходки восстающих с круглым поперечным сечением в крепких породах на рудниках применяют также проходческие комбайны с рабочим органом в виде шарошки, разрушающей забой сразу по всему сечению.

Очистные комбайны входят в состав механизированных добычных комплексов, состоящих из комбайна, забойного конвейера и механизированной передвижной ограждающей крепи. Их применяют для добычи руды длинными забоями (лавами).

Пиление пород (известняков, туфов и т. п.) применяют в основном для получения естественных блоков строительных материалов.

2.2. Технология буровых работ

Основным способом отбойки горных пород при проведении выработок и добыче руды являются буровзрывные работы. Заряды взрывчатых веществ (ВВ) располагают в вертикальных, наклонных или горизонтальных ***шпурах*** или ***скважинах***.

При взрывной отбойке одним из рабочих процессов является бурение. Для бурения шпуров применяют перфораторы и самоходные бурильные установки.

Перфораторы ручные, телескопные, и колонковые – бурильные машины ударно-поворотного или ударно-вращательного действия.

Ручные перфораторы типа ПР (рис. 2.1, *а*) применяют для бурения горизонтальных, наклонных и нисходящих шпуров глубиной до 2–3 м (иногда до 5 м), диаметром 30–55 мм. Масса ручных перфораторов составляет 20–25 кг.

Телескопные перфораторы типа ПТ (рис. 2.1, *б*) массой 30–48 кг служат для бурения восходящих шпуров или скважин диаметром 42–85 мм и глубиной до 10–15 м. В отличие от ручных перфораторов, после забуривания (начала бурения шпуров) телескопный перфоратор может работать в автоматическом режиме без участия бурильщика, который обслуживает несколько таких перфораторов.

Колонковые перфораторы типа ПК (рис. 2.1, *в*) – мощные бурильные машины массой 50–75 кг, предназначенные для бурения скважин диаметром 52–85 мм и глубиной до 15–25 м. Их устанавливают на распорных колонках, раскрепляемых между почвой и кровлей выработки.

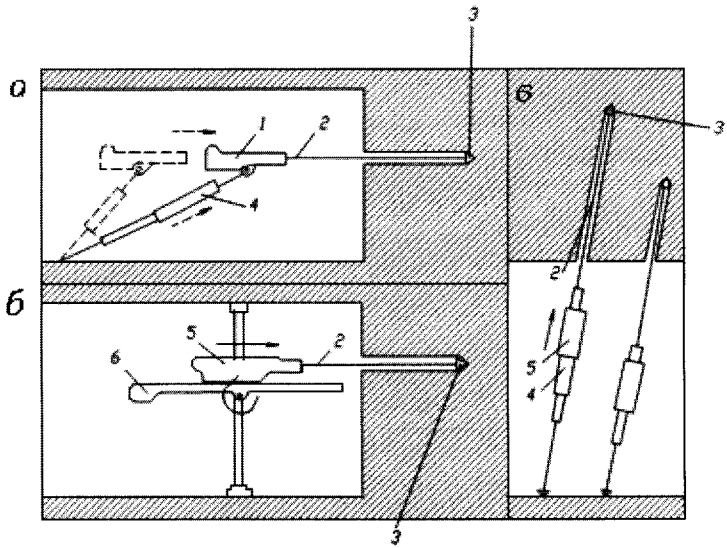


Рис. 2.1. Схемы бурения:
а – ручным перфоратором; б – телескопным перфоратором; в – колонковым перфоратором: 1 – ударно-поворотный механизм; 2 – буровая штанга; 3 – буровая коронка; 4 – пневмоподдержка или пневмоподатчик; 5 – ударно-вращательный механизм; 6 – подающее устройство; 7 – распорная колонка

Самоходные бурильные установки – самоходные агрегаты на рельсовом, гусеничном или колёсном ходу. Привод хода – пневматический, электрический или дизельный.

Бурильными установками бурят шпуры глубиной до 5 м и диаметром до 70 мм или скважины глубиной до 10 м и диаметром до 85 мм. Их использование полностью механизирует процесс бурения. Кроме того, улучшаются условия труда бурильщика, отсутствует воздействие вибрации перфоратора и уменьшается влияние шума, пыли, тумана в забое. Производительность труда бурильщика резко повышается.

Бурильные установки можно использовать в забоях с площадью поперечного сечения не менее 6–8 м^2.

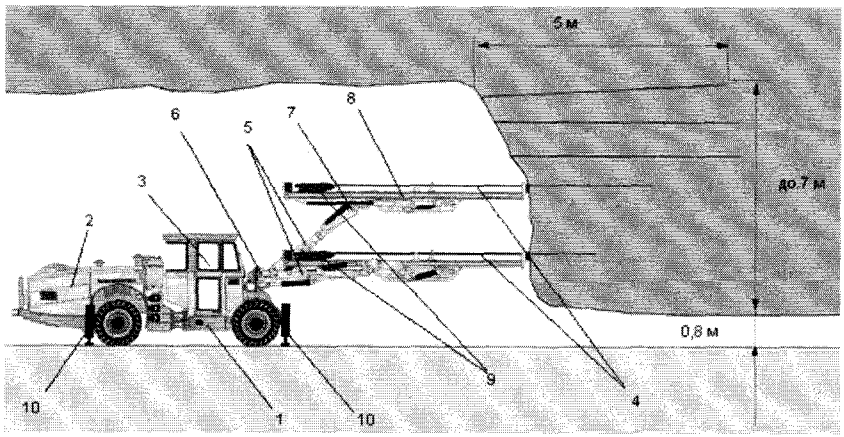


Рис. 2.2. Схема бурильной установки на пневмошинном ходу:
1 – рама; 2 – двигатель; 3 – кабина водителя; 4 – буровые штанги; 5 – манипуляторы; 6 – опорная панель манипулятора; 7 – позиционер; 8 – направляющая платформа для перемещения перфоратора; 9 – перфораторы; 10 – домкраты (опоры для бурильной установки)

Бурение скважин на открытых горных работах

Диаметр взрывных скважин на карьерах значительно больше, чем в подземных условиях (до 350–400 мм), поэтому буровое оборудование для их проходки должно быть мощнее.

В карьерах применяют станки вращательного (шнекового и шарошечного), ударно-вращательного (пневмоударного) и огневого (термического) бурения.

Бурение взрывных скважин на карьерах проводят буровыми станками различных типов. Выпускают следующие типы буровых станков: СБР – вращательного бурения резцовыми коронками; СБШ – шарошечного бурения; СБУ – ударно-вращательного бурения с погружными пневмоударниками; СБТ – термического бурения; СБК – ударно-канатного бурения. Кроме того, начато изготовление станков термомеханического – СБТМ–20–20 и комбинированного бурения – СБШК–200–50 и СБШК–400–60. В стадии промышленных экспериментов находятся агрегаты ультразвукового, взрывного, гидравлического, плазменного, лазерного бурения.

Большинство буровых станков скомпонованы по общей конструктивной схеме (рис. 2.3): гусеничная ходовая тележка (1), платформа (2), на которой смонтированы все исполнительные системы станка (мачта, стойки, рабочий орган, электродвигатели, компрессоры). Перед бурением платформу станка устанавливают в горизонтальное положение с помощью домкратов (3). Перевод мачты в рабочее и транспортное положение осуществляется гидродомкратами. Электроэнергию подают к станкам от передвижных комплектных трансформаторных подстанций (КТП) с помощью гибкого кабеля.

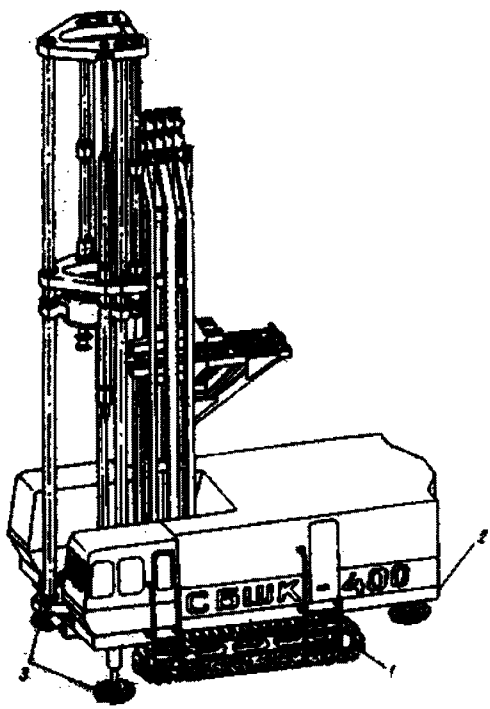


Рис. 2.3. Схема бурового ставка:
1 – ходовая тележка; 2 – платформа; 3 – упорные домкраты

Шнековое бурение применяют (20–25 % объема буровых работ) в породах с коэффициентом крепости f = 2–6. Разрушение массива при бурении скважины происходят за счет

смятия, раздавливания и скалывания породы под влиянием вращения резцов (коронок) и принудительной подачи их на забой.

В рудной промышленности станки шнекового бурения распространения не получили.

Шарошечное бурение – основной вид бурения скважин в карьерах (70 % объема буровых работ), осуществляют долотами, имеющими конусообразные шарошки с фрезерованными зубьями или штырями, армированными твердым сплавом. При выборе типа долота учитывают прочность пород. При вращении става нагруженные шарошки перекатываются по забою, а зубья ударяют по породе, скалывая ее. Удаление буровой мелочи из скважины производится сжатым воздухом или водовоз душной смесью, для чего на платформе станка установлены мощные винтовые компрессоры.

Для бурения пород с f = 6 - 8 используют шарошечные станки легкого типа (СБШ–160), в породах с f = 8 -14 – среднего типа (2СБШ–200–32, 3СБШ–200–60, СБШ–250МНА–32), а при коэффициенте крепости пород f > 14 – станки тяжелого типа (СБШ–320–36, СБШ–400–55).

Станки шарошечного бурения отличают высокая производительность и экономичность.

Ударно-вращательное бурение применяют в крепких и очень крепких, труднобуримых породах с f > 10. На их долю приходится 6–8 % общего объема буровых работ.

При *огневом (термическом) бурении* скважин горные породы разрушаются нагретой газовой струей, истекающей на забой скважины из реактивной горелки. Станки термического бурения используют для бурения крепких кварцсодержащих пород с f >14.

Основным способом бурения взрывных скважин на открытых работах является шарошечный (80 % всего объема бурения), а на подземных - ударно-вращательный.

Число буровых станков определяется в зависимости от производительности участка, блока или карьера Q (м^3/сут.) по формуле

$$N = \frac{k \cdot Q}{n \cdot P \cdot M}, \qquad (2.1)$$

где k – коэффициент, учитывающий необходимый резерв станков (1,2–1,25); n – число смен работы станков в течение суток; P – сменная производительность станка, м; M – выход горной массы с 1 м скважины, м^3.

Бурение скважин в подземных условиях

Скважины в подземных условиях бурят станками вращательно-ударного, ударно-вращательного (пневмоударного) и вращательного (шарошечного и алмазного) бурения.

Станки вращательно-ударного бурения принципиально не отличаются от подобных машин для бурения шпуров. Их применяют для бурения скважин по породам с коэффициентом крепости f = 8, 20.

Станки сконструированы таким образом, что бурение скважин можно осуществлять в любом направлении.

При ударно-поворотном и ударно-вращательном бурении с увеличением глубины скважины более 10–18 м (в зависимости от мощности бурильной машины) резко снижается скорость бурения, что вызвано ростом массы бурового инструмента.

Шарошечное бурение в подземных условиях имеет ограниченное применение. Наибольшее распространение оно получило при бурении взрывных скважин на открытых горных работах, а также при бурении скважин на нефть и газ.

При *алмазном бурении* порода разрушается кольцевым или сплошным забоем коронками, оснащенными алмазами. Разрушенная порода выносится из скважины водой. Алмазное бурение позволяет проходить взрывные скважины небольшого и постоянного диаметра (30–60 мм), а также является одним из важнейших видов бурения глубоких геологоразведочных скважин.

2.3. Разрушение горных пород посредством взрывания зарядов ВВ

Способы взрывной отбойки горных пород

Взрывной способ разрушения горных пород универсален, является наиболее распространенным. В общей массе около 90 % минерального сырья в стране добывается с помощью взрывных работ.

Горные работы, выполняемые с помощью взрывания зарядов взрывчатого вещества, называются *взрывными работами*. Главной особенностью взрывных работ является их повышенная опасность, связанная с применением чувствительных к внешним воздействиям ВВ и особенно средств инициирования (СИ) взрывов.

В угольных шахтах взрывные работы ведут с применением сравнительно небольших, в несколько сот граммов зарядов ВВ; при подземной разработке рудных месторождений с крепкими горными породами масса заряда может достигать нескольких десятков и сотен килограммов; на карьерах при проведении массовых взрывов масса зарядов ВВ может составлять несколько сотен тонн и более.

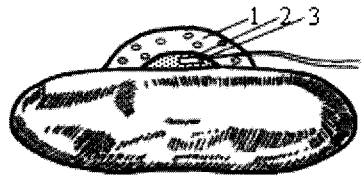


Рис. 2.4. Схемы расположения наружного заряда:
1 – забоечный материал;
2 – наружный (накладной) заряд;
3 – зажигательная трубка

Зарядом называется определенное количество ВВ, подготовленного к взрыву. По способу размещения во взрываемом массиве различают заряды наружные, т. е. накладные, и внутренние.

Наружными (накладными) зарядами называют заряды ВВ, размещаемые на поверхности разрушаемого объекта. Это простейший метод проведения взрывных работ, при котором на поверхность разрушаемого куска горной породы насыпают порошкообразное ВВ и сверху присыпают его каким-либо инертным материалом; в случае размещения заряда на наклонной поверхности куска породы применяют патронированные ВВ (рис. 2.4). Взрывание наружными зарядами проводится для дробления некондиционных, т. е. негабаритных кусков горной породы. Опасная зона при взрывании наружных зарядов на карьерах составляет не менее 300 м. Разрушение горных пород наружными зарядами происходит под действием только ударных волн, образующихся при взрыве.

Внутренние заряды ВВ размещают в шпурах, скважинах и камерах. В зависимости от места размещения зарядов ВВ

различают следующие способы взрывной отбойки горных пород; шпуровой, скважинный, камерный и котловой.

Шпуровой способ взрывной отбойки применяется при проведении подземных горных выработок (рис. 2.5, *а*), при подземной очистной выемке руд (рис. 2.5, *б*) и для вторичного дробления некондиционных кусков (рис. 2.5, *в*).

Заряды ВВ в шпурах могут быть удлиненными сплошными, удлиненными рассредоточенными и сосредоточенными – цилиндрическими и котловыми. Наиболее часто применяемый *сплошной заряд* состоит из отдельных патронов ВВ, размещаемых в шпуре вплотную друг к другу. Первым от устья шпура помещают патрон-боевик, т. е. патрон, снабженный капсюлем-детонатором или электродетонатором и взрываемый первым; взрывная волна распространяется от патрона-боевика вдоль всего заряда ВВ, что приводит к взрыву его остальной части.

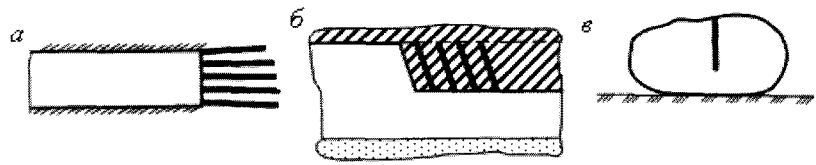


Рис. 2.5. Схемы расположения шпуровых зарядов:
а – при проведении подземных горных выработок; б – при отбойке руд для подземной очистной выемки; в – при вторичном дроблении куска породы

Рассредоточенный заряд состоит из нескольких групп патронов ВВ, каждую из которых снабжают патроном-боевиком; патроны отделены друг от друга инертным материалом.

Котловые заряды отличаются возможностью размещения в одном шпуре большего количества ВВ; котловая полость для котлового заряда образуется в шпуре взрыванием в нем заряда малой величины (камуфлетное взрывание) или термическим способом.

Величина заряда ВВ определяется в зависимости от свойств пород, работоспособности ВВ, конструкции заряда и числа свободных поверхностей.

Отбойка скважинными зарядами применяется при добыче полезных ископаемых открытым и подземным способами, для обрушения горных пород, находящихся в кровле отработанных камерных выработок, выемки целиков и проходки восстающих выработок; для создания траншей и котлованов в гидротехническом и транспортном строительстве. Так же, как и шпуровые заряды, заряд в скважине может быть *сплошным, рассредоточенным* и *котловым.*

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом скважины на уступе бурят обычно вертикально, реже – наклонно в один или несколько рядов. Так как у подошвы уступа сопротивление пород разрушению при взрыве заряда ВВ особенно велико, в плотных породах глубину скважины принимают несколько больше высоты уступа; часть скважины, пробуренной ниже подошвы уступа, называют *перебуром.* При отбойке пород взрывом зарядов ВВ на уступе карьера различают следующие понятия (термины) (рис. 2.6): d – диаметр скважины, мм; H – высота уступа, м; $h_п$ – глубина перебура, м; W – линия наименьшего сопротивления, кратчайшее расстояние от центра заряда ВВ до свободной поверхности (ЛНС), м; $W_п$ – линия сопротивления по подошве (СПП), м; a – расстояние между скважинами в ряду, м; b – расстояние между рядами скважин, м; c – безопасное расстояние от оси скважины до верхней бровки уступа, м; l_3 - длина заряда, м; l_1 – длина забойки, м; l – длина скважины, м; α – угол откоса уступа, градус.

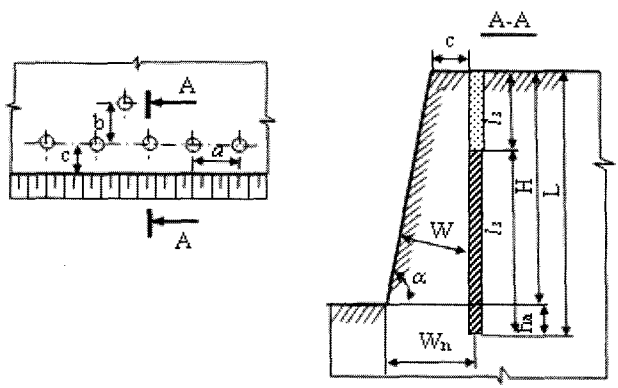


Рис. 2.6. Схема расположения скважинного заряда на уступе карьера

Максимальная длина линии сопротивления по подошве уступа, при которой обеспечивается нормальное разрушение массива, определяется по формуле

$$W_n = W_{од}(1{,}6 - 5m), \qquad (2.2)$$

где $m = a/W$ – коэффициент сближения скважин; $W_{од}$ – СПП одиночной скважины, определяется по формуле

$$W_{од} = \sqrt{\frac{P}{q}}, \qquad (2.3)$$

где P – вместимость 1 м скважины, кг/м; q – проектный удельный расход ВВ, кг/м^3.

Величина СПП проверяется также на условие безопасного ведения работ на уступе по формуле

$$W_n = H\mathrm{ctg}\alpha + c. \qquad (2.4)$$

Диаметр d вертикальных скважин, который обеспечивает нормальную проработку подошвы уступа высотой H и углом откоса α:

$$d = (H\mathrm{ctg}\alpha + c)\sqrt{P}/[30(3 - m)]. \qquad (2.5)$$

При подземной разработке мощных и средней мощности залежей руд широко применяют отбойку пород посредством взрывания скважинных зарядов ВВ с веерным и параллельным расположением скважин.

Отбойку камерными зарядами применяют на карьерах в том случае, когда необходимо взорвать большие объемы горных пород при высоте уступа более 12–15 м, а также при взрывах на сброс и выброс для создания плотин и насыпей. Заряды ВВ в этих случаях располагаются в специально пройденных горных выработках – зарядных камерах (рис. 2.7) и могут достигать по массе десятков тонн.

Отбойка камерными зарядами получила распространение при подземной разработке крепких и весьма крепких горных пород.

Отбойку малокамерными зарядами осуществляют на карьерах для взрывания небольших объемов горных пород в условиях, при которых трудно применять буровую технику. Небольшие заряды размещают в горизонтальных или наклонных выработках с поперечным сечением порядка 0,5х0,5 м и глубиной до 5 м.

Отбойка котловыми зарядами применяется при больших сопротивлениях по подошве уступа, наличии трудновзрываемых пород в нижней части уступа и при необходимости обрушения высоких вскрышных уступов скальных пород. Котловой заряд ВВ размещается в расширенной концевой части шпура или скважины, образованной в процессе бурения или после бурения скважины путем последовательных взрывов небольших зарядов ВВ (рис. 2.8).

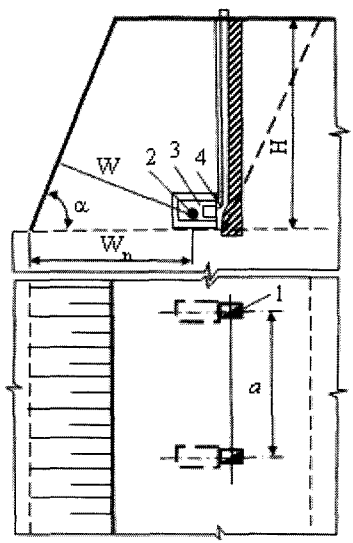


Рис. 2.7. Схема расположения камерных зарядов рыхления на уступе:
1 – шурф; 2 – заряд ВВ; 3 – электродетонатор; 4 – зарядная камера

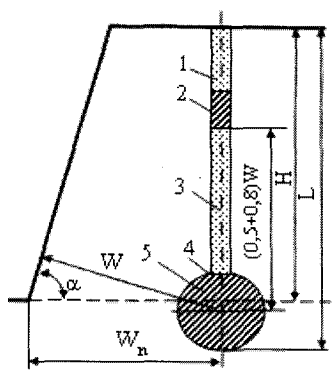


Рис. 2.8. Схема расположения котлового заряда на уступе:
1 – скважина; 2 – дополнительный заряд; 3 – забойка; 4 – котловое расширение; 5 – основной заряд

2.4. Взрывчатые вещества и средства взрывания

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, 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, тротил, гексоген и др.) или механические смеси (аммонит, динамит и др.).

Энергия при взрыве ВВ выделяется в результате химической реакции окисления водорода в воду и углерода в оксид (CO) и диоксид (CO_2) углерода.

Различают *бризантные ВВ* с высокой скоростью детонации (2000 – 7 000 м/с), производящие дробящее действие, и *метательные* – порох (скорость взрывного горения до 2000 м/с).

По физическому состоянию различают следующие разновидности промышленных ВВ: порошкообразные, прессованные, литые, гранулированные (чешуйчатые), водосодержащие (льющиеся или текучие в холодном или горячем состоянии).

При ведении горных работ применяют *индивидуальные,* т. е. однокомпонентные, и *смесевые* ВВ. Индивидуальные ВВ содержат все элементы, необходимые для нормального протекания химической реакции взрыва. В состав смесевых входит ряд компонентов, каждый из которых выполняет самостоятельную задачу: окислителя, горючих добавок, пламегасителей и т. п.

К индивидуальным ВВ относятся химически однородные вещества: тротил, нитроглицерин, тэн, гексоген и др. К смесевым ВВ – аммиачно-селитренные – аммониты, динафталиты, граммониты, акваниты, игданиты, ифзаниты, а также нитроглицериновые – динамиты, оксиликвиты и др.

По условиям применения на горных предприятиях ВВ разделяют на группы:

• *непредохранительные* – для открытых и подземных работ, кроме шахт и рудников, опасных по газу и пыли;

• *предохранительные* – для подземных работ в шахтах и рудниках, опасных по взрыву газов и пыли; в зависимости от категории шахт могут применяться ВВ разных классов: повышенной мощности, средней мощности, повышенной предохранительности, высокопредохранительные. К предохранительным ВВ относят аммонит АП–5ЖВ, аммонит ПЖВ–20, угленит № 5, угленит Э–6, ионит и др.

Промышленные ВВ, изготавливаемые на горных предприятиях, гранулированные и водосодержащие смесевые делят на следующие группы.

1. Не содержащие взрывчатых компонентов (химических соединений) тротила, нитроэфиров, гексогена и бездымного пороха: гранулиты, игданит.

2. Тротил содержащие гранулированные ВВ – *граммониты* – двухкомпонентные ВВ, содержащие гранулотол или чешуйчатый ТНТ в количестве 18–70 %.

3. Водосодержащие *(ифзаниты карбатолы акватолы)* и эмульсионные (смеси аммиачной, кальциевой или натриевой селитр) ВВ.

Для приготовления порэмитов и заряжения ими скважин на земной поверхности применяют смесительно-зарядные машины МЗ–8, МЗ–20, Порэмит IV, СЗМ–8 и др.

В специальную группу выделяют *инициирующие ВВ,* используемые для изготовления средств инициирования. Взрыв небольшой массы инициирующего ВВ служит начальным импульсом для возбуждения детонации промышленных ВВ, его осуществляют от теплового импульса – пламени от огнепроводного шнура (ОШ) или электровоспламенителя. Эти ВВ очень опасны в обращении из-за высокой чувствительности к огню, удару и трению.

К первичным инициирующим ВВ относят следующие:

• *гремучую ртуть* $Hg(CNO)_2$ – ртутная соль гремучей кислоты, представляет собой мелкокристаллический порошок белого или серого цвета, скорость ее детонации 5400 м/с, теплота взрыва 1,8 МДж/кг;

• *азид свинца* $Pb(N_3)_2$ – свинцовая соль азотно-водородной кислоты, представляет собой тонкокристаллический порошок

светло-серого цвета, скорость детонации 5 200 м/с, теплота взрыва 1,5 МДж/кг. Вторичные инициирующие ВВ – *тетрил, гексоген и тен.* Они служат для усиления детонации первичных инициирующих ВВ.

Способы и средства инициирования зарядов ВВ

Для проведения взрывных работ необходимы, кроме ВВ средства инициирования (взрывания) зарядов взрывчатого вещества.

Средства инициирования (СИ) образуют и передают импульс энергии заряду ВВ и тем самым вызывают его детонацию.

Заряды инициирующих ВВ, при взрыве которых образуется импульс энергии, размещают в специальных устройствах – детонаторах.

К основным средствам инициирования зарядов (СИ) относят капсюли-детонаторы (КД), огнепроводный шнур (ОШ), электородетонаторы (ЭД), детонирующий шнур (ДШ), средства зажигания ОШ, электропровода, источники тока, контрольно-измерительную аппаратуру, неэлектрические системы инициирования зарядов (НСИ).

Капсюли-детонаторы применяют при огневом взрывании, в этом случае инициатором его взрыва является искра, получающаяся при горении огнепроводного шнура.

Огнепроводный шнур служит для подвода пламени к первичному заряду капсюля-детонатора. ОШ имеет сердцевину из мелкозернистого черного (дымного) пороха с направляющей нитью и две–три оплетки из хлопчатобумажных ниток, пропитанных водо- или влагонепроницаемой массой; диаметр ОШ 5–6 мм, скорость горения 1 см/с, продолжительность горения отрезка ОШ длиной 60 см составляет от 60 до 70 с. Шнуры выпускают отрезками по 10 м, свернутыми в кольца.

Капсюль-детонатор со вставленным в него и скрепленным с ним отрезком ОШ называют *зажигательной трубкой.* Зажигательные трубки изготавливают в специальных помещениях и переносят отдельно от ВВ.

Заряд ВВ в оболочке, смонтированный с зажигательной трубкой или другим СИ, называют *патроном-боевиком.*

Для зажигания ОШ применяют тлеющий фитиль или зажигательные свечи.

Электродетонаторы (ЭД) представляют собой соединение капсюля-детонатора с электровоспламенителем, который преобразует электрическую энергию в тепловую, вызывая тем самым вспышку воспламеняющегося состава. Электродетонаторы подразделяются на группы мгновенного, замедленного и короткозамедленного действия. Источниками тока при электрическом взрывании являются взрывные машинки, осветительные и силовые электрические линии, передвижные электростанции. Наиболее распространенные источники электрического тока – взрывные машинки – маломощные генераторы с ручным приводом.

Детонирующий шнур (ДШ) предназначен для передачи и возбуждения детонации ВВ на расстоянии, скорость детонации ДШ составляет 8,5 км/с. Взрывание при помощи ДШ применяют в случаях, когда необходимо обеспечить одновременный взрыв серии зарядов ВВ, а также при производстве массовых взрывов с короткозамедленным взрыванием. Инициирование сети ДШ осуществляется КД или ЭД, которые плотно привязывают к ДШ.

Все большее распространение получают *неэлектрические системы инициирования* (НСИ). Основа этих систем – низкоэнергетический проводник – волновод с внутренним напылением реактивного вещества массой от 9 до 20 мг на 1 м длины трубки-волновода. Ударная волна распространяется внутри этой трубки со скоростью 1800–2100 м/с и не оказывает влияния на ее целостность, но способна инициировать замедляющий элемент детонатора. В промышленности применяют НСИ «Нонель» (Швеция), СИНВ (Россия, Новосибирск), «Эдилин» (Россия, Муром). Известно также о разработках НСИ скважинных зарядов «Exel» (Казахстан, Усть-Каменогорск) и «Импульс» (Украина, Шостка).

Средства беспламенного взрывания применяют в угольных шахтах, где не разрешается взрывание даже предохранительных ВВ. Способ беспламенного взрывания основан на быстром образовании в стальных патронах, размещенных в шпурах, газов под высоким давлением ($> 10^8$ Па) и мгновенном выбросе их в шпур.

Организация безопасного ведения взрывных работ

Проведение взрывных работ регламентируется «Едиными правилами безопасности при взрывных работах». К выполнению взрывных работ допускаются только специально обученные люди, получившие «Единую книжку взрывника» или книжку мастера-взрывника.

Перед проведением взрывных работ составляют проект, или паспорт взрыва, в котором определяют опасную зону, и все люди, не связанные непосредственно с подготовкой и выполнением работ, из этой зоны перед началом подготовки взрыва удаляются.

У границ опасной зоны выставляют посты охраны, предупредительные красные флажки, щиты и т. п.

При взрывных работах обязательно применение звуковых и световых сигналов.

2.5. Гидравлическая отбойка горных пород

Гидравлическое разрушение горных пород основано на использовании кинетической энергии струи воды, выбрасываемой из гидромонитора.

Сущность отбойки состоит в размыве горных пород струей воды большого напора, направляемой на забой. Основным оборудованием при гидравлической отбойке являются гидромониторы, насосы и трубопроводы.

Гидравлическое разрушение применяют на открытых работах при разработке наносных отложений (вскрышные работы) и в отдельных случаях при подземной добыче угля.

Гидравлическую отбойку осуществляют одновременно с транспортировкой разрушенной породы по трубам или наклонным канавам. Вода поступает к гидромонитору от нескольких насосов по трубам диаметром 200–500 мм, расход воды при размыве мягких пород составляет от 700 до 2000 $м^3$/ч.

Отбойку угля в подземных условиях осуществляют струей воды из гидромонитора под давлением 12–16 МПа.

3. ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ

3.1. Стадии открытых горных работ при разработке месторождений полезных ископаемых

Совокупность горных работ, заключающихся в выемке пород верхней части земной коры непосредственно с поверхности земли, для добычи полезных ископаемых или создания котлованов другого назначения называют *открытыми горными работами.*

Открытые горные работы, выполняемые с целью добычи полезных ископаемых, называют *открытым способом разработки* или *открытой разработкой месторождений полезных ископаемых.*

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом включает в себя следующие стадии:

• *подготовительную,* в течение которой освобождают поверхность земельного отвода карьера, т. е. вырубают леса, осушают болота и озера, отводят реки, переносят дороги, коммуникации; проводят предварительное осушение месторождения; ограждают карьер от стоков поверхностных вод; снимают и складируют плодородный почвенный слой земли и т. п.;

• *строительную,* которая заключается в выполнении комплекса горнокапитальных работ, создающих начальный фронт вскрышных и добычных работ и возможность проведения эксплуатационных работ; на этой стадии строят здания и сооружения поверхностного комплекса, предприятия, горные выработки и транспортные коммуникации, обеспечивающие доступ к рабочим горизонтам карьера;

• *эксплуатационную,* в течение которой проводят вскрышные работы, т. е. выемку, перемещение и размещение в отвалах вскрышных пород, и добычные работы, включающие в себя выемку, перемещение, разгрузку или складирование полезного ископаемого; в результате вскрышных работ происходит систематическое удаление пустых пород для создания доступа к полезному ископаемому, поэтому по своему

назначению, они являются подготовительными, а добычные работы, в результате которых извлекают полезное ископаемое из массива пород, – очистными;

- *восстановительную,* которая заключается в рекультивации земель, нарушенных горными работами.

Часть месторождения, отводимая для разработки карьером, называется *карьерным полем.* Все стадии открытой отработки карьерного поля, т. е. месторождения или его части, выполняют на участке поверхности земли, представляющем собой *земельный отвод карьера,* в пределах которого размещают также отвалы вскрышных пород, промышленную площадку и другие производственные сооружения (рис. 3.1).

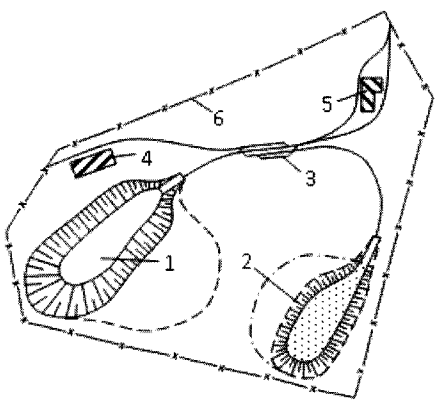


Рис. 3.1. Схема земельного отвода карьера:
1 – карьер; 2 – отвал вскрышных пород; 3 – железнодорожная станция; 4 – административный корпус; 5 –дробильно-сортировочный комплекс; 6 – граница земельного отвода

3.2. Элементы карьера

Вскрышные и добычные работы выполняют в пределах карьерного поля *послойно.* Слои отрабатывают по мере их подготовленности одновременно с некоторым опережением во времени работ, выполняемых на вышележащем слое (рис. 3.2).

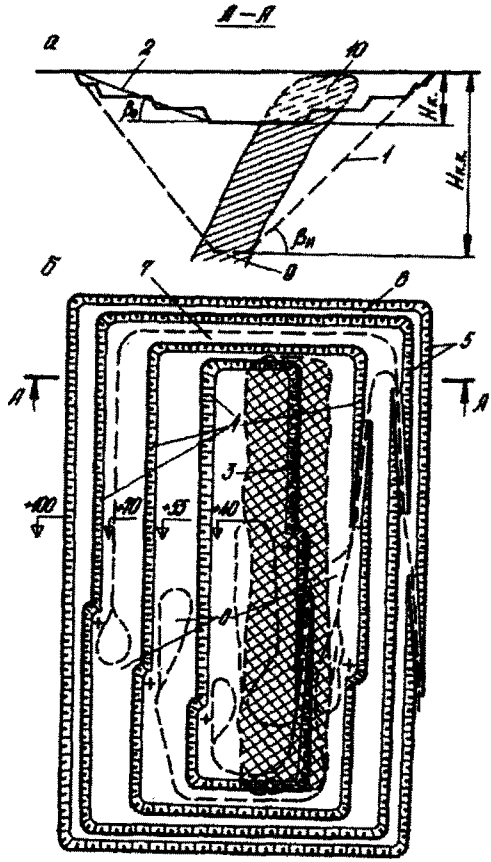


Рис. 3.2. Поперечный разрез (*а*) и план (*б*) карьера:
1 – конечный контур карьера; 2 – линия откоса рабочего бора карьера; 3 – добычной рабочий уступ; 4 – вскрышные рабочие уступы; 5 – вскрышные нерабочие уступы; 6 и 7 – предохранительная и транспортная бермы; 8 – рабочие площадки; 9 – дно карьера; 10 – полезное ископаемое; $\beta_н$ – угол откоса нерабочего борта карьера; β_0 – угол откоса рабочего борта карьера; $H_к$ – текущая глубина карьера; $H_{кк}$ – конечная глубина карьера

Часть слоя, имеющая форму ступени и разрабатываемая самостоятельными средствами выемки и транспорта, называется *уступом* (рис. 3.3).

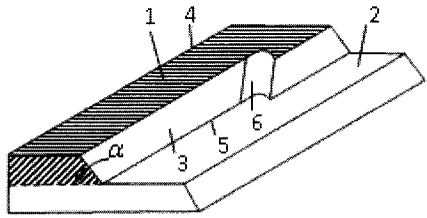


Рис. 3.3. Схема уступа:
1, 2 – верхняя и нижняя площадки; 3 – откос; 4, 5 – верхняя и нижняя бровки; 6 – забой; α – угол откоса

Различают рабочие и нерабочие уступы; на рабочих уступах производят выемку вскрышных пород и полезного ископаемого. Необходимое для разработки уступа оборудование размещают на рабочей площадке уступа.

Уступы могут быть разделены на подуступы, которые разрабатывают разным или одним и тем же выемочным оборудованием, но имеют единый для уступа транспортный путь (рис. 3.4).

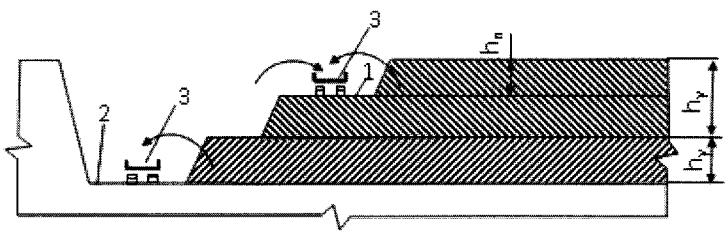


Рис. 3.4. Схема уступа с подуступами:
1 – рабочая площадка верхнего уступа; 2 – рабочая площадка нижнего уступа; 3 – транспортные средства; h_y – высота уступа; $h_п$ – высота подуступа

Часть уступа по его длине, подготовленную к разработке, называют *фронтом работ уступа.*

Совокупность уступов, находящихся в одновременной разработке, называется *рабочая зона карьера.*

Суммарная протяженность фронтов горных работ всех рабочих уступов – *длина фронта горных работ карьера,*

Устойчивость уступа в процессе ведения горных работ зависит от принятого значения *угла откоса уступа,* представляющего собой угол между откосом уступа и горизонтальной плоскостью. Ориентировочные значения углов откосов уступов приведены в табл. 3.1. Ступенчатые боковые поверхности между *откосами* и *площадками уступов,* ограничивающие выработанное пространство, называют *бортами карьера.* Борт с рабочими уступами – *рабочий борт карьера.*

Таблица 3.1

Углы откосов уступов (по данным ВНИМИ)

Группа породы	Характеристика породного массива	Высота одиночного уступа, м	Угол откоса уступа, градус		
			рабочего	нерабочего	
				одиночного	сдвоенного или строенного
Скальные породы, $\sigma_{сж} > 8 \cdot 10^7$ Па	Весьма крепкие осадочные, метаморфические и изверженные породы	15–20	до 90	70–75	65–70
	Крепкие малотрещиноватые и слабовыветрелые осадочные, метаморфические и изверженные породы	15–20	до 80	60–75	55–60
	Крепкие трещиноватые и слабовыветрелые осадочные, метаморфические и изверженные породы	15–20	до 75	55–60	50–55

Продолжение табл. 3.1.

Группа породы	Характеристика породного массива	Высота одиночного уступа, м	Угол откоса уступа, градус		
			рабочего	нерабочего	
				одиночного	сдвоенного или строенного
Малопрочные скальные, полускальные породы, $\sigma_{сж}$= 8 · 10^6÷8 ·10^7 Па	Осадочные, метаморфические и изверженные породы зоны выветривания, относительно устойчивые в откосах известняки, песчаники, алевролиты и другие осадочные породы с кремнистым цементом, конгломераты, гнейсы, порфириты, граниты, туфы	10–15	70–75	50–55	45–50
	Значительно выветрелые осадочные, метаморфические и изверженные породы и все породы, интенсивно выветривающиеся в откосах (аргиллиты, алевролиты, сланцы и др.)	10–15	60–70	35–45	35–40
Мягки и сыпучие породы, $\sigma_{сж}$ < 8 · 10^6 Па	Глинистые породы, а также полностью дезинтегрированные разности всех пород	10–15	50–60	40–45	35–40
	Песчано-глинистые породы	10–15	40–50	35–45	30–40
	Песчано-гравийные породы	10–15	до 40	30–40	25–35

Линию, ограничивающую карьер на уровне земной поверхности, называют *верхним контуром карьера,* а линию, ограничивающую карьер на уровне дна, – *нижним контуром.*

При выполнении горных работ положение рабочего борта, верхнего и нижнего контуров карьера изменяется в пространстве. К моменту окончания горных работ в связи с погашением запасов полезного ископаемого контуры карьера и его глубина достигают конечных положений и размеров.

Конечная глубина карьеров может быть 400–500 м. Проектами для некоторых карьеров определена возможность ведения открытых горных работ до глубины 900 м.

Длина карьеров в конечном верхнем контуре изменяется от сотен метров до 5 км, а ширина – до 4 км. Размеры дна карьера на конечной глубине составляют: ширина – не менее 20 м, длина – не менее 50–100 м.

Откосы уступов нерабочих бортов карьера разделяются горизонтальными *транспортными* и *предохранительными площадками,* которые называют *бермами* (рис. 3.5).

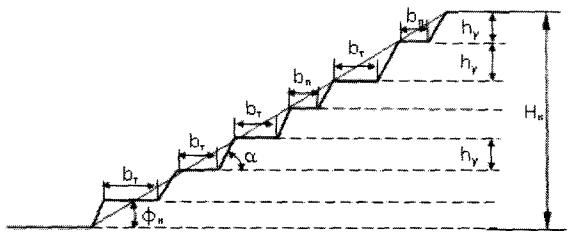


Рис. 3.5. Схема нерабочего борт карьера:
$h_у$ – высота уступа; $b_т$ – ширина транспортной бермы; $b_п$ – ширина предохранительной бермы; α – угол откоса нерабочего уступа; $\varphi_н$ – угол откоса нерабочего борта карьера

Угол между линией, соединяющей верхний и нижний контуры карьера, и горизонтальной плоскостью называется *углом откоса борта карьера.* Угол откоса рабочего борта составляет 10–20°, иногда 23–27°, нерабочего борта – 25–45°. Угол откоса борта карьера является важным параметром, так как даже небольшое его изменение в пределах 1–2°, приводит к существенному увеличению объема вскрышных работ.

Горно-капитальные, вскрышные и добычные работы проводят в порядке, определенном принятой технологией открытых горных работ.

Технология определяет необходимые временные и пространственные соотношения между всеми видами горных работ, позволяющие обеспечить в каждый момент времени необходимый фронт вскрышных и добычных работ, производительную и безопасную работу технологического оборудования и в целом эксплуатацию месторождения.

Технология представляет собой совокупность взаимосвязанных основных и вспомогательных технологических процессов, способов и приемов производства горных работ.

К *основным технологическим процессам* относят подготовку пород к выемке; выемочно-погрузочные работы и перемещение, транспортирование горной массы; складирование, отвалообразование вскрышных пород и разгрузку или складирование полезного ископаемого; первичную переработку и обогащение полезного ископаемого в том случае, если эти процессы выполняют на карьере.

К *вспомогательным процессам* относят проветривание карьера, водоотлив, передвижку железнодорожных путей, линий электроснабжения и связи, ремонт транспортных коммуникаций, доставку материалов и оборудования, оборку откосов уступов от зависших кусков породы и другие процессы, способствующие нормальному ведению горных работ.

3.3. Подготовка горных пород к выемке

Подготовка горных пород к выемке заключается в изменении их естественного состояния с целью обеспечения эффективной разработки месторождения полезного ископаемого.

Подготовка включает в себя текущее осушение массивов пород и обеспечение устойчивости откосов уступов, предотвращение промерзания горных пород и их оттаивание; разупрочнение и разрушение – рыхление горных пород.

Предотвращение промерзания горных пород связано с тем, что при отрицательных температурах прочность мягких горных пород увеличивается в 2–4 раза, и разработка их механическими средствами без предварительного рыхления становится невозможной. В качестве профилактических мер используют вспашку, рыхление и боронование поверхностного слоя породы для снижения его теплопроводности, укрывают поверхность массива теплоизоляционными материалами, создают снеговой или искусственный воздушно-ледяной покров, устраивают специальные навесы и тепляки.

Оттаивание пород осуществляют паром, водой, глубинным или поверхностным электрическим подогревом и другими способами.

Разупрочнение и *разрушение* горных пород производят гидравлическим, взрывным и механическим способами.

Гидравлический способ рыхления основан на разрушении связей между частицами высоко пористых горных пород – глинистых, песчано-глинистых и других, способных поглощать воду.

Для разрушения крепких горных пород и разупрочнения массивов мягких пород с включениями крепких пород на карьерах широко применяют *взрывной способ*. Этот способ осуществляют путем бурения скважин или образования другого вида полостей в горных породах, размещения в них и взрывания зарядов взрывчатого вещества (рис. 3.6).

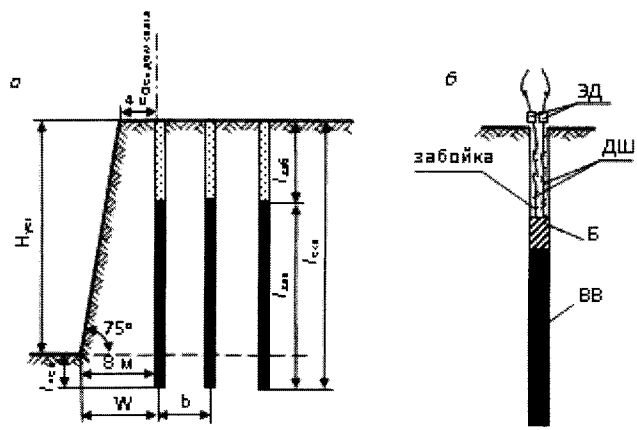


Рис. 3.6. Схема расположения взрывных скважин на уступе карьера (*а*) и конструкция скважинного заряда (*б*):
ЭД – электродетонатор; ДШ – детонирующий шнур; Б – боевик; ВВ – взрывчатое вещество; $H_{уст}$ – высота уступа; $l_{скв}$ – длина скважины; $l_{пер}$ – глубина перебура скважина; $l_{зар}$ – длина заряда; $l_{заб}$ – длина забойки; W – линия сопротивления по подошве; в – растояние между скважинами

При взрывном разрушении горных пород получают горную массу, состоящую из кусков близкой к заданной крупности.

Предельная крупность кусков, т. е. максимально допустимый размер $l_к$ кусков взорванной породы ограничивается вместимостью $V_э$ ковша экскаватора $l_к \leq 0{,}75(V_э)^{1/3}$; вместимостью транспортного сосуда $l_к \leq 0{,}5(V_т)^{1/3}$; размером приемного отверстия дробильной установки или бункера $l_к \leq 0{,}8l_д$; шириной ленты конвейера $l_к \leq 0{,}5B_к - 0{,}1$.

Куски взорванной породы, превышающие допустимый размер, называют *негабаритными*, и они подлежат вторичному дроблению (рис. 3.7).

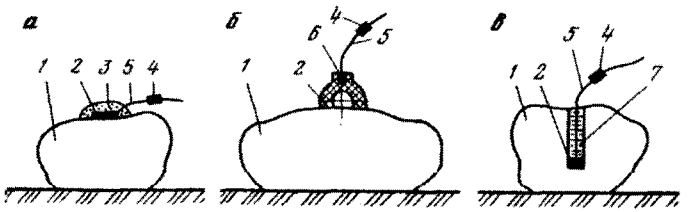


Рис. 3.7. Схемы расположения зарядов при дроблении негабарита:
а – накладной заряд обычной конструкции; б – накладной заряд с кумулятивной выемкой; в – шпуровой заряд с гидрозабойкой; 1 – негабарит; 2 – заряд ВВ; 3 – слой песка или глины; 4 – детонатор; 5 – детонирующий шнур; 6 – промежуточный детонатор; 7 – вода

Развал горной массы должен быть кучным, а ее объем достаточным для обеспечения бесперебойной работы погрузочных машин и транспортных средств.

Взорванную и отброшенную на некоторое расстояние горную массу отрабатывают одной или двумя заходками экскаватора.

При отработке одной заходкой допускаемые высота и ширина развала взорванной породы (рис. 3.8) определяются *радиусом черпания* $R_{чу}$ и *радиусом разгрузки* $R_р$ экскаватора на уровне его стояния.

Ширину развала стремятся иметь такую, чтобы экскаватор мог убрать всю взорванную породу за один проход. Это возможно при условии, когда *ширина развала* составляет

$$B \leq R_{чу} + R_р - C, \qquad (3.1)$$

где С – расстояние по подошве уступа от нижней бровки развала до оси транспортного пути; обычно С = 2,5÷3 м.

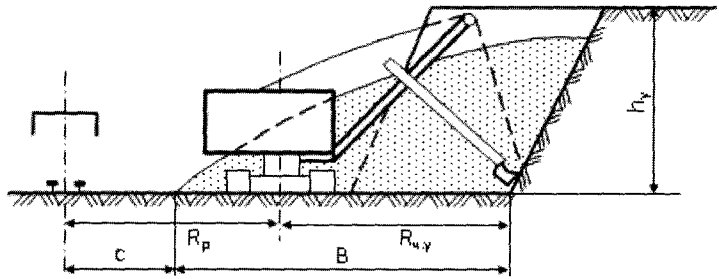


Рис. 3.8. Схема к определению размеров развала взорванной породы

В пределах выемочного блока на одном участке ведут погрузку горной массы, на втором бурят скважины, третий участок находится в резерве (рис. 3.9).

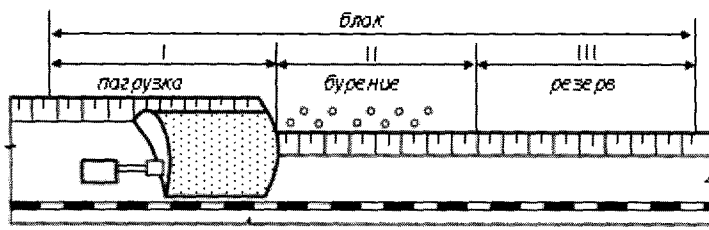


Рис. 3.9. Схема отработки блока

Механическое рыхление – разрушение мягких горных пород – осуществляют экскаваторами, скреперами, погрузчиками и другими машинами.

3.4. Выемочно-погрузочные работы в карьере

К *выемочно-погрузочным работам* относятся извлечение горных пород непосредственно из массива и горной массы из навала, погрузка их в транспортные средства или перемещение в отвал.

Выемку мягких и сыпучих пород обычно проводят непосредственно из массива, выемку разрушенных пород – из развала. Выемку и погрузку горной массы осуществляют одной машиной.

Выемочно-погрузочные машины являются определяющими по производительности в комплекте горных и транспортных машин технологического потока. Их производительность зависит от качества подготовки горных пород к выемке и транспортного обслуживания.

Выемка и погрузка горных пород на карьерах осуществляются как машинами *цикличного действия* (ПМ ЦД): гидравлическими экскаваторами, мехлопатами, драглайнами, скреперами, бульдозерами, одноковшовыми погрузчиками, так и машинами *непрерывного действия* (ПМ НД): роторными и цепными экскаваторами, выемочно-погрузочными машинами фрезерного типа, средствами гидромеханизации – гидромониторами, плавучими землесосными снарядами, драгами и т. д.

В рудной промышленности наибольшее распространение имеют *одноковшовые экскаваторы;* многоковшовые экскаваторы применяют только при разработке мягких руд и пород. По конструкции рабочего оборудования одноковшовые экскаваторы подразделяются на следующие типы: прямая механическая лопата; драглайн (канатно-ковшовый экскаватор); обратная механическая лопата (канавокопатель); струг; грейферный экскаватор. Обратная механическая лопата, грейферный экскаватор и струг имеют ограниченное применение в горнорудной промышленности.

Экскаваторы разрушают горные породы при внедрении в них ковша под действием подъемных и напорных усилий, передаваемых на него с помощью подъемных канатов или гидропривода. Рабочий цикл экскаватора цикличного действия состоит из отделения породы от массива или черпания предварительно разрушенной породы, ее перемещения к месту разгрузки, разгрузки и поворота к месту очередного черпания. Многоковшовые экскаваторы эти операции осуществляют одновременно.

Роторные экскаваторы – машина непрерывного действия являются самыми производительными, (до 14 тыс. $м^3/ч$). Они предназначены для разработки мягких, а при повышенных удельных усилиях резания (8,3–13,7 Н/см) – плотных пород

и углей. Принцип работы заключается в снятии стружки ковшами роторного колеса при его вращении и перемещении в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

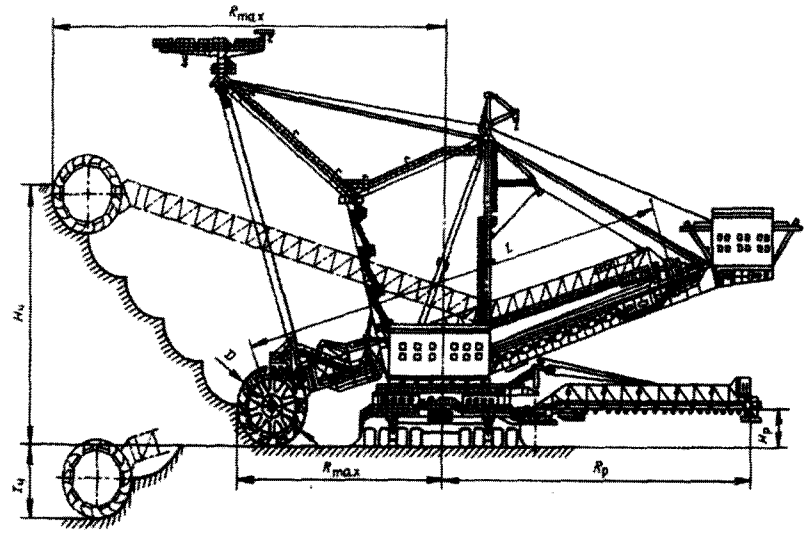


Рис. 3.10. Технологические параметры роторного экскаватора

Работа роторных экскаваторов предусматривается в основном с конвейерным транспортом или с отвалообразователем.

Другим видом машин непрерывного действия для разработки горных пород является *многоковшовый цепной экскаватор* (рис. 3.11). Его рабочий орган представляет собой жесткую или шарнирно-сочлененную раму, поддерживаемую на канатах стрелы. Принцип работы рабочего органа заключается в том, что при перемещении по поверхности уступа каждым ковшом срезается стружка, заполняя его. Производительность цепных экскаваторов по разрыхленной массе составляет 1400–6 030 м^3/ч.

Основные технологические параметры многоковшовых цепных экскаваторов – глубина черпания $I_ч$, высота черпания $H_ч$ и длина разгрузочной консоли *l* (рис. 3.10, 3.11).

Высота отрабатываемого уступа определяется конструкцией экскаватора, указывается в технической характеристике. Глубина или высота черпания современных экскаваторов составляет от 12 до 33 м.

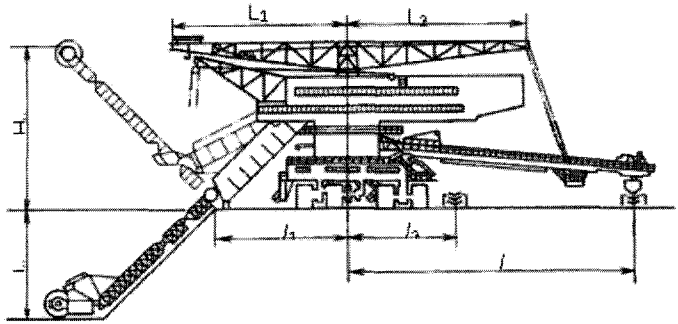


Рис. 3.11. Конструктивная схема цепного экскаватора на гусеничном ходу

Многоковшовый рабочий орган имеют и драги, предназначенные для разработки россыпных месторождений (рис. 3.12). Находясь на плаву, драга проводит отработку забоя под водой.

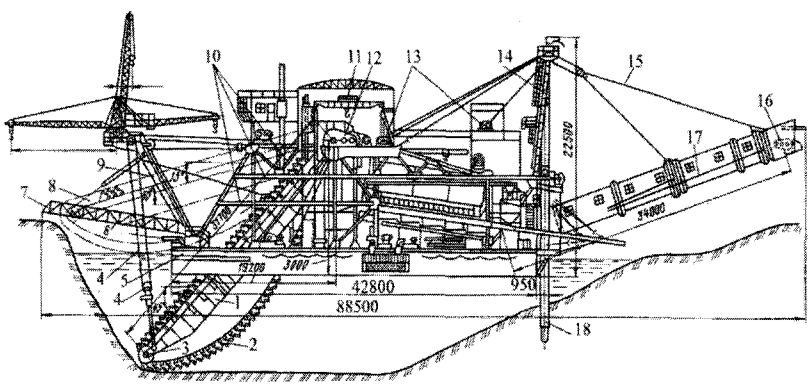


Рис. 3.12. Схема драги:

1 – ковшовая рама; 2 – ковшовая цепь; 3 – нижний ковшовый барабан; 4 – подвеска ковшовой рамы; 5 – понтон; 6 – гидромонитор; 7 – береговой мостик; 8 – ковшовая рама в поднятом положении; 9 – передняя мачта; 10 – суперструктура; 11– мостовой кран; 12 – главный привод; 13 – лебедки подъема стаккера; 14 – лестница; 15 и 16 – подвес и привод главного конвейера; 17 – главный привод; 18 – свая

К рассматриваемому классу машин относятся также *гидромониторы* (рис. 3.13). Разработка мягких горных пород гидромониторами основана на разрушении их струей воды из насадки.

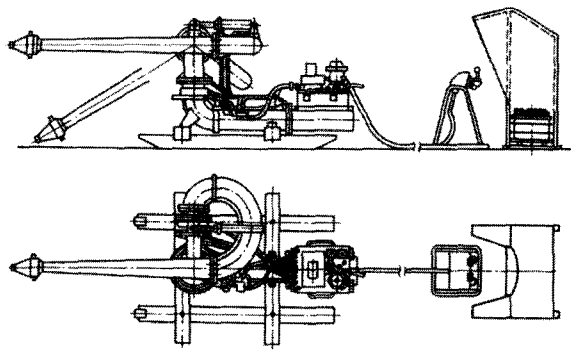


Рис. 3.13. Гидромониторная установка с дистанционным управлением

Драглайн является выемочно-погрузочной машиной цикличного действия. Им разрабатывают мягкие и сыпучие породы, а полускальные породы добываются с предварительным взрывным рыхлением.

Основными технологическими параметрами драглайнов являются вместимость ковша, габариты, масса, давление на грунт, преодолеваемый уклон и рабочие параметры, т. е. высота $H_ч$ и глубина черпания $I_ч$, радиусы черпания $R_ч$: максимальный с забросом ковша $R_{ч\ max}$, на уровне стояния $R_{ч.у.}$, разгрузки $R_р$, высота разгрузки $H_р$ и радиус вращения кабины $R_к$ (рис. 3.14).

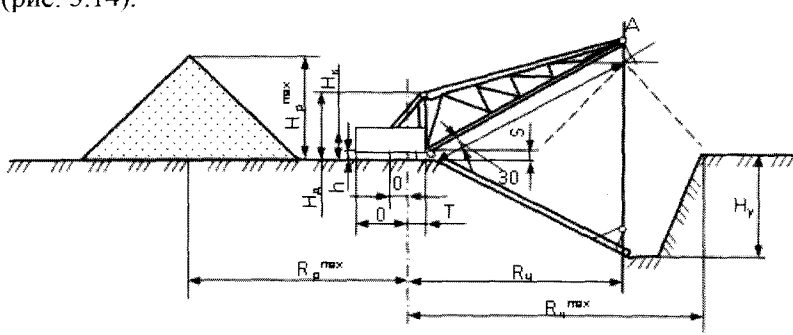


Рис. 3.14. Конструктивная схема шагающего экскаватора – драглайна

Технические характеристики драглайнов изменяются в широких пределах: глубина нижнего копания до 94,5 м; вместимость ковша от 16 до 126 м^3; длина стрелы от 58 до 131 м; максимально допустимая нагрузка от 36 до 340 т; рабочая масса от 1043 до 7 620 т.

Экскаваторы типа механической лопаты являются наиболее распространенными выемочно-погрузочными машинами на карьерах.

Современные карьерные экскаваторы имеют гусеничный ход и электрический или дизельный привод. По средствам перемещения рукояти с ковшом они подразделяются на канатные и гидравлические.

Черпание у *канатного экскаватора* происходит благодаря усилию напорного механизма, расположенного на стреле, и его подъемных канатов от подъемных лебедок. Траектория черпания при этом сохраняется постоянной, начинается она в нижней части забоя (рис. 3.15).

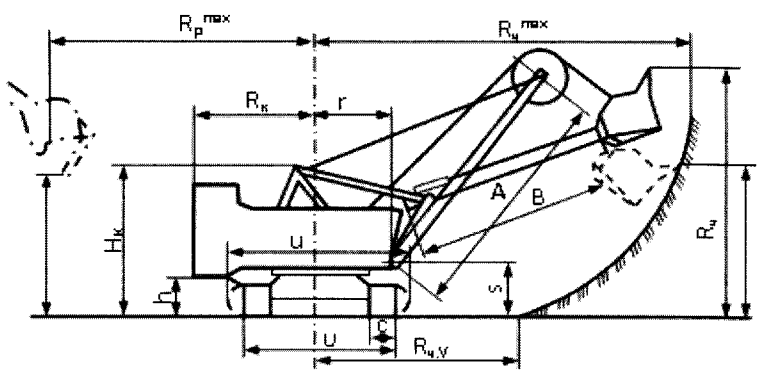


Рис. 3.15. Конструктивная схема механической лопаты

У гидравлического экскаватора траектория черпания может быть самой разнообразной (рис. 3.16) благодаря особому соединению рукояти со стрелой и дополнительному механизму поворота ковша на конце рукояти. Этим обеспечивается более эффективное использование энергии для внедрения и наполнения ковша.

Гидравлические экскаваторы имеют независимый гидравлический привод во всех элементах рабочего

оборудования и повышенные усилия на зубьях ковша. Они пригодны для всех климатических условий (-40 до +40 градусов). Максимальное гидравлическое давление 36 МПа, масса до 980 т, вместимость ковша до 50 м^3.

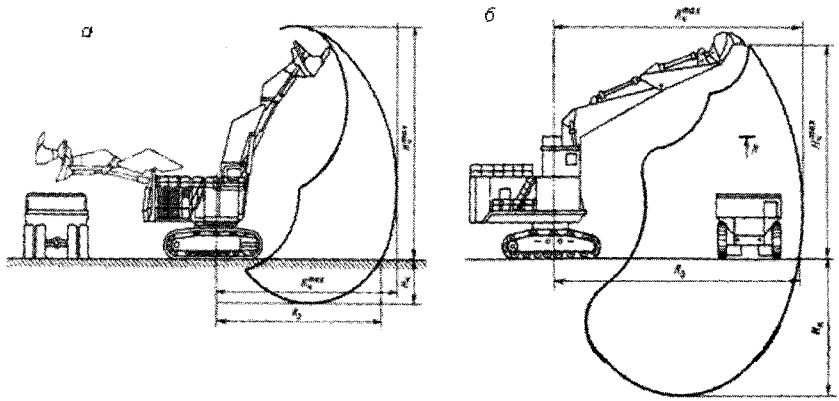


Рис. 3.16. Конструктивные схемы карьерных гидравлических экскаваторов: *а – прямых лопат; б – обратных лопат*

Бульдозеры, скреперы и одноковшовые погрузчики относят к *выемочно-транспортным машинам,* которые отделяют часть горной породы от массива или навала, перемещают ее в рабочем органе и укладывают в отвал или грузят в транспортные средства.

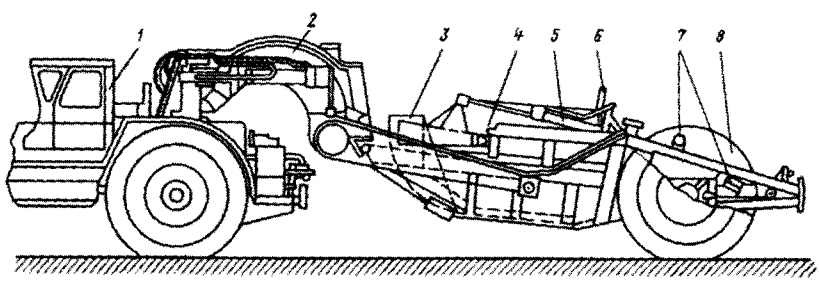


Рис. 3.17. Самоходный скрепер на базе одноосного тягача:
1 – тягач; 2 – передок; 3 – заслонка; 4 – ковш; 5 – гидросистема; 6 – задняя стенка; 7 – пневмосистема; 8 – колесо

Скреперы относятся к землеройно-транспортным машинам цикличного действия. Они предназначены для послойного срезания слабых пород и транспортирования их на расстояние до 3–6 км (самоходные колесные скреперы) или в пределах 0,3–0,9 км (с гусеничным тягачом) с последующей послойной укладкой в месте выгрузки, т. е. ему необходимо двигаться.

Бульдозеры применяются для выполнения вскрышных и добычных работ при разработке россыпей. Это агрегат, состоящий из базового гусеничного или колесного трансипта (тягача) и навесного бульдозерного оборудования: (отвала, устройства для подвески отвала к базовой машине, системы привода отвала) (рис.3.18).

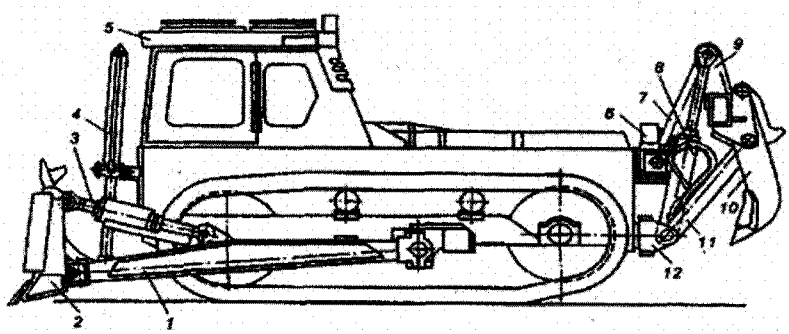


Рис. 3.18. Бульдозер-рыхлитель на гусеничном ходу:
1 – толкающий брус; 2 – отвал; 3 – гидрораскос; 4 – гидроцилиндры подъема опускания отвала; 5 – базовый трактор Т–330; 6 – гидроуправление рыхлителя; 7 – верхняя тяга; 8 – гидроцилиндры подъема-опускания рыхлителя; 9 – рабочая балка; 10 – зуб; 11 – нижняя тяга; 12 – нижняя опорная балка

По мощности тягача подразделяют на: легкие (до 75 кВт), средней мощности (75–150 кВт), мощные (150–250 кВт) и сверхмощные (более 250 кВт).

Бульдозеры применяются также на основных работах по удалению покрывающих пород, на отвалах, на рекультивационных и вспомогательных работах.

Одноковшовые погрузчики применяются на карьерах в качестве выемочно-погрузочного, выемочно-транспортного и вспомогательного оборудования.

В качестве выемочно-погрузочного оборудования наибольшее распространение они получили на карьерах с автомобильным транспортом.

К настоящему времени преимущественное развитие получили пневмоколесные и гусеничные погрузчики фронтального типа, как наиболее простые по конструкции и надёжные в эксплуатации (рис. 3.19). Разгрузка бывает *передняя, задняя* и *боковая.*

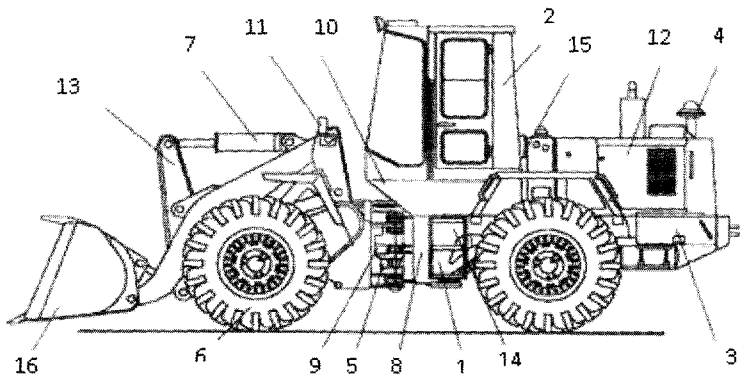


Рис. 3.19. Одноковшовый фронтальный погрузчик:
1 – установка гидромеханическая передача; 2 – установка кабины; 3 – рама; 4 – установка силовая; 5 – установка карданных валов; 6 – установка мостов и колес; 7 – гидросистема погрузочного оборудования;8 – гидросистема гидромеханическая передача; 9 – гидросистема рулевого управления; 10 – управление; 11 – электросистема; 12 – облицовка;13 – оборудование погрузочное; 14 – гидросистема тормозов; 15 – установка трубопроводов отопителя; 16 – ковш

Карьерные погрузчики выпускаются с ковшом вместимостью от 4,5 до 12 м^3 на колесном ходу.

Погрузку горной массы проводят в автосамосвалы, железнодорожные вагоны и на ленточные конвейеры.

Выемочно-погрузочные работы выполняют в забоях. *Забой* представляет собой торец, откос или площадку уступа,

При выемке горных пород *мехлопатой* различают тупиковый, торцевой и фронтальный забои (рис. 3.20). Наибольшее распространение получили тупиковые и торцевые забои.

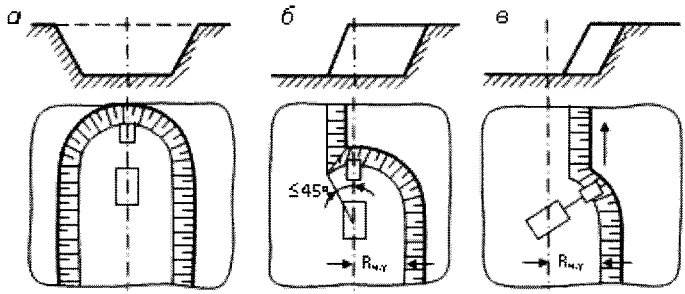


Рис. 3.20. Типы забоев, разрабатываемых мехлопатами:
а – тупиковый; б – торцовый; в – фронтальный

Тупиковый забой применяют при проведении траншей (поэтому его называют также *траншейным)* в основном с использованием автомобильного транспорта. В случае проведения траншей с применением железнодорожного транспорта экскаватор работает с верхней погрузкой. *Торцевой забой* позволяет работать с максимальной производительностью экскаватора, что связано с его наиболее удобным расположением относительно транспортных средств.

Разработку пород *торцевыми* и *тупиковыми* забоями ведут также с применением *драглайнов*. Драглайны размещают обычно на кровле уступа и чаще всего применяют для перевалки вскрышных пород в выработанное пространство.

В зависимости от расположения забоя относительно горизонта стояния выемочно-погрузочной машины выемку различают с верхним, нижним и смешанным черпанием; аналогично этому различают нижнюю, верхнюю и смешанную погрузку горной массы в транспортные средства (рис. 3.21).

Высота уступа h_y при разработке мягких горных пород не должна превышать максимальной высоты черпания $H_{ч.макс}$ экскаватора, т. е. $h_y \leq H_{чмакс}$. Максимальная высота уступа должна обеспечивать наполнение ковша экскаватора за одно черпание.

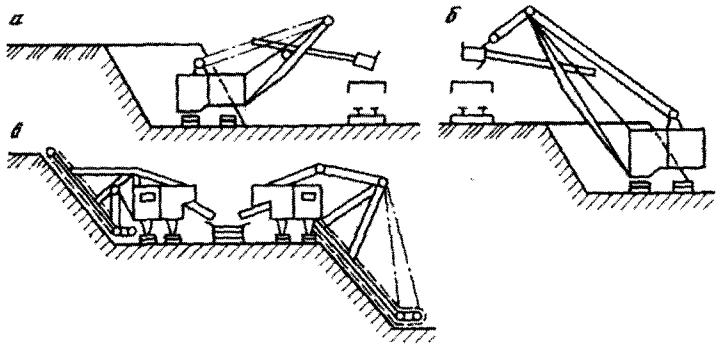


Рис. 3.21. Схемы работы экскаваторов:
а – с верхним черпанием и нижней погрузкой; б – с верхним черпанием и верхней погрузкой; в – с верхним и нижним черпанием и нижней погрузкой

Роторные экскаваторы разрабатывают уступы в основном *торцевым забоем;* в этом случае экскаватор стоит на месте, а стрела с ротором поворачивается относительно оси экскаватора на угол, равный 90–135°. Роторными экскаваторами вынимают горную массу вертикальными и горизонтальными *стружками* (рис. 3.22). При экскавации устойчивых пород применяют вертикальные стружки, при рыхлых и сыпучих породах – горизонтальные. Толщина срезаемой стружки зависит от мощности экскаватора, свойств пород и колеблется в пределах 0,3–0,8 м.

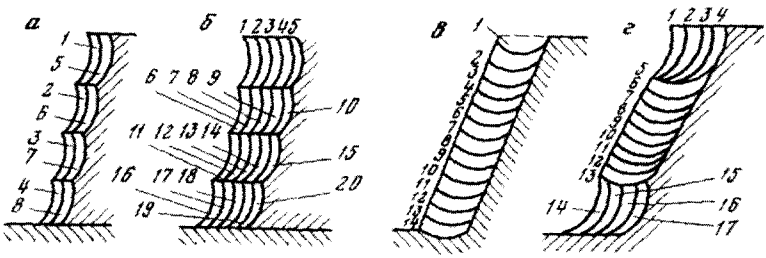


Рис. 3.22. Схема выемки породы роторными экскаваторами:
а – вертикальными однорядными стружками; б – вертикальными многорядными стружками; в – горизонтальными стружками; г – комбинацией вертикальных и горизонтальных стружек; 1–20 – очередность снятия стружек

Многоковшовые цепные экскаваторы с механизмом передвижения по рельсовому пути разрабатывают уступы *фронтальными забоями.* Выемку горной массы при этом проводят параллельными и веерными стружками. Стружки образуются при движении ковшей по откосу уступа и перемещении экскаватора вдоль уступа с заданной скоростью. Скорость передвижения современных цепных экскаваторов при выемке породы составляет 4–12 м/мин.

Максимальная толщина стружки, снимаемая ковшами вместимостью 400–3150 л, составляет 50–100 см.

Высота забоя многоковшовых цепных экскаваторов – 5–40 м. Угол наклона рамы < 45°.

Производительность многоковшовых экскаваторов – до 12 000 м^3/ч.

К наиболее трудоемким вспомогательным работам при выемке и погрузке горной массы относят очистку ковшей и ходовой части экскаваторов от налипающей и намерзающей породы, уборку просыпающейся при погрузке горной массы, планировку трассы экскаваторов, подавление пыли в экскаваторных забоях и др.

При применении одноковшовых экскаваторов трудоемкость вспомогательных работ составляет 20–30 % общей трудоемкости выемочно-погрузочных работ.

Вскрышные работы

Характерной особенностью открытых горных работ является необходимость удаления горных пород, покрывающих или вмещающих месторождение полезного ископаемого.

Годовые объемы таких пород, называемых *вскрышными*, или вскрышей, могут во много раз превышать объемы добываемого полезного ископаемого.

Общее количество вскрышных пород, перемещаемых при разработке месторождения, зависит от принятых значений углов откосов карьера, при которых его боковые поверхности будут находиться в устойчивом состоянии.

Экономическая эффективность открытых горных работ, границы и предельная глубина карьеров в значительной мере определяются относительным объемом вскрыши, который характеризуется коэффициентом вскрыши.

Коэффициент вскрыши показывает, какое количество вскрышных пород необходимо переместить в границах карьера или за его пределы, для того чтобы добыть единицу количества полезного ископаемого. Единицы измерения коэффициентов вскрыши – т/т, $м^3/м^3$, $м^3/т$. Так, если коэффициент вскрыши равен 4 $м^3/т$, то это значит, что на 1 т добываемого полезного ископаемого приходится извлекать из массива 4 $м^3$ пустой породы.

Различают следующие виды коэффициентов вскрыши: граничный, средний, среднеэксплуатационный, текущий, контурный, слоевой, первоначальный и плановый.

Граничный коэффициент вскрыши $k_{гр}$ – максимально допустимый по условию экономичности открытых разработок коэффициент вскрыши. По величине он соответствует объему вскрышных пород на единицу полезного ископаемого, который допустимо перемещать из массива в отвалы по условию экономичности открытых горных работ. Он определяется по формуле

$$k_{гр} = \frac{c_г - c_д}{c_в}, \qquad (3.2)$$

где $c_г$ – экономически допустимые затраты на добычу на 1 $м^3$ полезного ископаемого, $тг/м^3$.

За такой показатель обычно принимают затраты на добычу 1 $м^3$ полезного ископаемого подземным способом $c_п$.

По величине граничного коэффициента вскрыши $k_{гр}$ устанавливают границы открытых горных работ.

Средний коэффициент вскрыши – отношение объема вскрышных пород $V_{в.к}$ в конечных контурах карьера или его участка к объему полезного ископаемого $V_{и.к}$ в этих же контурах или на этом же участке:

$$k_{в.к} = V_{в.к}/V_{и.к} . \qquad (3.3)$$

Если значения $V_{в.к}$ и $V_{и.к}$ получены по материалам геологоразведочных работ, то кср называют *геологическим*.

Среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши $k_{ср.э}$ – средний коэффициент вскрыши за период эксплуатационных работ в карьере. Он определяется отношением общего объема вскрышных пород $V_{в.к}$ в карьере за минусом объема $V_{в.с}$, который был удален при строительстве карьера, к общим запасам полезного ископаемого $V_{и.к}$ за минусом той части $V_{и.с}$, которая добыта при строительстве карьера

$$k_{ср.э} = (V_{в.к} - V_{в.с})/(V_{и.к} - V_{и.с}). \quad (3.4)$$

Он служит для планирования горных работ и расчетов требуемого количества горного и транспортного оборудования на период эксплуатации.

Текущий коэффициент вскрыши $k_т$ – отношение объема вскрышных пород $V_{в.т}$ фактически перемещаемых из массива в отвалы за какой-либо период времени (месяц, квартал, год) к добываемому объему полезного ископаемого $V_{и.т}$ за этот же период, определяется из выражения

$$k_т = V_{в.т} / V_{и.т}. \quad (3.5)$$

Он характеризует принятый порядок развития горных работ за период работы предприятия.

Вскрышные породы можно перемещать из карьера на земную поверхность и укладывать во *внешние отвалы,* т. е. находящиеся за пределами контуров карьера, или размещать во *внутренние отвалы,* расположенные в выработанном пространстве в пределах контура карьера.

При разработке месторождений с перевозкой пустых пород во внешние отвалы коэффициент вскрыши может достигать исходя из условия экономичности горных работ 10 м^3/т, а при перевалке вскрышных пород из забоя непосредственно в отвал – 20 м^3/т и более.

Удельные затраты по отдельным производственным процессам при ведении вскрышных работ с перемещением пород за пределы карьера (по проф. В. С. Хохрякову) приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Удельные затраты на вскрышных работах

Горные породы	Доля затрат по процессам, %				
	Буровзрывные работы	Выемка и погрузка породы	Содержание забойных путей	Перемещение горной массы	Отвалообразование
Мягкие	0	18–20	12–16	40–50	18–22
Средней крепости	13–18	16–23	10–12	38–45	15–18
Крепкие	18–28	20–25	8–10	35–40	6–15

3.5. Грузопотоки и транспортное обеспечение грузоперевозок

Трудоемкость грузоперевозок на карьерах весьма высокая и составляет с учетом вспомогательных работ 45–50 %, а в отдельных случаях – до 65–70 % общих затрат на добычу полезного ископаемого.

К *особенностям карьерных грузоперевозок* относят значительный объем и одностороннюю направленность перемещения карьерных грузов, периодическую передвижку транспортных коммуникаций в связи с непрерывным изменением положения забоев, движение в грузовом направлении, как правило, с преодолением значительных подъемов.

Интенсивность работы карьерного транспорта характеризуется *грузооборотом карьера*, представляющим собой количество грузов в кубометрах или тоннах, перевозимых в единицу времени: час, смену и др.

Грузооборот карьера определяет масштаб горных работ и слагается из объемов перевозок вскрыши, полезного ископаемого и хозяйственно-технических грузов. Основной объем в грузообороте обычно составляет перевозка вскрыши.

Часть грузооборота, характеризующаяся устойчивым во времени направлением перемещения грузов (вскрышных пород, полезного ископаемого), называется *грузопотоком*.

Грузопотоки обычно разделяют по видам перевозимых грузов - вскрыша и полезное ископаемое и пунктам назначения. Такие грузопотоки называют *рассредоточенными.* Грузопоток называют *сосредоточенным,* если все грузы в нем перемещают из карьера на земную поверхность в одном направлении по одним транспортным коммуникациям (рис. 3.23).

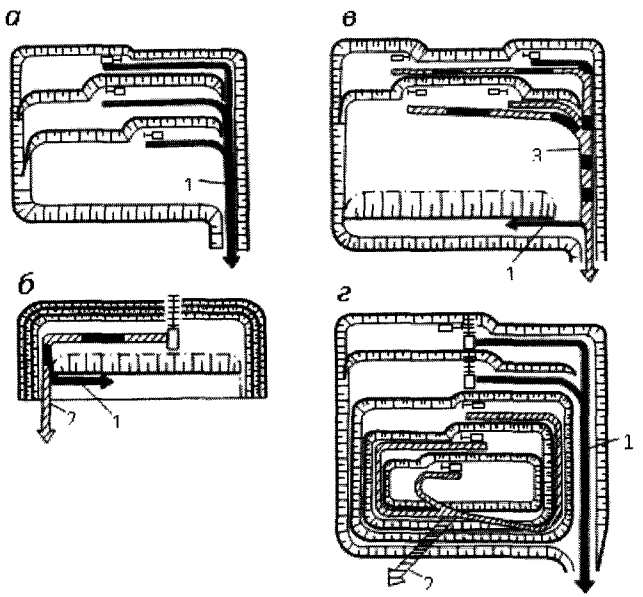


Рис. 3.23. Схемы грузопотоков из карьера:
1 – вскрышных пород; 2 – полезного ископаемого; 3 – попеременно пустых пород и полезного ископаемого

Транспортирование горных пород на карьерах продится транспортными машинами цикличного действия транспорта (ТМ ЦД): железнодорожным, автомобильным транспортом; дизель-троллейвозами и троллейвозами, подъемными устройствами и машинами непрерывного действия (ТМ НД): конвейерами, консольными отвалообразователями; средствами гравитационного и гидравлического транспорта и канатно-подвесными дорогами.

При железнодорожных и автомобильных перевозках карьерных грузов *продолжительность цикла* складывается из продолжительности погрузки, времени движения с грузом к пункту разгрузки, продолжительности разгрузки, времени движения к месту погрузки и пауз между операциями цикла.

При конвейерном и гидравлическом транспортировании такая цикличность отсутствует, эти операции выполняются одновременно.

К основным видам транспорта, обеспечивающим грузоперевозки при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, относят железнодорожный, автомобильный и конвейерный.

Область применения каждого вида карьерного транспорта зависит от условий залегания разрабатываемых месторождений, физико-технических свойств перевозимых пород, дальности перевозок, объемов грузопотоков, технических возможностей транспортных средств: вместимости транспортных емкостей, максимальных преодолеваемых подъемов и минимальных радиусов поворотов.

Железнодорожный транспорт имеет широкое распространение на карьерах благодаря высокой надежности в любых климатических условиях, способности транспортировать горные породы с различными физико-механическими свойствами.

Железнодорожный транспорт наиболее эффективен для перемещения горной массы на карьерах с годовым грузооборотом 25 млн. т и более при дальности транспортирования от 3 до 12 км. Этот вид транспорта является высокопроизводительным, надежным в эксплуатации и более дешевым по сравнению с автомобильным и конвейерным транспортом; стоимость 1 т-км перевозок в 4–6 раз меньше. В то же время железнодорожный транспорт требует наибольших радиусов закруглений пути – 100–120 м, значительной протяженности фронта работ – 500–600 м и допускает минимальные подъемы пути – 40–60 ‰.

Карьерные рельсовые пути различают *временные,* их периодически перемещают на уступах вслед за движением фронта горных работ, и *постоянные,* укладываемые

на длительный срок в капитальных траншеях и на земной поверхности. Важной характеристикой рельсового пути является величина его подъема или уклона в продольном направлении, которую принято выражать в промиллях и определять по формуле

$$i = 1000 \operatorname{tg}\alpha,$$

где i – величина подъема, α – угол подъема пути.

Максимальный подъем пути в грузовом направлении называют *руководящим подъемом* $i_р$, по его величине определяют допустимую массу поезда. Руководящий подъем для тепловозной тяги составляет 25 ‰, для электровозной – 40–60 ‰, для моторовагонной – 80 ‰.

Подвижной состав карьерных железных дорог состоит из вагонов и локомотивов.

Вагоны для перевозки вскрыши называются *думпкарами*, полезного ископаемого – *гондолами* и *хопперами*.

Думпкар представляет собой мощную платформу, способную выдерживать большие динамические нагрузки при разгрузке ковшей экскаваторов. Разгрузка думпкара осуществляется наклоном его в одну или другую сторону с помощью пневматических цилиндров. При этом борт думпкара откидывается или поднимается рычажным механизмом. Выпускают думпкары типа ВС – вагон саморазгружающийся грузоподъемностью 60, 85,105, 145, 170 т и соответственно вместимостью 30, 38, 50, 68, 80 м^3.

Гондолы и хопперы представляют собой вагоны без крыши с разгрузкой через отверстия, образующиеся в гондолах открытием люков в днище, в хопперах – в нижней части боковых стенок. *Гондолы* выпускают грузоподъемностью 63, 94 и 125 т, они широко применяются для перевозки полезного ископаемого.

Техническая характеристика подвижного состава включает основные данные:

грузоподъемность вагона – наибольшая масса груза, допустимая к перевозке. Его вместимость устанавливается с учетом меньшей объемной массы породы, перемещаемой на карьерах;

масса тары вагона – собственная масса вагона;

количество осей вагона характеризует давление на ось. Максимальная допустимая нагрузка на ось при существующей конструкции путей составляет 280–300 кН;

коэффициент тары – отношение массы тары вагона к его грузоподъемности.

В качестве *локомотивов* для перевозки составов вагонов применяют электровозы, тепловозы и тяговые агрегаты.

Электровозы – наиболее прогрессивный тип локомотивов; они позволяют повысить в 2–3 раза по сравнению с тепловозами полезную массу поездов, снизить в 1,5–2 раза затраты на транспортирование, обеспечить преодоление подъемов до 80 ‰. Недостатком этого вида тяги является устройство контактной сети, которую необходимо перемещать вместе с временными рельсовыми путями. Электровозный транспорт получает питание от сети постоянного тока напряжением 1500 и 3000 В и от сети однофазного переменного тока промышленной частоты напряжением 10 кВ и 3 кВ. Электровозы типа Д94, ВЛ26, EL21 имеют сцепной вес от 940 до1600 кН.

Тепловозы – локомотивы с двигателями внутреннего сгорания (дизелями). Большая часть тепловозов оборудована системой дизель-генератор. Достоинством тепловозной тяги является отсутствие электрической контактной сети, к недостаткам относят возможность преодоления подъемов не более 25 ‰, высокие (15–20 %) по сравнению с электровозным транспортом капитальные затраты на приобретение основного оборудования, сложность ремонта.

Тяговые агрегаты представляют собой сочетание электровоза, дизельной секции автономного питания и нескольких моторных думпкаров. Такая система позволяет увеличить сцепной вес и полезную массу поезда в 2–2,5 раза по сравнению с электровозами, а наличие дизельной секции обеспечивает возможность исключения контактной сети на временных рельсовых путях.

К преимуществам железнодорожного транспорта относят сравнительно небольшой расход энергии и возможности применения любых типов локомотивов, достижения практически любой величины грузооборота, надежность работы в любых климатических условиях, кроме того затраты на 1 ткм

перевозок в 46 раз меньше, чем при автомобильных перевозках и использовании конвейерного транспорта.

Вместе с тем для экономически эффективных железнодорожных перевозок карьерных грузов необходима протяженность фронта работ на уступах от 500–600 м. Минимальные радиусы кривых карьерных железнодорожных путей составляют 100–120 м, максимальные подъемы и уклоны путей в основном до 30 ‰.

Подготовка железнодорожных перевозок характеризуется значительными объемами горнокапитальных работ, существенными капитальными затратами. Высоки затраты на содержание транспортных коммуникаций и их эксплуатацию.

Для железнодорожных перевозок характерна более сложная в сравнении с другими видами транспорта система организации движения.

Ориентировочная схема карьерных железнодорожных путей показана на рис. 3.24.

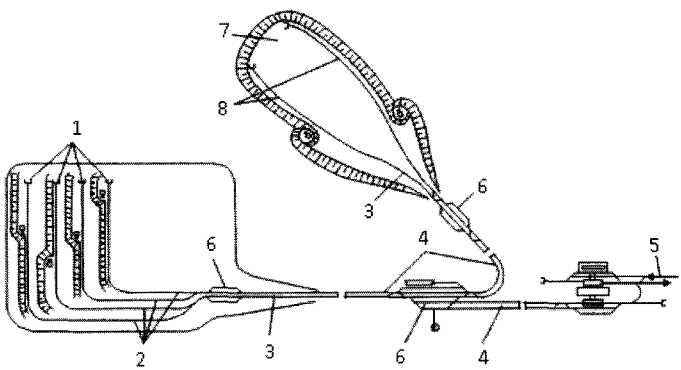


Рис. 3.24. Схема развития железнодорожных путей на карьере:
1 – временные забойные пути; 2 – соединительные пути; 3 – пути капитальных траншей и съездов; 4 – поверхностные пути; 5 – магистральные пути; соединяющие карьер с путями министерство путей сообщения; 6 – раздельный пункт; 7 – отвал; 8 – временные отвальные дороги

Карьерные железнодорожные пути разделяют на отдельные участки, называемые перегонами, с помощью *разделительных пунктов,* к которым относят:

• посты и разъезды, разделительные пункты, предназначенные для регулирования движения поездов посредством их остановки или пропуска проходящих; посты обеспечивают выполнение правил безопасности, согласно которым на перегоне может находиться только один состав;

• Станции разделительные пункты, имеющие разветвленную сеть путей, сосредоточенных на определенной территории, и предназначенные для обгона поездов, приема и отправления грузов, формирования поездов и осуществления ремонтных действий.

В зависимости от числа транспортных выходов с уступа карьера движение поездов может быть организовано по маятниковой *тупиковой схеме* с одним выходом и по поточной *сквозной схеме* с двумя выходами.

Основные показатели грузоперевозок на карьере железнодорожным транспортом зависят от полезной массы поездов, пропускной способности пути и числа транспортных средств.

Полезную массу поезда $Q_{гр}$ определяют с учетом руководящего подъема $i_р$, сцепного веса локомотива $P_{сц}$, коэффициента сцепления ведущих колес с рельсами $K_{сц} = 0{,}18 \div 0{,}34$, массы локомотива $Q_л$, удельного сопротивления движению $\omega_0 = 20 \div 30$ Н/т, массы породы в вагоне $q_{гр}$ и массы вагона $q_т$.

Сцепным весом локомотива называют часть его веса, приходящуюся на ведущие оси.

$$P_{сц} = P_л n'/n, \qquad (3.6)$$

где $P_л$ – вес локомотива; n' – число ведущих осей локомотива; n – общее число осей; обычно, у электровозов и тепловозов $n' = n$.

Полезную массу поезда с учетом указанных ранее параметров определяют по формуле

$$Q_{гр} = \{P_{сц} K_{сц} 10^4/(\omega_o + 10 i_р) - Q_л\} q_{гр}(q_т + q_{гр}) = n_в q_{гр}, \qquad (3.7)$$

где $n_в$ – число вагонов в поезде.

Пропускная способность пути $N_п$ определяется числом поездов (составов), которое может быть пропущено по перегону в единицу времени:

$$N_п=\{30T/(t + t_c)\}n_п, \quad (3.8)$$

где T – интервал времени, за который определяют пропускную способность перегона; в сутки T = 22 ч, в смену T = 7÷7,5 ч; t – продолжительность движения состава по перегону, мин; t_c – интервал времени, требующийся для связи между разделительными пунктами: постами, разъездами и станциями; при автоматической связи $t_c = 0$, при телефонной связи t_c – 3÷4 мин и более; $n_п$ – число путей на перегоне,

Провозную способность перегона М, представляющую собой количество груза, которое может быть перевезено по этому перегону в единицу времени, определяют из выражения

$$M = N_п n_в q_{гр}/K_{рез}, \quad (3.9)$$

где $K_{рез}$ = 1,2÷1,25 – коэффициент резерва провозной способности.

Число рейсов $N_р$ всех локомотивосоставов в сутки, обеспечивающее суточный грузооборот W_c карьера, находят по формуле

$$N_р = K_{рез} W_c/(n_в q_{гр}). \quad (3.10)$$

Общее число рабочих *локомотивосоставов* на карьере:

$$N_c = K_{рез} W_c t_р/(n_в q_{гр}), \quad (3.11)$$

где $t_р$ – продолжительность рейса локомотивосостава, $t_р = t_п + t_{раз} + t_д + t_{ож}$, здесь $t_п$ – продолжительность погрузки, $t_{раз}$ – продолжительность разгрузки, $t_{ож}$ – продолжительность простоя состава в ожидании погрузки или разгрузки, $t_д$ – продолжительность движения состава, $t_д = t_{д.в} + t_{д.ст}$, здесь $t_{д.в}$ – продолжительность движения состава по временным путям на рабочих площадках уступов со скоростью 15–20 км/ч и $t_{д.ст}$ – продолжительность движения по стационарным путям со скоростью 35–40 км/ч.

Автомобильный транспорт получил широкое распространение на открытых разработках благодаря автономности, мобильности, высокой эффективности работы в сложных топографических, геологических и климатических условиях.

Автомобильный транспорт на карьерах характеризуется, как и железнодорожный, грузооборотом, т. е. количеством груза в тоннах, перевозимого в единицу времени.

Автомобильный транспорт применяют для перемещения горной массы на карьерах, главным образом, со сравнительно небольшим годовым грузооборотом в 15–20 млн. т при расстоянии транспортирования до 4–5 км. С использованием автосамосвалов грузоподъемностью 75–180 т и более автотранспорт может быть эффективным при годовом грузообороте до 50–60 млн. т и более. Основными преимуществами автомобильного транспорта являются его способность преодолевать подъемы 80–100 ‰, высокая маневренность и небольшие радиусы поворота – 15–25 м, отсутствие ограничений по длине фронта работ. Недостатки: резкое снижение эффективности эксплуатации при увеличении расстояния транспортирования, относительно высокая стоимость перевозок, большая зависимость от климатических условий, сложность организации ремонтного хозяйства.

Эффективность применения автотранспорта на карьерах зависит от оптимального сочетания рабочих параметров экскаватора и автосамосвалов, а также от схемы подъезда автосамосвала к забою и установки его под погрузку у экскаватора.

Рациональным принято следующее соотношение между вместимостью кузова автосамосвала $V_а$ и вместимостью ковша экскаватора $V_э$:

$$V_а/V_э = 4 \div 10. \qquad (3.12)$$

Схемы подъезда автосамосвала к экскаватору под погрузку бывают сквозными, с петлевым или с тупиковым разворотами (рис. 3.25).

Наиболее рациональным является *сквозной подъезд*, при котором автосамосвалы, двигаясь по магистральным траншейным дорогам, съезжают на забойные и после загрузки

продолжают движение в том же направлении; использование этой схемы возможно при наличии двух выездов с рабочего горизонта.

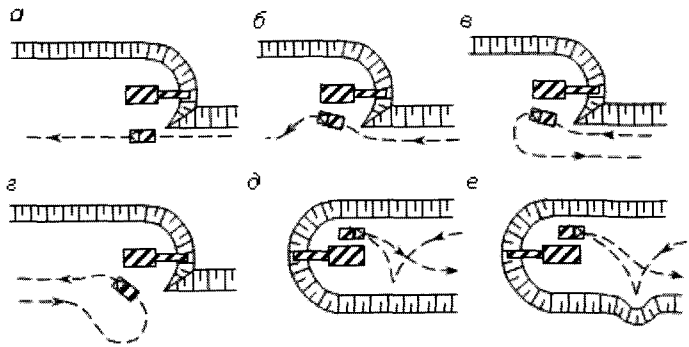


Рис. 3.25. Схемы подъезда автосамосвалов к экскаваторам:
а, б – сквозной подъезд; в, г – подъезд с петлевым разворотом; д, е – подъезд с тупиковым разворотом

При одном выезде с рабочего горизонта применяют подъезд с *петлевым разворотом,* который не требует сложных маневров.

Подъезд с *тупиковым разворотом* используют обычно при проведении траншей, ограниченное пространство которых не позволяет осуществлять петлевой разворот.

Грузооборот карьера связан с пропускной и провозной способностью автомобильных дорог.

Пропускную способность дорог определяют возможным числом автосамосвалов, которые могут пройти через определенный участок дороги в единицу времени. При однополосном движении автосамосвалов в одном направлении пропускную способность автодороги определяют по формуле

$$N = 1000\,\upsilon K_{нд}/l_б, \qquad (3.13)$$

где υ – скорость движения автосамосвала, км/ч; $K_{нд} = 0{,}5 \div 0{,}8$ – коэффициент неравномерности движения; $l_б \geq 50$ м – безопасное расстояние между движущимися друг за другом автосамосвалами.

Провозную способность автодороги находят из выражения

$$M = \sum_{i=1}^{n} N_i q_{гpi} K_{рез}^{-1}, \qquad (3.14)$$

где N_i и $q_{гpi}$ – число автосамосвалов и масса груза, перевозимого ими; $K_{рез}$= 1,75÷2 – коэффициент резерва.

Карьерные автодороги различают *стационарные,* т. е. расположенные в капитальных траншеях, на поверхности карьера, имеющие длительный срок эксплуатации, и *временные* – проложенные на уступах и отвалах и перемещающиеся вслед за продвижением фронта горных работ. Ширина проезжей части дороги зависит от габаритов подвижного состава и, например, для автосамосвалов грузоподъемностью 27–40 и 75–120 т составляет соответственно 13–15 м и 20–25 м. Вдоль автодорог устраивают боковые кюветы для отвода вод. От состояния дорог зависит эффективность эксплуатации автомобильного транспорта.

Подвижной состав включает в себя автосамосвалы и полуприцепы. *Автосамосвалы* – это машины с кузовом, обычно разгружающимся посредством опрокидывания назад; у полуприцепов кузов выполнен отдельно от тягача и соединяется с ним специальным прицепным устройством, полуприцепы могут разгружаться назад, набок или через дно.

Крупнейшими производителями карьерных самосвалов (внедорожных) являются Liebherr (Германия), Caterpillar (США), Bucyras-Terex-Unit Rig (США), БелАЗ (Белоруссия), Komatsu-Haulpak (Япония), Hitachi-Euclid (Япония-США), Kress.

В настоящее время в связи с увеличением загазованности от эксплуатации автотранспорта на глубоких горизонтах карьеров и ограничением в расходах дизельного топлива возрос интерес к использованию на карьерах троллейвозов. Современные автосамосвалы большой грузоподъемностью с мотор-колесами вполне способны использовать питание от контактных приводов на стационарных участках трассы. Уклон дорог для дизель-троллейвозов может достигать 10 %.

Конвейерный транспорт является самым прогрессивным. Конвейер представляет собой металлическую ферму, в которой

в качестве несущего органа используется резиновая лента (ленточные конвейеры), цепь со скребками (скребковый конвейер), пластины (пластинчатый конвейер) или желоба (вибрационный конвейер).

Для транспортирования мягких, дробленных скальных и полускальных горных пород получили распространение ленточные конвейеры. Принцип их работы заключается в перемещении горной породы на конвейерной ленте, которая приводится в движение тяговым устройством.

Конвейер состоит и отдельных секций (ставов) с приводом и натяжным устройством. Длина конвейерного става зависит от прочности ленты и конструктивных особенностей конвейера.

Перегрузка горной массы с одного става на другой предусматривается через консоль одного става в бункер другого.

По назначению и месту расположения в карьере конвейерный транспорт различают на забойный, сборочный, подъемный, магистральный и отвальный (рис. 3.26).

Забойные конвейеры располагаются на рабочей площадке уступа, они предназначены для транспортирования горной массы от экскаватора до сборочного конвейера.

Сборочные (передаточные) конвейеры располагаются в торцевых частях карьера, они предназначены для транспортирования горной породы от одного или нескольких забойных конвейеров к подъемнику.

Подъемные конвейеры располагаются в нерабочей или временно нерабочей зоне карьера (в траншеях или в подземных наклонных выработках) и предназначаются для доставки горной массы из рабочей зоны карьера на поверхность.

Магистральные конвейеры располагаются на поверхности карьера и предназначаются для транспортирования пород вскрыши к отвалам, а полезного ископаемого – на обогатительную фабрику или к складам.

Отвальные конвейеры располагаются на отвалах. По характеру своей работы они аналогичны забойным конвейерам, т. е. они должны перемещаться вслед за отвальным фронтом.

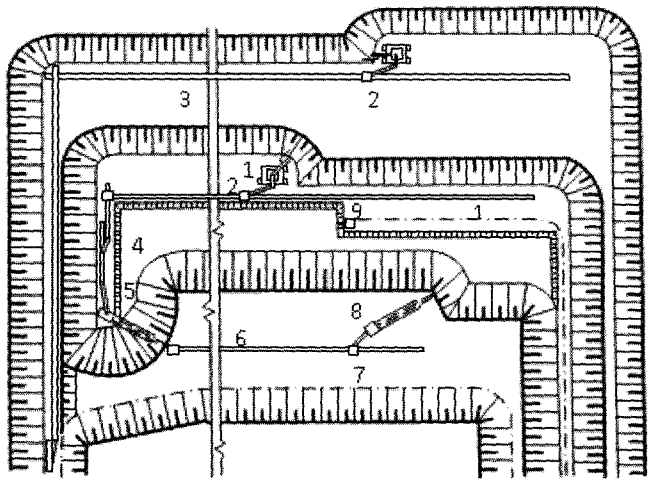


Рис. 3.26. Схема размещения конвейерного комплекса на карьере: *1 – роторные экскаваторы; 2 – загрузочные бункеры; 3 – забойный конвейер; 4 – поперечный конвейер; 5, 8 – консольные отвалообразователи; 6 – отвальные конвейеры; 7 – тележки разгрузочные; 9 – добычной экскаватор; 10 – ось транспортных коммуникаций для доставки полезного ископаемого*

В конвейерный комплекс для транспортирования крепких горных пород входит самоходный приемный бункер с грохотильной или дробильной установкой для приема горной массы от выемочно-погрузочной машины в забое и подготовки ее к транспортированию ленточными конвейерами простым отсевом негабаритных кусков или дополнительным ее дроблением до кондиционного состава.

Технологическими параметрами конвейеров являются производительность, длина конвейерного става, угол наклона, мощность привода, при этом также учитываются ширина и скорость движения ленты.

Кроме ленточных в определенных условиях эксплуатации применяют ленточно-канатные конвейеры, внедряют крутонаклонные конвейеры, а также ленточно-тележечные конвейеры, обеспечивающие транспортирование крупнокусковых скальных грузов без предварительного дробления.

К конвейерным установкам относят также *транспортно-отвальные мосты, консольные отвалообразователи и конвейерные перегружатели.*

Консольный отвалообразователь представляет собой одноопорную металлическую ферму, которая смонтирована на поворотной платформе, имеющей самостоятельный ход.

Отвалообразователи типа ОГ, ОШР, ОШ – это горнотранспортные машины на гусеничном, шагающе-рельсовом или шагающем ходу, предназначенные для перемещения в отвалы вскрышных пород с включением кусков породы размером до 600 мм. Приемная консоль отвалообразователя при работе опирается на опорную тележку, связанную с перегрузочной тележкой отвального конвейера (ОШР–7 000/85), или подвешена на подвеске (ОГ–4500/60, ОШР–7 000/190), что делает отвалообразователь полноповоротной машиной.

Трубопроводный транспорт является транспортом непрерывного действия. На карьерах он представлен гидравлическим транспортом. Являясь самым эффективным, он имеет большие ограничения применения по климатическим условиям (сезонность работы), свойствам транспортируемых пород (мягкие горные породы и частично дробленные полускальные) и наличию водоисточников.

Гидравлический транспорт горных пород на карьере, как и конвейерный, позволяет объединить в непрерывный поток выемку, доставку и отвалообразование, создавая единый гидравлический комплекс.

Гидротранспорт – это перемещение смеси мягких или дробленных полускальных горных пород по трубам в воде с критической скоростью, создаваемой землесосом (грунтососом). Он получил распространение при разработке россыпных месторождений для перемещения песков к промывочным установкам и пустой породы в отвал, а также для доставки мягких вскрышных пород в отвал.

Канатные подвесные дороги (рис. 3.27) применяются в основном как элемент комбинированного транспорта на карьерах со сложными топографическими условиями для доставки полезного ископаемого от перегрузочного пункта, куда оно доставляется автотранспортом до обогатительной фабрики.

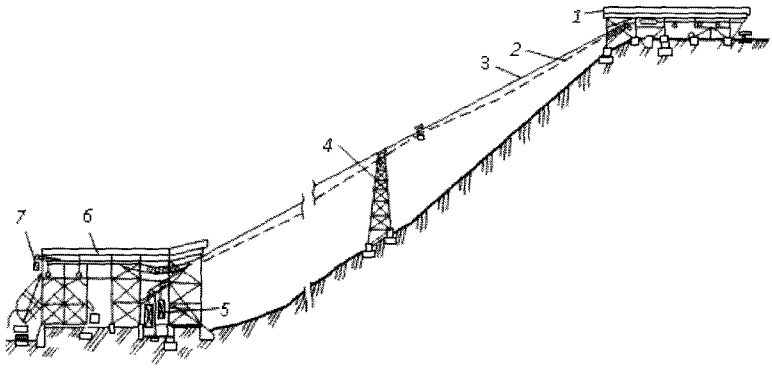


Рис. 3.27. Схема канатной подвесной дороги:
1 и 6 – приемный и разгрузочный бункеры; 2 – тяговый канат; 3 – несущий канат; 4 – опора; 5 и 7 – натяжные станции

Принцип работы канатной подвесной дороги заключается в загрузке вагонеток из дозатора на погрузочной станции, перемещении грузов и разгрузке в приемный бункер. Процесс погрузки и разгрузки, а также режим работы всей установки автоматизированы. Высота опор канатной дороги (15–100 м) и расстояние между ними (≈ 500 м) зависят от рельефа местности. Благодаря возможности преодоления больших (до 45°) уклонов и относительной независимости от рельефа местности канатная подвесная дорога обеспечивает доставку горной массы по кратчайшему расстоянию.

Скипы применяются для подъема горной массы с глубоких горизонтов карьеров на поверхность или спуска ее с рабочих горизонтов до господствующей поверхности. Скорость их движения достигает 8,5 м/с. Трасса скипа прямолинейная под любым углом вплоть до угла в 90° при расположении ее в вертикальном стволе.

Скип загружается на перегрузочном пункте в карьере из карьерного транспорта, чаще всего из автомобильного или непосредственного из автогрузчиков или через бункер и разгружается опрокидыванием на поверхности в перегрузочный бункер.

На открытых горных работах широко применяют ***комбинированные способы*** *перемещения горной массы,*

представляющие собой сочетание нескольких видов карьерного транспорта. Наибольшее применение находит комбинация автомобильного (перемещение от забоя до перегрузочного пункта) и железнодорожного транспорта (перемещение от перегрузочного пункта до отвалов или обогатительной фабрики).

Используют также комбинированные автомобильно-скиповую и автомобильно-конвейерную схемы перемещения горной массы.

При применении комбинированного транспорта, особенно на нагорных или глубоких карьерах, в местах перегрузки с одного вида транспорта на другой устраиваются перегрузочные пункты, которые являются связующим элементом транспортного потока.

Перегрузочные пункты бывают нескольких видов: с непосредственной перегрузкой из одного вида транспорта в другой, с использованием перегрузочных машин с аккумулированием горной массы в штабеле или бункере с последующей погрузкой ее на транспорт, с аккумулированием в рудоспуске с применением стационарных и полустационарных дробильных агрегатов.

Правила безопасности при грузоперевозках на карьерах

Правилами безопасности запрещается подходить к железнодорожным путям, не убедившись в отсутствии опасности, запрещается ходить по рельсам и по концам шпал. Ходить разрешается только по междупутью или по обочине пути. Для перехода путей с интенсивным движением транспортных средств необходимо пользоваться тоннелем или специальными переходами. Нельзя переходить на другую сторону состава под вагонами.

Запрещается хождение по автодорогам и их обочинам из-за опасности получения травм при падении кусков горной массы.

Запрещается людям находиться на движущейся и неподвижной конвейерной ленте. Для перехода на другую сторону ленточного конвейера необходимо пользоваться специально оборудованными мостками или переходами под конвейерами, защищенными от случайно падающих с конвейера кусков горной породы.

3.6. Отвалообразование

Отвалообразование, или *отвальные работы* представляют собой совокупность производственных процессов по размещению вскрышных пород в насыпях, называемых *отвалами.*

Наиболее экономичным и экологически безопасным является размещение вскрышных пород в выработанном пространстве карьера. Такие отвалы называют *внутренними.*

При разработке наклонных и крутопадающих месторождений возможность создания внутренних отвалов часто отсутствует. Поэтому в этих случаях для складирования вскрышных пород приходится отводить специальные участки на земной поверхности на некотором расстоянии от карьера, т. е. укладывать горную породу во *внешние отвалы.*

Под внешние отвалы, особенно под *гидравлические отвалы,* по возможности отводят балки, овраги, заболоченные участки, склоны гор и холмов.

Отвал вскрышных пород характеризуется следующими параметрами: высотой, числом уступов (ярусов), углом откоса уступов, результирующим углом откоса отвала, приемной способностью, размерами в плане и др.

Высота отвального уступа зависит, главным образом, от физико-технических свойств пород, укладываемых в основании отвала, а также от средств механизации отвальных работ. При экскаваторном отвалообразовании высота отвального уступа изменяется в широких пределах и составляет на равнинной местности 15–30 м, а в гористой местности – 70 м и более. При бульдозерном отвалообразовании высота отвала в зависимости от свойств пород изменяется от 10 до 35 м. Угол откоса отвальных уступов обычно равен углу естественного откоса пород, размещенных в отвале, и составляет около 30–40°.

Объем складируемых вскрышных пород – приемная способность отвала – зависит от коэффициента разрыхления и угла естественного откоса пород, от высоты отвального уступа и числа уступов, от площади участка для размещения отвала.

Отвалообразование включает в себя транспортирование и разгрузку вскрышных пород на отвале, размещение, складирование пород, планировку поверхности отвала

и перемещение транспортных коммуникаций на отвале. По способу механизации отвальных работ к основным видам отвалообразования относят экскаваторное, бульдозерное и конвейерное с отвалообразователями.

Отвальные экскаваторы укладывают в отвал вскрышные породы, разгружаемые из вагонов-думпкаров железнодорожного транспорта. Экскаватор-мехлопата может располагаться несколько ниже отвальных железнодорожных путей (рис. 3.28).

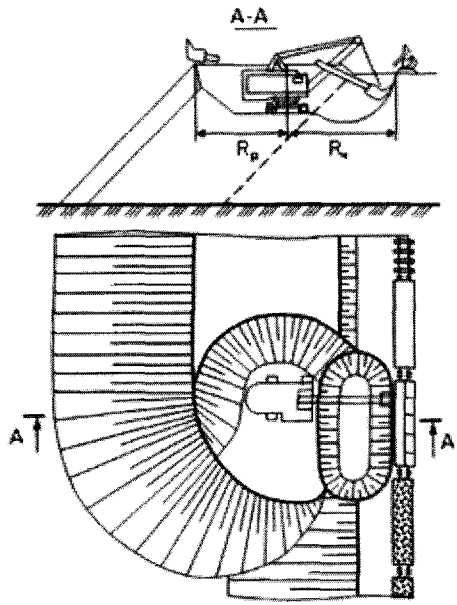


Рис. 3.28. Схема отвалообразования с применением прямой мехлопаты:
$R_р$ – радиус разгрузки; $R_ч$ – радиус черпания

Порода, разгружаемая из думпкаров на площадку отвального подуступа, попадает в приемную выемку-канаву, откуда ее экскаватором укладывают в отвал. Высота верхнего подуступа зависит от высоты разгрузки экскаватора и составляет обычно 4–9 м. Отвальный экскаватор отсыпает полосу шириной 25–35 м, после чего железнодорожные пути отдельными звеньями передвигают на такое же расстояние.

При складировании в отвал больших объемов сыпучих и мелко раздробленных пород в качестве отвалообразователей применяют *многоковшовые экскаваторы-абзетцеры.*

Абзетцер – полноповоротный экскаватор, снабженный ковшовой рамой или ротором и разгрузочным механизмом в виде консольной фермы с ленточным конвейером.

Вскрышные породы разгружают из думпкаров в приемные траншеи, откуда выбирают исполнительным органом абзетцера и с помощью отвальной консоли конвейера подают в отвал. Приемную траншею располагают на верхней площадке отвала параллельно верхней бровке отвального уступа.

Высота отвала, создаваемого абзетцерами, достигает 90 м. Техническая производительность абзетцеров – 2–7 тыс. $м^3$/ч.

При использовании конвейерного транспорта отвалообразование осуществляют, как правило, консольными ленточными отвалообразователями или реже транспортно-отвальными мостами.

Консольный отвалообразователь представляет собой одноопорную металлическую ферму с ленточным конвейером, смонтированную на поворотной платформе, которая имеет самостоятельный ход: шагающий, шагающе-рельсовый или реже гусеничный.

На мощных глубоких карьерах со скальными вскрышными породами применяют циклично-поточную технологию отвал ообразования .

В состав комплекса циклично поточной технологии входят экскаваторы и автосамосвалы грузоподъемностью 170–200 т, дробильно-перегрузочные пункты, конвейерные линии с ленточными конвейерами, отвалообразователи.

Дробильно-перегрузочный пункт является стыковочным звеном между цикличной и поточной составными частями этой технологии. В состав дробильно-перегрузочного пункта входят приемный бункер, дробилка с размером приемного отверстия 1200 мм и шириной выходной щели 200 мм, пластинчатый питатель.

Управление *экскаваторно-автомобильным комплексом* в карьере осуществляют с применением системы спутникового контроля положения объектов GPS. Производительность отвалообразования с применением циклично-поточной

технологии составляет до 15–20 млн. $м^3$/год, высота первого яруса конвейерного отвала – 70–90 м.

Бульдозерное отвалообразование применяют в сочетании с автомобильным транспортом при использовании бульдозеров средней мощности и в сочетании с железнодорожным транспортом при использовании бульдозеров большой мощности.

При *бульдозерном отвалообразовании с автомобильным транспортом* процесс отвалообразования включает в себя разгрузку автосамосвалов на верхней площадке отвального уступа, перемещение пород бульдозерами под откос уступа, планировку поверхности отвала и ремонт автодорог. При *бульдозерном отвалообразовании с железнодорожным транспортом* отвальный уступ разделяют на два подуступа. Вскрышные породы разгружают из думпкаров на верхнюю площадку нижнего подуступа и бульдозерами перемещают к откосу. Высота верхнего подуступа равна 1,5–5–2,5 м.

Высота бульдозерных отвалов на равнинной местности для скальных пород составляет 30–35 м, для песчаных пород – 15–20 м, для глинистых пород – 10–15 м. У нагорных карьеров высота бульдозерных отвалов достигает 150 м и более.

При отвалообразовании необходимо соблюдать определенные правила безопасности. Запрещается спускаться и подниматься по откосам отвальных уступов, а также находиться вблизи их основания. При приемке локомотивосостава на отвале необходимо находиться со стороны борта думпкара, противоположного откосу отвала, а в момент разгрузки быть на расстоянии от него не менее 5 м.

Рекультивация земель, нарушенных открытыми горными работами

Рекультивацию земель, нарушенных открытыми горными работами, выполняет горное предприятие в соответствии с действующим законодательством.

Основная доля земель, нарушаемых при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, приходится на земли, занимаемые внешними породными отвалами, хвостохранилищами, шламохранилищами и горными выработками.

Приведение нарушенных земель в пригодное для дальнейшего использования состояние можно выполнять параллельно с ведением горных работ или после их завершения,

Рекультивацию нарушенных земель можно осуществлять в следующих направлениях: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, водохозяйственное, рыбохозяйственное, строительное (гражданское и промышленное строительство).

Различают горно-технологическую и биологическую рекультивацию.

Горно-технологическая рекультивация включает в себя выемку, складирование и хранение плодородной почвы, формирование отвалов, выполаживание откосов, покрытие отвалов плодородным слоем, проведение мелиоративных мероприятий.

После горно-технологической рекультивации проводят *биологическую рекультивацию,* которую можно осуществлять с нанесением плодородного слоя почвы на восстанавливаемую поверхность или без его нанесения. К биологической рекультивации относят посадку кустарниковых и лесных культур, посев многолетних трав, внесение минеральных удобрений и устройство водоемов.

Для работ по рекультивации нарушенных земель применяют экскаваторы, бульдозеры, грейдеры, скреперы и другие машины и механизмы.

3.7. Вскрытие и подготовка карьерного поля

Вскрытие месторождения – это обеспечение транспортного доступа от поверхности Земли к различным участкам месторождения посредством проходки капитальных горных выработок, создающих возможность проведения подготовительных выработок. При открытом способе разработки к капитальным выработкам относятся вскрывающие наклонные траншеи, подземные выработки и т. д., а к подготовительным – разрезные траншеи, котлованы.

Задачей вскрытия является установление транспортной связи между рабочими площадками уступов и земной поверхностью.

Капитальные траншеи – наклонные горные выработки, предназначенные для вскрытия рабочих горизонтов; эти

выработки служат длительный срок и используются для расположения в них транспортных коммуникаций.

Разрезные траншеи – горизонтальные горные выработки, предназначенные для создания фронта работ на уступах. Разрезные траншеи на рабочем горизонте карьера являются продолжением капитальных траншей, вскрывающих данный рабочий горизонт.

Карьерное поле вскрывают при помощи капитальных траншей и подготавливают его к разработке проведением разрезных траншей (рис. 3.29).

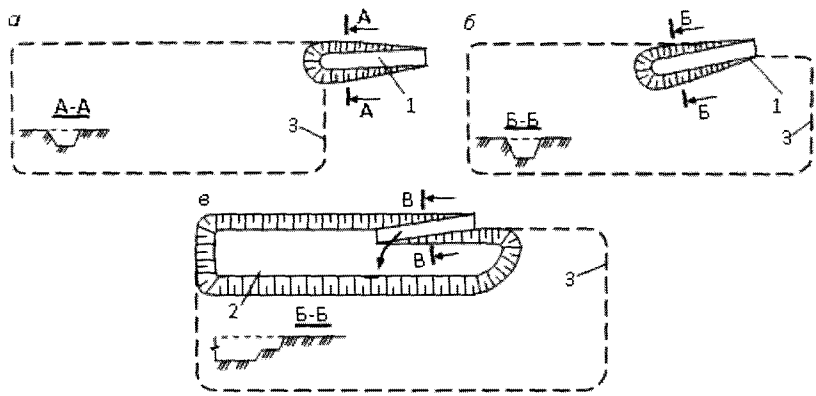


Рис. 3.29. Схемы заложения траншей:
а – капитальная траншея внешнего заложения; б, в – капитальные траншеи внутреннего заложения до и после проведения разрезной траншеи; 1 и 2 – капитальная разрезная траншея; 3 – конечный контур карьера

Капитальные траншеи могут быть *внешними*, расположенными за пределами контура карьера на его бортах, и *внутренними*, находящимися внутри контура карьера. Внутренние траншеи обычно располагают на *нерабочих бортах карьера*.

Для сокращения продолжительности горно-капитальных работ на рабочих бортах карьера устраивают *временные внутренние траншеи*, которые в этом случае называют *скользящими съездами*,

Относительно фронта работ уступов вскрывающие выработки могут иметь *центральное* или *фланговое заложение* (рис. 3.30).

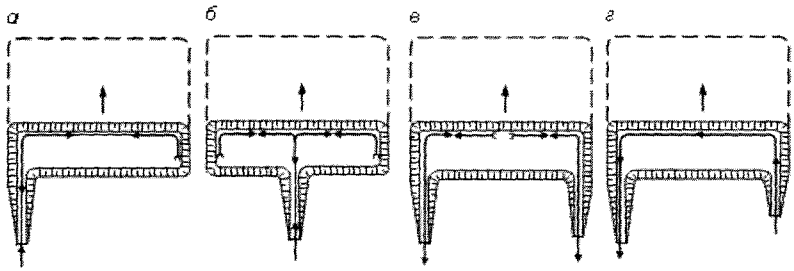


Рис. 3.30. Фронты работ и схемы заложения вскрывающих траншей: *а, в – тупиковый фронт с возвратным движением транспорта и фланговым заложением траншеи; б – тупиковый фронт с возвратным движением транспорта и центральным заложением траншеи; г – сквозной фронт с поточным движением транспорта и фланговым заложением траншей*

Движение транспорта при этом может быть *возвратное,* соответствующее тупиковому фронту работ, и *поточное,* соответствующее сквозному фронту работ.

Вскрытие карьерного поля осуществляют, главным образом, отдельными групповыми или общими капитальными траншеями. Применяют также бестраншейное вскрытие с экскаваторной перевалкой вскрышных пород и вскрытие подземными выработками: штольнями, наклонными и вертикальными стволами.

Применяют два основных способа проведения траншей: *бестранспортный* и *транспортный.*

Бестранспортный способ заключается в выемке породы и размещении ее на бортах проводимой траншеи непосредственно выемочным оборудованием: драглайнами или мехлопатами. Этот способ применяют при достаточной устойчивости бортов, позволяющей использовать их для размещения горной массы.

При *транспортном способе* проведения траншей вынимаемую породу перемещают на значительные расстояния средствами железнодорожного, автомобильного и конвейерного транспорта.

Выемку породы и ее погрузку в транспортные средства осуществляют мехлопатами, драглайнами и многоковшовыми экскаваторами с применением нижней и верхней погрузки.

При проведении траншей с использованием автотранспорта в большинстве случаев применяют *нижнюю погрузку;* при использовании роторных экскаваторов для транспортирования горной массы применяют ленточные конвейеры.

3.8. Системы открытой разработки месторождений полезных ископаемых

Под *системой разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом* понимают определенный порядок выполнения вскрышных, добычных и горно-капитальных работ.

Систему разработки считают эффективной, если она обеспечивает экономически выгодную себестоимость добытого полезного ископаемого, минимальные его потери в недрах и безопасные условия работ. Эти показатели могут быть достигнуты на основе механизации и автоматизации технологических процессов, а также при условии максимального комплексного использования добываемых полезных ископаемых и разрабатываемых горных пород.

Системы открытой разработки полезных ископаемых характеризуются элементами, параметрами и показателями системы.

К *элементам* ***системы разработки*** месторождений полезных ископаемых открытым способом относят уступы, фронт работ уступа, фронт работ карьера, рабочую зону карьера, рабочие площадки, транспортные и предохранительные бермы,

Основными параметрами системы открытой разработки полезных ископаемых являются: высота уступа, ширина разрезной траншей (размеры котлована), углы откосов рабочих уступов, ширина заходки, ширина рабочей площадки, длина экскаваторного блока, длина фронта добычных и вскрышных работ на уступе, число рабочих уступов, их протяженность, высота и ширина рабочей зоны, угол откоса рабочего борта карьера, длина фронта по видам полезного ископаемого

в рабочей зоне, объемы вскрытых и готовых к выемке запасов пород, ширина транспортных и предохранительных берм.

К основным показателям системы разработки относятся скорость подвигания забоя уступа, скорость перемещения фронта уступов, скорость углубления горных работ, потери и разубоживания полезного ископаемого в процессе эксплуатации месторождения.

Уступ является одним из важнейших элементов системы открытой разработки полезных ископаемых. Высоту уступов принимают с учетом необходимости максимального использования технических возможностей применяемого оборудования, обеспечения высокого качества, добываемого полезного ископаемого, минимальных объемов горно-капитальных работ и протяженности транспортных коммуникаций, а также условий безопасного ведения горных работ.

При отработке уступов экскаваторами с ковшами вместимостью 3–5 м^3 высота уступов равна 11–14 м, для экскаваторов с ковшами вместимостью 8–12,5 м^3 высота уступов – 16–19 м.

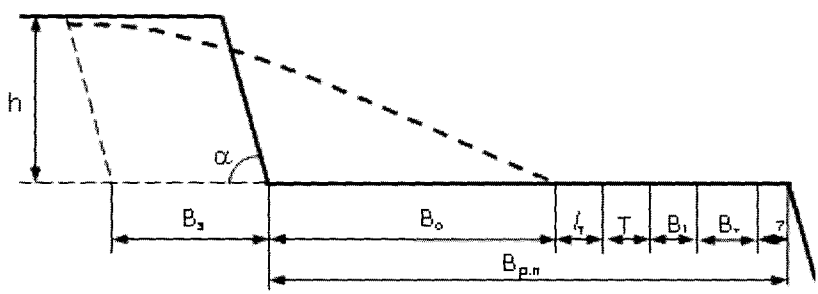


Рис. 3.31. Схема к определению ширины рабочей площадки

Минимальная ширина рабочих площадок при железнодорожном транспорте и использовании для погрузки горной массы экскаваторов-мехлопат ЭКГ–5 в мягких породах составляет 26–31 м, в скальных породах – 29–33 м. При железнодорожном транспорте и применении

экскаваторов-мехлопат ЭКГ–8 минимальная ширина рабочих площадок в мягких породах составляет 39–52 м и в скальных породах – 45–60 м.

При автотранспортной перевозке горной массы ширина рабочей площадки в мягких породах равна 23+30 м и в скальных породах – 37+52 м.

Минимальная ширина рабочей площадки $B_{p.n.}^{min}$ при разработке скальных и полускальных пород с применением широко распространенных мехлопат складывается из ширины полосы для отброшенной части развала взорванной породы B_o, гарантийного расстояния от нижней бровки развала до транспортной полосы $l_т$ ширины самой транспортной полосы Т, полосы для размещения ЛЭП, автодорог B_L, полосы для бурового оборудования B_z и ширины призмы обрушения z, т. е.

$$B_{p.n.}^{min} = B_o + l_т + T + B_L + B_Z + z. \qquad (3.15)$$

Значения B_o, $l_т$, Т, B_L, B_z и z принимаются по результатам расчетов или по нормативным отраслевым материалам для технологических параметров с учетом конкретных горно-геологических условий рассматриваемого карьера.

Обычно ширина отброшенной части развала составляет (1,3–1,6) h_y, расстояние между ЛЭП и транспортной полосой 2–3 м, ширина вспомогательной автодороги 3–4 м, ширина обуриваемого блока (1,0–1,5)h_y.

Ширина транспортной полосы Т принимается в соответствии с условиями движения поездов на уступе. При одном забойном пути (короткий фронт работ, один экскаватор на уступе) Т = 3 м, при двух путях Т = 7,5÷8 м в зависимости от принимаемой ширины междупутья. Минимальный размер междупутья составляет 4,5 м. Ширина призмы обрушения определяется по формуле

$$z = h(\operatorname{ctg}\gamma - \operatorname{ctg}\alpha), \qquad (3.16)$$

где γ – угол устойчивого откоса уступа в массиве, γ = 40-60°, α = угол откоса рабочего уступа, α = 60–75°.

Расстояние от нижней бровки развала до транспортной полосы $l_т$ обычно принимают равным $l_т$ = 1,5÷2 м.

Фактическая минимальная ширина рабочих площадок на 10-, 15- и 20 метровых уступах, сложенных из скальных пород при применении автомобильного и железнодорожного транспорта на карьерах Казахстана составляет 30–60 м.

Уступы отрабатывают отдельными полосами, или *заходками.*

Длина фронта работ уступа или части уступа, подготовленной к выемке, при работе на ней нескольких экскаваторов складывается из отдельных экскаваторных блоков, длина которых при автомобильном транспорте составляет 500–600 м и при железнодорожном – до 1000–1400 м.

Суммарная протяженность всех фронтов работ отдельных уступов составляет фронт работ карьера.

Скорость подвигания фронта горных работ карьера обычно равна 70÷140 м/год и зависит от производительности карьера, мощности рудной залежи и мощности горнотранспортного оборудования.

Рабочая зона карьера – это перемещающаяся и изменяющаяся во времени часть карьера, в пределах которой ведут вскрышные и добычные работы. В рабочей зоне каждый экскаватор выполняет работы на определенной территории, занимаемой экскаваторным блоком, площадь которой при железнодорожном транспорте обычно составляет 20–40 тыс. м^2, а при автомобильном – 5–20 тыс.м^2. Горизонтальную площадь экскаваторного блока определяют как произведение его длины на ширину рабочей площадки.

По классификации акад. В. В. Ржевского, в зависимости от порядка отработки месторождений, отличающихся условиями залегания, системы разработки разделены на сплошные, углубочные и смешанные – углубочно-сплошные.

Сплошные системы применяют для разработки горизонтальных и пологих месторождений, характеризующихся относительным постоянством высотного положения и размеров рабочей зоны карьера.

Таблица 3.3

Классификация систем открытой разработки по В. В. Ржевскому

Индекс группы	Группа систем	Индекс подгруппы	Подгруппа систем	Индекс системы	Система разработки
С	Сплошные	СД	Сплошные продольные	СДО	Сплошная продольная однобортовая
				СДД	То же, двухбортовая
		СП	Сплошные поперечные	СПО	Сплошная поперечная однобортовая
				СПД	То же, двухбортовая
		СВ	Сплошные веерные	СВЦ	Сплошная веерная центральная
				СВР	То же, рассредоточенная
		СК	Сплошные кольцевые	СКЦ	Сплошная кольцевая центральная
				СКП	То же, периферийная
У	Углубочные	УД	Углубочные продольные	УДО	Углубочная продольная однобортовая
				УДД	То же, двухбортовая
		УП	Углубочные поперечные	УПО	Углубочная поперечная однобортовая
				УПД	То же, двухбортовая
		УВ	Углубочные веерные	УВР	Углубочная веерная рассредоточенная
		УК	Углубочные кольцевые	УКЦ	Углубочная кольцевая центральная
УС	Смешанные (углубочно-сплошные)	–	То же в различных сочетаниях		

Примечание: К наименованию системы добавляется: «с внешними или внутренними отвалами».

Углубочные системы разработки используют при выемке наклонных и крутых залежей.

Эти системы разработки характеризуются порядком выполнения не только вскрышных и добычных, но и горно-подготовительных работ, так как в этих условиях их ведут как в период строительства карьера, так и во время его эксплуатации, когда периодически нарезают очередные по глубине уступы.

Для углубочных систем разработки характерна переменная по глубине и в плане рабочая зона карьера.

Смешанные системы разработки представляют собой различные сочетания сплошных и углубочных систем.

В зависимости от направления выемки горных пород в пределах контура карьерного поля (рис. 3.32) сплошные и углубочные системы разработки могут быть *продольными (а), поперечными (б), веерными (в)* и *кольцевыми (г)*.

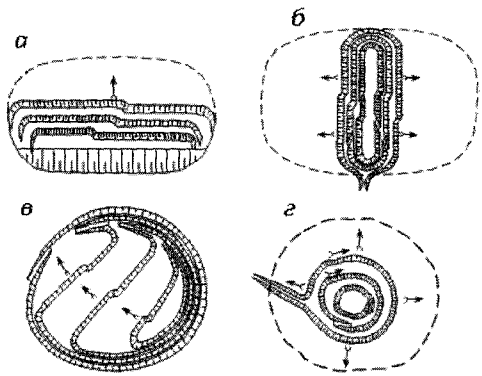


Рис. 3.32. Схемы перемещения фронта рабочего уступа

Сплошные системы разработки допускают возможность максимального размещения вскрышных пород в выработанном пространстве.

При этом развитие горных работ начинают с проведения разрезной траншеи на фланге карьерного поля там, где меньше мощность вскрышных пород.

4. ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ

4.1. Способы проведения горных выработок

В зависимости от физических свойств горных пород, в основном от прочности, назначения, срока службы, от размеров поперечного сечения и протяженности горных выработок применяют различные способы их проведения.

В настоящее время применяют в основном два способа проведения горных выработок: *буровзрывной* и *комбайновый*.

При *буровзрывном способе* проведения выработок разрушение породы, а именно отбойку от массива, проводят взрывом зарядов ВВ.

Основные технологические процессы при проведении выработок – отбойка породы от массива в забое, погрузка и транспортирование отбитой горной массы из забоя, возведение постоянной крепи выработки.

К *вспомогательным технологическим процессам* при проведении выработки относят возведение временной крепи, проветривание выработки, настилку рельсовых путей, наращивание вентиляционных, водяных, воздушных магистралей, кабелей силовых и связи, устройство водоотводной канавки.

Технология проведения выработок с применением *проходческих комбайнов* может быть названа поточной, так как она позволяет совместить во времени такие основные технологические процессы, как отбойка горной породы, погрузка ее в транспортные средства и удаление из забоя, возведение крепи выработки.

В сложных горно-геологических условиях, характеризующихся, например, большим притоком воды в выработку, наличием плывунов, сыпучих горных пород применяют *специальные способы* проведения выработок.

Технология проведения выработок специальными способами содержит дополнительные технологические процессы, которые должны обеспечить возможность проведения выработок: замораживание и тампонирование пород,

смолоинъекционное упрочнение массива. К специальным способам относятся также проведение выработок с забивной или опускной крепью, щитовой способ и др.

В определенных горно-геологических и горнотехнических условиях применяют также способы проведения выработок с разрушением породы *отбойными молотками* и *посредством гидравлического разрушения.*

4.2. Выемочно-погрузочное оборудование на шахтах

Для доставки отбитой руды или породы из забоя до транспортного средства используют различные машины и оборудование, а также их сочетания:

- погрузочные машины для погрузки в доставочные или транспортные средства;
- доставочные машины и оборудование, работающие в комплексе с погрузочными средствами;
- погрузодоставочные самозагружающиеся машины.

Погрузодоставочное оборудование разделяют по характеру работы на машины непрерывного и периодического действия (в последнем случае горная масса перемещается порциями), а по исполнению – на самоходные и стационарные.

Погрузочное оборудование, используемое на рудниках, разрабатывающих металлические руды, весьма разнообразно. К оборудованию *непрерывного действия* относятся питатели, главным образом вибрационные типа ВДПУ, ВВДР, ПВРА и др. Они выгружают отбитую руду из очистного пространства или рудоспусков в доставочные или непосредственно в транспортные средства. *Вибропитатели* (рис. 4.1.) представляют собой металлическую платформу шириной 1–2,5 м и длиной 3–8 м, установленную под углом 7–23° к горизонту. При включении они начинают вибрировать, и отбитая руда сползает по платформе вниз.

К машинам непрерывного действия относят также *погрузочные машины с нагребающими лапами типа ПНБ.* Это самоходная гусеничная машина с рабочим органом, представляющим собой приемную плиту, по бокам которой расположены два нагребающих рычага, совершающие движение

от края плиты к центру. Они захватывают куски руды или породы и перемещают их на погрузочный конвейер небольшой длины, посредством которого загружают доставочные или транспортные средства.

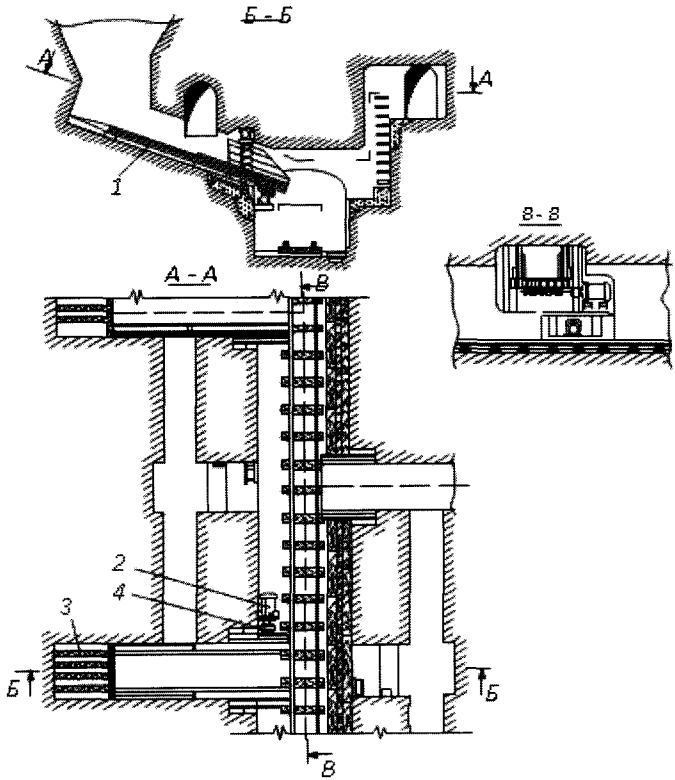


Рис. 4.1. Выпуск руды вибропитателем ВДПУ в вагон. Вариант с поступлением руды на питатель из одной воронки и боковым контрольным ходком:
1 – вибропитатель; 2 – электродвигатель; 3 – канаты крепления питателя от сползания; 4 – дебаланс для тряски питателя

Погрузочные машины *периодического действия* имеют рабочий орган в виде ковша. Машины типа ППН на рельсовом или гусеничном ходу с задней разгрузкой ковша как бы

перебрасывают его через себя, вместимость ковша 0,3–1 м^3, производительность – 0,8–3 м^3/мин (рис. 3.13, *а*). Подземные экскаваторы типа ЭП (ЭО) с ковшом вместимостью 1–1,2 м^3 применяют при использовании самоходной доставочной техники на шинном ходу в открытом очистном пространстве высотой не менее 5 м.

Доставочное оборудование предназначено только для доставки и разгрузки горной массы, поэтому работает в комплексе с погрузочным оборудованием.

Из оборудования непрерывного действия наиболее распространены, особенно на рудниках цветной металлургии Казахстана, вибрационные конвейеры, работающие совместно с вибропитателями (виброкомплексы). Для удобства монтажа виброконвейеры собираются из секций длиной до 2 м. Производительность виброконвейеров составляет 90–100 м^3/ч, длина на один привод – 20–30 м. На некоторых рудниках, разрабатывающих мягкие руды (например, марганцевые), применяют ленточные конвейеры. Для доставки неабразивных руд применяют скребковые конвейеры. Для доставки абразивных руд применяется ленточно-тележный конвейер.

Широкое распространение на рудниках получило доставочное оборудование периодического действия: самоходные рудничные вагоны и автосамосвалы.

Самоходные вагоны типа ВС в виде длинных бункеров на колесах с электрическим или дизельным приводом работают вместе с погрузочными машинами типа ПНБ или проходческими горными комбайнами.

Погрузо-доставочное оборудование получило на рудниках широкое распространение, так как оно не требует применения погрузочных машин, универсально и хорошо работает в самых разнообразных условиях. К погрузо-доставочному оборудованию относят скреперные установки, самоходные погрузо-доставочные машины (ПДМ) 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. 4.2).

Руду скреперуют в рудоспуски или в вагоны через погрузочный полок, в последнем случае погрузку вагонов называют безлюковой.

Производительность скреперных установок составляет от 20 до 350 т/смену. Руду скреперуют на расстояние 10–30 м в рудоспуск или через полок (настил с грохотом) непосредственно в вагоны. В целом использование скреперных установок наиболее эффективно при разработке маломощных рудных тел, залежей с малыми запасами, а также на рудниках с невысокой годовой производительностью и при разработке неустойчивых руд.

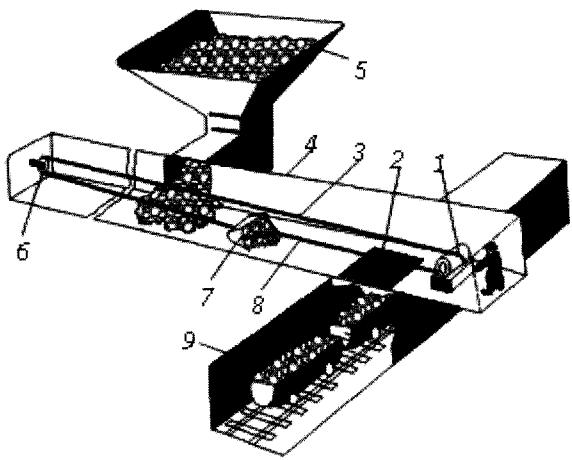


Рис. 4.2. Схема безлюковой скреперной доставки и погрузки руды:
1 – скреперная лебедка; 2 – грохот; 3 – холостая ветвь каната; 4 – скреперная выработка; 5 – воронка; 6 – хвостовой блок; 7 – скреперный ковш; 8 – рабочая ветвь каната; 9 – транспортная выработка

Ковшовые погрузо-доставочные машины – самоходные дизельные или электрические машины на шинном ходу с ковшом, расположенным спереди (рис. 4.3, *в*).

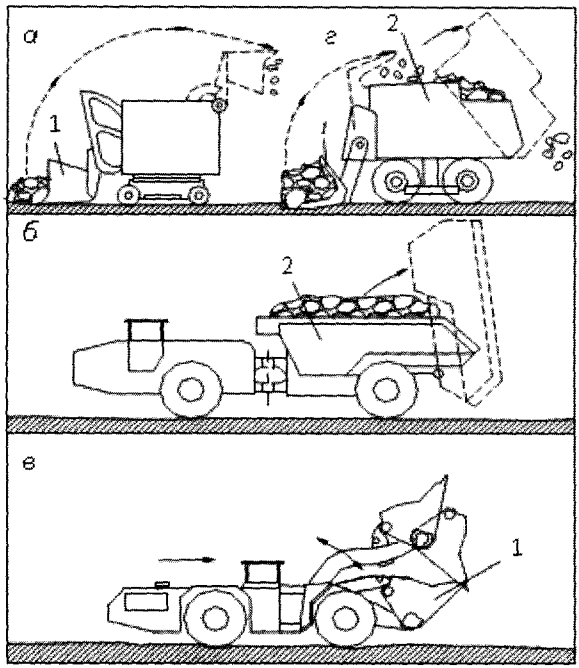


Рис. 4.3. Схемы погрузо-доставочного и погрузочно-транспортного самоходного оборудования:
а – ковшовая погрузочная машина с задней разгрузкой;
б – автосамосвал; в – ковшовая погрузо-доставочная машина;
г – ковшовая погрузочно-транспортная машина; 1 – ковш;
2 – опрокидной кузов (бункер)

Наиболее универсальные виды *самоходного оборудования* для доставки руды – погрузо-доставочные машины (ПДМ) и погрузочно-транспортные (ПТ) машины. В настоящее время выпускают несколько типоразмеров такого оборудования. Например, погрузо-доставочные машины имеют грузоподъемность от 2 до 20 т (5 типоразмеров), а машины типа ПТ – от 2,5 до 20 т (5 типоразмеров). Скорость движения машин составляет в среднем 6–10 км/ч из-за сложности трассы и неровностей почвы доставочных выработок, которые к тому же нередко имеют уклон до 10–12°.

Ковшовые погрузочно-транспортные машины отличаются тем, что их ковш предназначен для загрузки собственного бункера (кузова). Эти машины применяют обычно в выработках сравнительно малого поперечного сечения при длине доставки до 600 м. Вместимость ковша – 0,12–1,6 м^3, бункера – 1–10 м^3, преодолеваемый уклон – до 12–15°. Бункер разгружается при опрокидывании. Привод машин типа ПТ – пневматический или дизельный.

На ряде рудников на доставке используют только ковшовые погрузо-доставочные машины (рис. 4.4). Ковш с гидравлическим приводом может подниматься, опускаться и опрокидываться. При загрузке машина опущенным ковшом набирает руду из навала на почве выработки. Затем ковш приподнимается, поворачивается, и машина доставляет руду к месту разгрузки, где ковш поднимается и опрокидывается. Для удобства работы машина двигается легко вперед и назад без разворота. Для хорошей манёвренности в узких выработках и уменьшения радиуса поворота корпус погрузо-доставочной машины изготавливается из двух шарнирно соединенных частей.

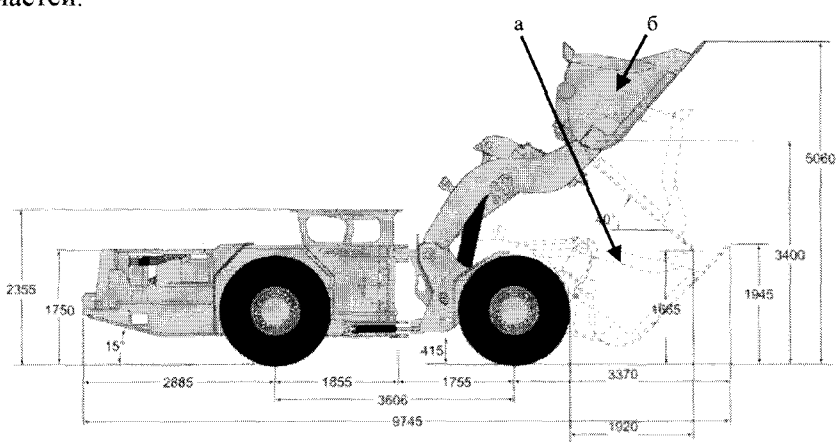


Рис. 4.4. Габариты погрузо-доставочной машины СТ 1030 «Атлас Копко», Швеция:
а – прямолинейный участок; б – поворот.

Основные модели погрузо-доставочных машин: ТОРО («Тамрок», Финляндия), СТ («Атлас Копко», Швеция), Р («Катерпиллар – Эльфинстоун», США), ЛК («Бумар», Польша), ПД (Россия) и др.

Прочие способы доставки

Взрывная доставка применяется в условиях, где невозможны или нецелесообразны другие виды доставки (самотечная, механизированная), например, при разработке наклонных залежей с углом падения от 15 до 55° (рис. 4.5).

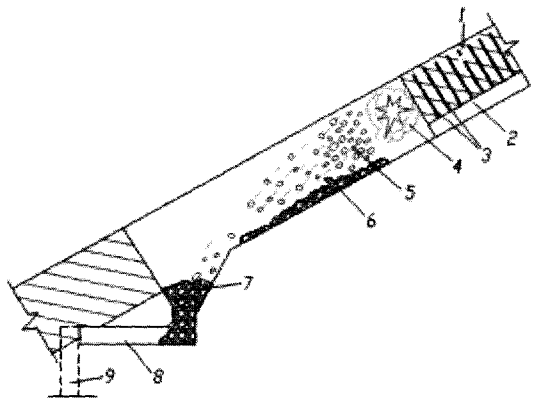


Рис. 4.5. Схема доставки силой взрыва (вертикальный разрез по падению залежи):
1 – рудное тело; 2 – буровая выработка; 3 – взрывные скважины; 4 – взрыв; 5 – отбитая руда в полете; 6 – остаток руды на почве камеры; 7 – рудоприемная воронка; 8 – погрузочный заезд; 9 – рудоспуск

Руду отбивают веерными 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, из которых ее выпускают так же, как и в случае самотечной доставки по очистному пространству.

Гидравлическую доставку руды применяют в основном в наклонных залежах, в частности в жилах мощностью 0,7–1,2 м

при сплошном забое. Чаще ее используют для зачистки небольших объемов рудной мелочи, оставшейся на лежачем боку после самотечной или, реже, механизированной и взрывной доставки. Куски руды перемещаются за счет энергии напорной струи, выходящей под давлением из насадки монитора. Расход воды 15–30 м^3/ч.

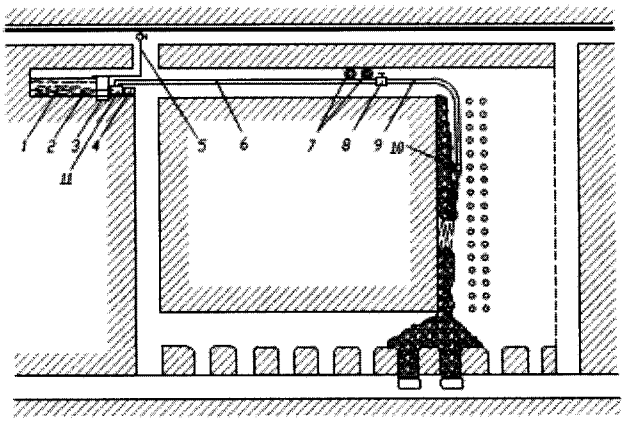


Рис. 4.6. Гидродоставка руды при разработке наклонной жилы:
1 – водосборник; 2 – всасывающий шланг; 3 – бетонная перемычка; 4 – электродвигатель; 5 – рудничная магистраль; 6 – трубопровод; 7 – амортизационные держатель на швеллере; 8 – вентиль; 9 – капроновый рукав; 10 – ручной монитор; 11 – насос

Блок вынимают сплошным забоем (лавой) по простиранию. Доставляют руду порциями, начиная с нижней части забоя. Монитор имеет длину 0,9 м. Напор струи при входе в насадку – 8–10 кгс/см^2, что достаточно для разрушения и размыва образующихся заторов руды.

При доставке на 20 м по уклону 25–30°, напоре 8 кгс/см^2 и диаметре насадки 20 мм достигается наибольшая производительность – 26 т/ч (при сравнительно небольшом расходе воды – 0,85 м^3/т).

С увеличением угла падения от 25 до 45° производительность доставки увеличивается с 22 до 30 т/ч.

4.3. Рудничный транспорт и подъем

Подземное транспортирование руды и рудной массы представляет собой перемещение от пунктов выгрузки из очистных блоков до рудничного подъема. На рудниках, ведущих разработку рудных месторождений, используют следующий подземный транспорт:

- периодического действия (рельсовый или самоходное оборудование на колёсном ходу);
- непрерывного действия (конвейерный или трубопроводный).

В особую категорию выделяют подъем – перемещение полезного ископаемого по шахтному стволу.

Совокупность транспортных средств образует ту или иную схему транспорта различной сложности. Наиболее просты схемы транспорта при вскрытии пологих месторождений штольней или наклонными стволами. В этом случае транспортирование руды от забоя до поверхности может осуществляться каким-либо одним видом транспорта, например конвейерами, автосамосвалами или в вагонетках.

При разработке крутых месторождений схемы транспорта сложнее и характеризуются применением различных транспортирующих машин и необходимостью в связи с этим многократных загрузочно-разгрузочных операций. Весь процесс перемещения полезного ископаемого от забоя до поверхности можно разделить на три стадии: доставку руды от забоя до откаточного штрека; откатку в штреке по рельсовым путям до шахтного ствола; подъем по стволу.

Рельсовый транспорт

Наибольшее распространение на подземных рудниках получил рельсовый транспорт. Это обусловлено тем, что руда представляет собой обычно крупнокусковой материал, обладающий большим удельным весом, высокой крепостью и абразивностью.

Рельсовый транспорт включает следующие элементы: рельсовый путь, локомотивы и откаточные сосуды, контактную сеть, сигнализационные и другие устройства. Рельсовый путь состоит из рельсов, шпал, скреплений и балласта.

Размеры поперечного сечения транспортных выработок определяют, учитывая, что зазоры между подвижным составом и стенкой выработки должны быть не менее 0,2–0,25 м, между составами в двухпутевых выработках – не менее 0,2 м и зазоры для прохода людей с одной стороны – 0,7–1 м. Контактный провод подвешивается на высоте не менее 1,8 м от головки рельсов.

Вагонетки служат для перевозки полезного ископаемого, пустой породы, различных материалов (леса, ВВ и др.) и людей. Конструкция вагонетки определяется ее назначением.

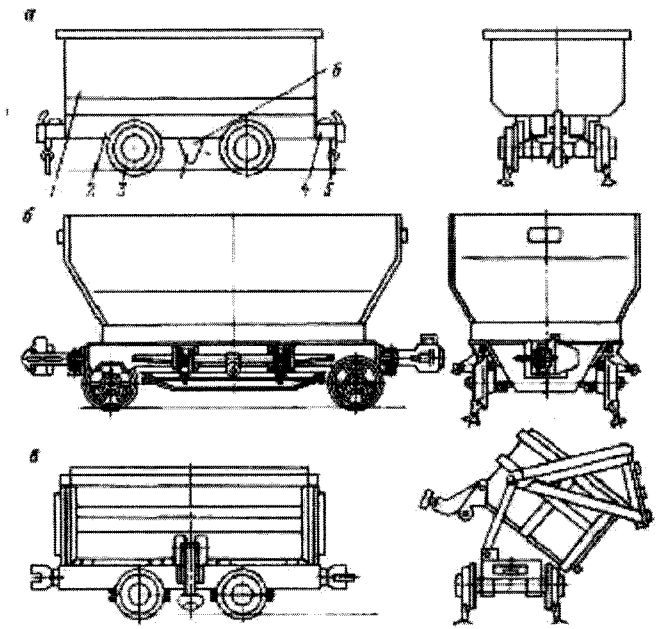


Рис. 4.7. Вагонетки с глухим кузовом типа ВГ (*а*), с открывающимся днищем типа ВД (*б*), и с откидным бортом типа ВБ (*в*)

Вагонетка для перевозки руды или пустой породы (рис. 4.7) включает кузов, раму 2, скаты 3, буфера 4, сцепки 5 и подвагонный упор 6.

К у з о в вагонетки изготовливают из стальных листов толщиной 4–8 мм. Дно кузова делается скругленным

или плоским. Кузов с рамой соединяется жестко (вагонетки с глухим кузовом типа ВГ) или шарнирно (вагонетки с опрокидным кузовом типа ВО). В первом случае разгрузка вагонетки осуществляется путем ее опрокидывания, во втором – опрокидывают только кузов. Иногда разгрузка проводится через открывающееся днище (вагонетки типа ВД) или откидные боковые стенки (вагонетки типа ВБ). Вагонетки с открывающимся днищем применяются в основном на угольных шахтах. Большегрузные вагонетки с глухим кузовом изготовляются без рам на рессорных подвесках.

Для перевозки людей по горизонтальным выработкам применяют вагонетки ВПГ–12 и ВПГ–18 с числом посадочных мест соответственно 12 и 18. Они состоят из закрытого кузова с дверями и размещенными внутри сидениями. Выпускаются также вагонетки для доставки леса (типа ВЛ), перевозки взрывчатых веществ (типа ВВ) и платформы для доставки материалов.

Рудничные электровозы бывают контактные и аккумуляторные. В рудных шахтах применяются преимущественно контактные электровозы, в угольных большинство электровозов – аккумуляторные.

Одной из основных характеристик электровоза является *сцепной вес,* т. е. вес, приходящийся на ведущие оси. У рудничных электровозов все оси ведущие, поэтому сцепной вес равен весу электровоза.

Наиболее распространенными являются контактные электровозы серии К. Они выпускаются в четырех основных типоразмерах со сцепным весом, равным 70, 100, 140 и 280 кН. Рудничные электровозы выпускают для различной ширины колеи рельсового пути: 600, 750 и 900 мм. Чем выше производительность рудника, тем шире колея.

Система управления электровозом КТ14 позволяет одному машинисту управлять сцепом из двух или трех электровозов.

В зависимости от сцепного веса электровоза в составе может быть до 10 до 20 вагонов.

Рельсовый путь в подземных выработках укладывают на деревянные шпалы. Если срок его службы более 10–12 лет, используют железобетонные шпалы.

Скорость движения рельсового транспорта по подземным выработкам должна быть не более 5,5 м/с (около 20 км/ч).

Безрельсовый транспорт руды и рудной массы применяют лишь на некоторых рудниках. Основной вид транспорта – автосамосвалы: МоАЗ (производит могилевский автомобильный завод, Беларусь), БелАЗ (Белорусский автомобильный завод, Беларусь), TORO и Супра (Тамрок, Финляндия), MT (Атлас Копко, Швеция), и др. грузоподъемностью 20–80 т.

Конвейерный транспорт

Конвейеры – один из наиболее универсальных видов транспорта. Их можно использовать как на доставке полезного ископаемого в очистном пространстве, так и для транспортирования его по штрекам и наклонным стволам. В рудной промышленности применяют ленточные, скребковые, пластинчатые и вибрационные конвейеры.

Ленточные конвейеры применяют только для транспортирования мелкокусковых мягких руд, например, на марганцевых, гипсовых или калийных рудниках.

Схема *ленточного конвейера* приведена на рис. 4.8. Несущим органом этого конвейера является гибкая лента 5, которая поддерживается роликами 4 и 6, укрепленными на раме конвейера. В поперечном сечении при помощи трех роликов ленте придают полулотковую форму.

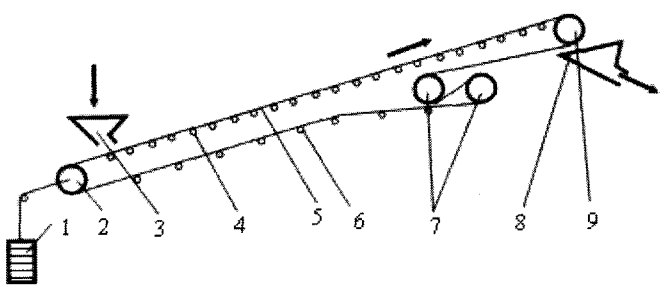


Рис. 4.8. Схема ленточного конвейера

Лента приводится в движение приводными барабанами 7. Движение ленте сообщается силой трения между приводными барабанами и лентой. Постоянное натяжение ленты между головным 9 и натяжным 2 барабанами осуществляется грузом 1.

Загрузка ленты осуществляется через бункер 3, разгрузка – непосредственно с конвейера у головного барабана или в бункер 5.

Ширина ленты 800–1600 мм для конвейеров, применяемых на подземных работах, и 1000–3000 мм – для открытых горных работ.

Разновидностью ленточных конвейеров является *ленточно-канатный конвейер*, в котором лента является грузонесущим органом, а канаты – тяговым. Один став ленточно-канатного конвейера составляет от 3–4 до 10–12 км и более.

Для транспортирования крупнокускового материала (до 800–1500 мм) создан *ленточно-тележенный* (ленточно-колесный) конвейер (рис. 4.9).

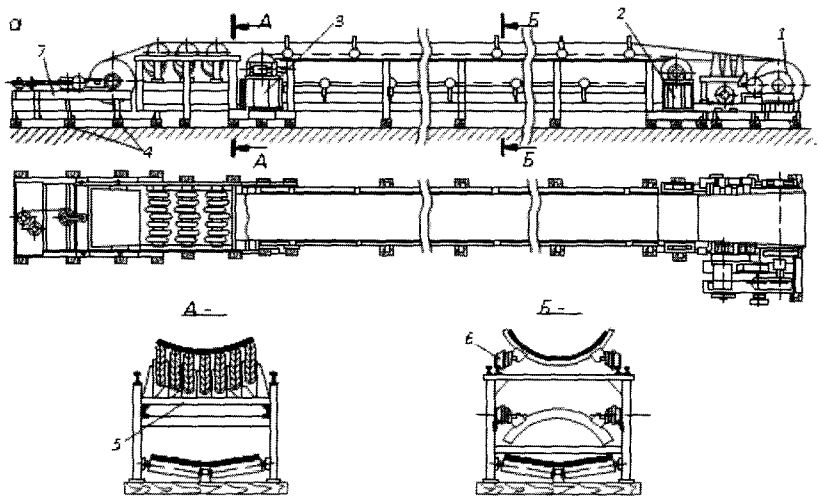


Рис. 4.9. Ленточно-тележный конвейер КЛТ120:
1 – приводная станция ленты; 2 – головная станция цепи;
3 – натяжная станция цепи; 4 – секция промежуточная;
5 – роликовая опора пневматическая; 6 – тележка;
7 – натяжная станция

Скорость движения ленты составляет 1–6 м/с, часовая производительность – 300–3200 т/ч, мощность двигателей – от нескольких десятков до нескольких тысяч киловатт.

Скребковый конвейер представляет собой металлический желоб, по дну которого движется тяговый и несущий орган – цепь с прикрепленными к ней скребками. Скребковые конвейеры позволяют транспортировать груз под углом да 35°. Изготовляются они отдельными секциями, и поэтому их переноска осуществляется легче, чем ленточных.

Пластинчатые изгибающиеся конвейеры имеют тот же принцип действия, что и ленточные. Пластинчатые конвейеры допускают изгиб в горизонтальной плоскости с радиусом 20 м. Производительность конвейеров 250–750 т/ч.

Недостатки конвейера этого типа: сложность конструкции, большая масса и значительный расход электроэнергии.

Шахтный подъем.

Рудничный подъем – выдача руды и породы на поверхность с подземных горизонтов.

Подъем можно разделить на два типа:

- периодического действия (клетевой, скиповой, в автомашинах);
- непрерывного действия (конвейерный, трубопроводный, который в свою очередь подразделяется на гидравлический и пневматический).

По типу используемого оборудования рудничный подъем можно разделить на: *клетевой, скиповой, конвейерный, автомобильный*, а по назначению – на *главный* (для выдачи руды) и *вспомогательный*.

Наиболее распространены подъемы клетевой и скиповой.

Скип – перемещающаяся по стволу металлическая ёмкость, предназначенная для подъема, рудной массы или пустой породы, грузоподъемность от 3–5 т до 20–25 т и более.

Клеть – перемещающаяся по стволу металлическая платформа, служащая для подъема и спуска людей, вагонеток с рудой и породой, материалов и оборудования. При одноклетевом подъеме вес клетей уравновешивают противовесами, при двухклетевом подъёме клети работают в челноковом режиме.

Подъем руды вагонетками в одно- и двухэтажных клетях применяют на небольших рудниках с производительностью 0,3–0,7 млн. т/год, а при малой глубине разработки (300–400 м)

– до 1–1,5 млн. т/год. Вместимость поднимаемых вагонеток при этом не превышает 4,5 м^3. При клетевом подъеме требуется меньший объем проходки околоствольных выработок, чем при скиповом.

На рудниках с производительностью более 0,7–1 млн. т/год и выше, и при значительной глубине разработки используют, как правило, скиповой подъем руды. Высокая производительность скипового подъёма объясняется большой вместимостью скипов (до 22 м^3) высокой скоростью движения (до 20 м/с и более, тогда как клети движутся со скоростью не более 8 м/с), а также полной автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций и подъема – спуска скипов.

Конвейерный подъем (по наклонным стволам) применяют на сравнительно неглубоких рудниках (до 400–600 м) большой производительности (свыше 4–5 млн. т/год), а при глубине разработки до 100–150 м – на рудниках с производительностью более 1–1,5 млн. т/год. Как правило, применяют мощные ленточные конвейеры. Для использования конвейерного подъема необходимо сравнительно мелкое дробление руды на куски размерами не более 0,1–0,15 м., угол наклона ствола составляет 16–18°. Поэтому такой тип подъема применяется в единичных случаях: на некоторых угольных месторождениях, а так же на марганцевых рудниках, где применяется механическая отбойка. В последнее время разработаны ленточные конвейеры с возможностью вертикального подъёма.

Автомобильный подъем руды и рудной массы пока распространен мало; его применяют, где руду перевозят в самосвалах от забоя до поверхности без перегрузок. Автомобильный подъем целесообразен при глубине разработки до 150–200 м и производительности рудника 0,5–1 млн. т/год. Угол наклона автомобильных съездов – 6–8°.

Гидравлический и пневматический подъемы рассматривались только на стадиях научных разработок в середине 70-х годов прошлого столетия. Широкого применения они не получили, так как имели ряд недостатков. Гидравлический и пневматический подъемы многие специалисты считают весьма перспективным.

Для вспомогательного подъема по вертикальным стволам используют то же оборудование, что и для главного.

Его назначение заключается в выдаче на поверхность породы (вагонами в клетях или скипами), спуске – подъеме людей (в клетях), спуске в шахту материалов, инструмента (в клетях), спуске рабочего и подъеме неисправного оборудования (малогабаритное – в клетях; крупногабаритное – на подвеске под клетями, целиком или частями, либо на специальных грузовых платформах в неразобранном виде по отдельным стволам, как, например, на рудниках Джезказганского Горно-металлургического комбината или по специально пройденным автоуклонам.).

При конвейерном подъеме руды необходима проходка специальных стволов (обычно вертикальных) для вспомогательных нужд.

При подъеме руды по наклонным стволам их используют, как правило, и в качестве вспомогательных. Причем, спуск – подъем людей, спуск материалов и инструмента осуществляют в специальных автомобилях, породу вывозят в тех же автомобилях, что и руду, оборудование спускают своим ходом, а выдают на поверхность также своим ходом или на буксире и в разобранном виде.

Рудничный подъем – наиболее ответственное звено технологической схемы подземного рудника. Шахтные стволы служат десятки лет и поэтому требуют тщательного ухода, который является залогом безопасной работы в них. Вследствие многообразия функций шахтных стволов, рудничный подъем работает по строгому графику.

Уровень автоматизации при скиповом подъеме достигает 100 %, подъем осуществляют без участия человека, но под его контролем.

4.4. Проходка вертикальных шахтных стволов

Вскрытие месторождений во многих случаях осуществляют вертикальными стволами. Они открывают доступ к рабочим горизонтам, спуск и подъем грузов по ним наиболее удобен, и затраты на эти операции наименьшие. При большой глубине разработки вскрытие вертикальными стволами может быть единственно возможным.

По глубине ствола выделяют несколько его частей (рис. 4.10). Устье – верхняя часть ствола от земной поверхности

до коренных (т. е. не затронутых разрушением) пород глубиной 10–30 м. Далее ствол делят на звенья длиной 10–40 м каждое, на границе между которыми устраивают опорные венцы для поддержания крепи звена. На уровне рабочих горизонтов оборудуют сопряжения ствола с горизонтальными выработками. Нижняя часть ствола называется *зумпфом* и служит для сбора воды, поступающей в ствол, улавливания руды, просыпающейся из подъемных сосудов.

Проходку ствола ведут в несколько этапов. Перед ее началом подготавливают территорию и оснащают промышленную площадку проходческим оборудованием.

Технология проходки состоит в отбойке горной массы с использованием буровзрывных работ, уборке взорванной массы из забоя с выдачей ее в бадьях на поверхность и возведении постоянной крепи ствола (рис. 4.11).

В связи с необходимостью периодического взрывания пород проходческие работы организованы циклично. В каждом цикле работ последовательно выполняют отбойку, уборку породы и крепление ствола. За цикл (т. е. после каждого взрывания) забой ствола подвигается обычно на 23,5 м. Продолжительность цикла 2–4 смены.

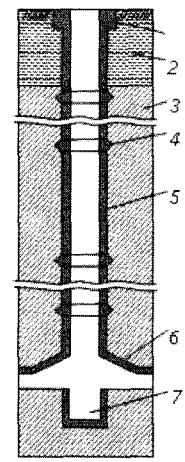


Рис. 4.10. Схема ствола:
1 – устье; 2 – наносы; 3 – коренные породы; 4 – опорный венец; 5 – звено ствола (между соседними опорными венцами); 6 – сопряжение ствола с горизонтальными выработками

Буровзрывные работы. Отбойку породы осуществляют шпурами глубиной от 1,5 до 3 м. Шпуры бурят ручными перфораторами массой 22–30 кг. Перед взрыванием все механизмы поднимают из забоя к проходческому полку.

После взрывания ствол проветривают. По окончании проветривания обирают незакрепленные стенки ствола от заколов, ремонтируют поврежденную временную крепь и т. д., затем начинают уборку породы.

Уборка взорванной породы. Она заключается в механизированной погрузке породы в бадьи и подъеме на поверхность. При проходке неглубоких стволов или стволов небольшого (до 4,5 м) диаметра для погрузки взорванной породы применяют грейферные пневматические погрузчики с ручным вождением типа КС–3, КСМ-2у, КС-12, 2КС-1МА и другие. Пневмогрузчики КС-3 разработаны Кузнецкими и Киргизскими конструкторами в 1947 году.

В стволах с большой площадью поперечного сечения все шире применяют породопогрузочные машины с механизированным вождением и грейфером вместимостью до 1 м^3.

Крепление стволов. Наиболее распространенным, экономичным является крепление монолитным быстротвердеющим бетоном. Бетон подают в ствол по трубам. Толщина бетонной крепи составляет 0,2–0,3 м.

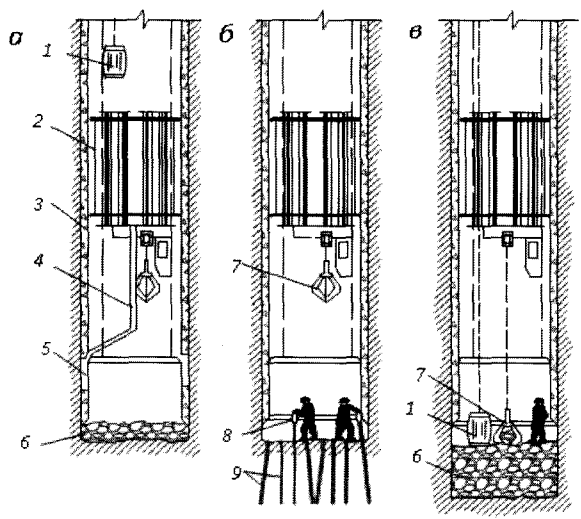


Рис. 4.11. Схематичное изображение проходки вертикального ствола: *а – возведение бетонной крепи; б – бурение шпуров; в – уборка породы и подготовка к возведению крепи: 1 – проходческая бадья; 2 – подвесной полок; 3 – бетонная крепь; 4 – бетоновод; 5 – передвижная опалубка; 6 – отбитая порода; 7 – грейферный погрузчик; 8 – перфоратор; 9 – шпур*

Процессом, завершающим строительство ствола, является его армирование, т. е. создание в стволе по всей его длине пространственной стержневой системы для обеспечения направленного движения подъемных сосудов. Элементы армировки используют для закрепления проходящих по стволу труб и кабелей различного назначения, оборудования в стволе ходовых отделений, оснащенных лестницами для аварийного выхода людей на поверхность.

Специальные способы проходки стволов применяют в сложных гидрогеологических условиях. Наиболее широко используют проходку с замораживанием неустойчивых водонасыщенных пород (плывунов), а также проходку с предварительным тампонированием (цементацией или битумизацией) сильно трещиноватых водонасыщенных пород. К специальным способам проходки может быть отнесено также бурение шахтных стволов.

При проходке с *замораживанием* вокруг ствола по окружности бурят скважины на расстоянии 0,8–1,1 м друг от друга. В них опускают трубы, по которым с поверхности накачивают в скважины рассол (насыщенный раствор солей), охлажденный до отрицательной температуры – 20–25 °С. Рассол, нагретый породами, из скважины по кольцевому пространству между трубой и стенками скважины вытесняется на поверхность, где охлаждается вновь (например, с помощью жидкого аммиака), после чего опять нагнетается в скважины. Постепенно отбирая тепло у пород, рассол охлаждает и затем замораживает их до температуры около -10 °С. Вокруг ствола, таким образом, создается стенка из замороженной породы – ледопородный цилиндр.

Выемку породы осуществляют, как правило, механическим способом с использованием пневматического инструмента (например, отбойных молотков). Буровзрывные работы проводят редко.

Когда проходка ствола завершена, замороженные породы оттаивают подогретым рассолом, подаваемым в те же скважины.

Тампонирование пород при проходке ведут через скважины. Сильно трещиноватые крепкие породы тампонируют

цементным растворам. При наличии в породах пустот или крупных трещин целесообразно применять для тампонирования глинистый раствор или горячий битум.

Бурение стволов применяют, как правило, в мягких и средней крепости обводненных и нередко неустойчивых породах, в которых другие способы проходки малопроизводительны и трудоемки.

В основном применяют установки роторного, колонкового и реактивно-турбинного бурения, рабочим инструментом у них являются шарошечные долота.

Крепление ствола обычно осуществляют только по окончании бурения на полную глубину.

4.5. Проведение горизонтальных и наклонных горных выработок

Проведение горизонтальных горных выработок

К горизонтальным горным выработкам относят штольни, квершлаги, штреки, орты и т. д.

Горизонтальные выработки проходят, как правило, сразу на всю площадь поперечного сечения. Наибольшее распространение получил буровзрывной способ проведения выработок. Однако в мягких и средней крепости породах выработки проводят с использованием проходческих комбайнов.

Основные производственные процессы при проведении горизонтальных выработок буровзрывным способом – бурение, заряжание и взрывание шпуров (отбойка породы), уборка отбитой породы, крепление выработки. Кроме того, в забое выполняют также и вспомогательные работы.

Отбойка породы. При буровзрывной отбойке наиболее важной операцией является точная разметка шпуров в забое. На некоторых рудниках для этого применяют специальные шаблоны.

Для бурения шпуров применяют ручные перфораторы с массой до 25 кг типа ПР–20 и ПР–25 на пневмоподдерживающих колонках, самоходные бурильные установки. Для проведения выработок под рельсовый транспорт используют самоходные

бурильные установки, как правило, на рельсовом ходу СБКНС–2, БУР–2 и др. Горизонтальные выработки, в которых не предусмотрен рельсовый транспорт, проводят с использованием установок на гусеничном (СБУ–2М) или пневмошинном (СБКН–2П) ходу, глубина шпуров до 4 м.

Заряжание шпуров, как правило, механизированное с применением сыпучих гранулированных взрывчатых веществ (ВВ); реже шпуры заряжают вручную патронированными ВВ. Шпуры взрывают постепенно с миллисекундным замедлением от центра забоя (врубовые шпуры) к его границам. Забой проветривают после взрыва в течение 10–15 минут. Существует несколько способов проветривания: *нагнетательный, всасывающий* или *комбинированный*. Чаще применяют нагнетательный способ проветривания. При всасывающем способе проветривания в вентиляционный трубопровод попадают лишь газы, отброшенные при взрыве от забоя и находящиеся в непосредственной близости (1–1,5 м) от входного отверстия трубы. Комбинированный способ применяют для ускорения проветривания.

Уборка отбитой породы. Это один из основных процессов проходческого цикла, требующий до 40–50 % всех трудозатрат. Отбитую породу с помощью погрузочных машин грузят непосредственно или через конвейеры-перегружатели в вагоны электровозного транспорта, или в самоходные вагоны на шинном ходу.

Для погрузки породы в рельсовый транспорт применяют ковшовые погрузочные машины с задней разгрузкой. Кроме ковшовых погрузчиков широко используют также погрузочные машины непрерывного действия с нагребающими лапами. При проведении выработок без рельсового пути все шире применяют комплексы из погрузочных машин на гусеничном или пневмоколесном ходу и автосамосвалов либо самоходных вагонов, а также ковшовые погрузо-доставочные машины (рис. 4.12).

Крепление выработок – весьма трудоемкий процесс и составляет в некоторых случаях до 30 % от всех трудозатрат на их проведение. Крепление почти не влияет на скорость проведения выработок, так как осуществляется параллельно с бурением шпуров и уборкой породы с отставанием от забоя.

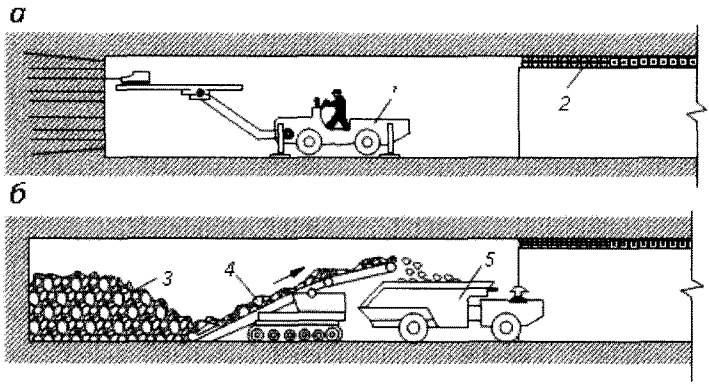


Рис. 4.12. Схемы проведения горизонтальной выработки с использованием самоходного оборудования:
а – бурение шпуров и возведение крепи; б – уборка отбитой массы; 1 – бурильная установка; 2 – постоянная крепь; 3 – отбитая порода; 4 – погрузочная машина с нагребающими лапами; 5 – автосамосвал

Бетонную крепь возводят с помощью передвижной или сборной металлической или деревянной опалубки, подавая бетон за нее по трубам. Широко используют крепь с набрызгом на стенки выработок бетона слоем 5–20 см посредством установок типа БМ, работающих на сжатом воздухе. Кроме того, в трещиноватых породах используют анкерную крепь, иногда в сочетании с набрызг-бетоном.

Настилку путей или дорожного покрытия осуществляют вслед за подвиганием забоя. Этот процесс, как правило, совмещают с бурением шпуров после уборки породы. Сначала укладывают временный путь, а после проведения выработки или параллельно с отставанием от забоя заменяют временные пути на постоянные.

Проведение горизонтальных выработок комбайнами и проходческими комплексами – это более экономичный и более скоростной способ, чем буровзрывной. Проходческие комбайны представляют собой комбинированные машины, предназначенные для одновременного выполнения отбойки породы и погрузки ее в транспортные средства (на конвейер или в вагонетки).

Различают комплексы оборудования для проведения выработок комбайновым, буровзрывным и щитовым способом. Комбайновый комплекс оборудования (рис. 4.13) состоит из комбайна 1, призабойного прицепного перегружателя 2, обеспечивающего транспортирование отбитой горной массы на скребковый или ленточный конвейер 3.

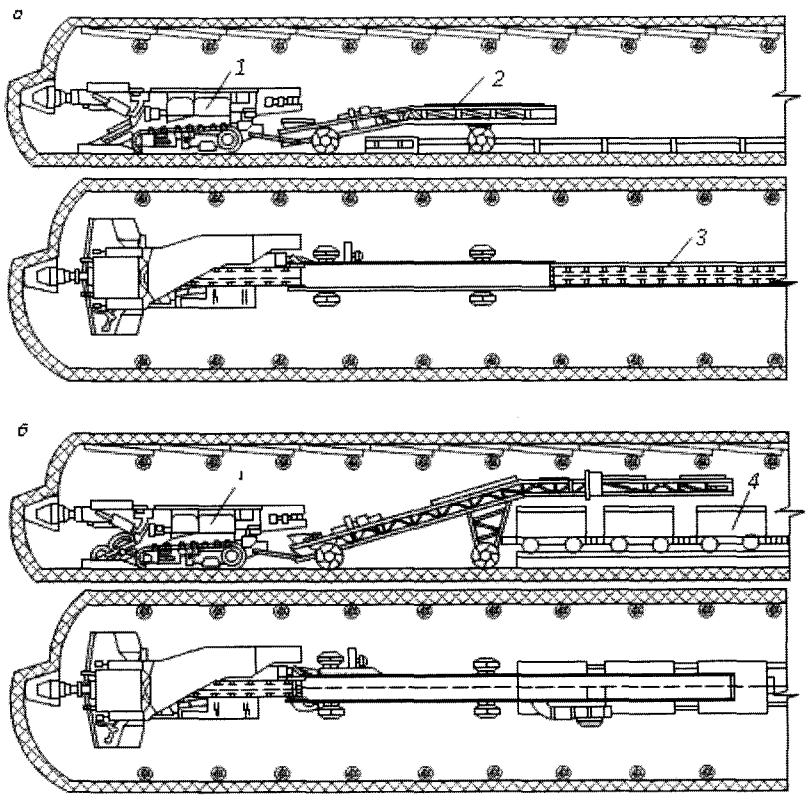


Рис. 4.13. Схемы проведения выработки комбайном с забойным перегружателем и погрузкой на конвейер (*а*) и в вагонетки (*б*)

Под призабойным перегружателем размещается штрековый конвейер 3 или состав вагонеток 4, вследствие чего обеспечивается возможность в течение смены проводить выработку без наращивания конвейера или рельсовых путей.

В комплекс оборудования включаются также крепеукладчики, оборудование для возведения анкерной крепи, вентиляции и пылеподавления.

Особенности проведения наклонных горных выработок

К таким выработкам относят наклонные стволы, уклоны и спиральные съезды для самоходного оборудования. Их проведение при угле наклона менее 45° имеет много общего с проведением горизонтальных выработок, однако есть и свои особенности, главным образом проявляющиеся при уборке породы. Выработки с наклоном более 45° проходят как вертикальные стволы или восстающие. При углах наклона менее 8–12° проведение наклонных выработок аналогично проведению горизонтальных.

Проходку осуществляют сверху вниз, снизу-вверх или комбинированным способом одним или несколькими забоями. При проходке сверху вниз удобнее выдавать отбитую породу и перемещать машины, однако в забое скапливаются вода и буровой шлам, что затрудняет ведение работ. При восходящей проходке забой остается сухим, однако сложнее транспортировать породу из забоя и, кроме того, необходимо наличие выработок на нижележащем горизонте. Комбинированную проходку используют для ускорения скорости проведения выработок.

Проходка восстающих

Восстающие имеют, как правило, прямоугольное поперечное сечение, рудоспуски и породоспуски – круглое. Высота восстающих на некоторых рудниках превышает 100 м, а длина рудоспусков может составлять 1000 метров.

Проходку восстающих в основном ведут снизу-вверх немеханизированным способом или с применением механизированных проходческих комплексов типа КПВ и КПН, а также бурением. В некоторых случаях восстающие проходят секционным взрыванием сближенных параллельных глубоких скважин, пробуренных на месте будущего восстающего.

При немеханизированном способе восстающие проходят снизу вверх с использованием мелкошпуровой отбойки.

Проходку восстающих механизированными комплексами типа КПВ (для вертикальных восстающих) или КПН (для наклонных) осуществляют на рудниках в достаточно крепких и устойчивых породах (рис. 4.14).

Высота восстающих, проходимых с помощью комплексов КПВ или КПН, составляет обычно 60–100 м.

В большинстве случаев бурением проходят восстающие между двумя горизонтами. Наиболее распространена технология с бурением по оси восстающего опережающей (пилотной) скважины диаметром до 0,3 м на полную его длину с последующим ее расширением снизу-вверх до проектного диаметра. По такому принципу работает отечественный комбайн 2КВ, предназначенный для бурения восстающих диаметром 1,5 м и длиной до 80 м.

При использовании комплекса 1КВ1 восстающие бурят снизу вверх сразу на полный диаметр.

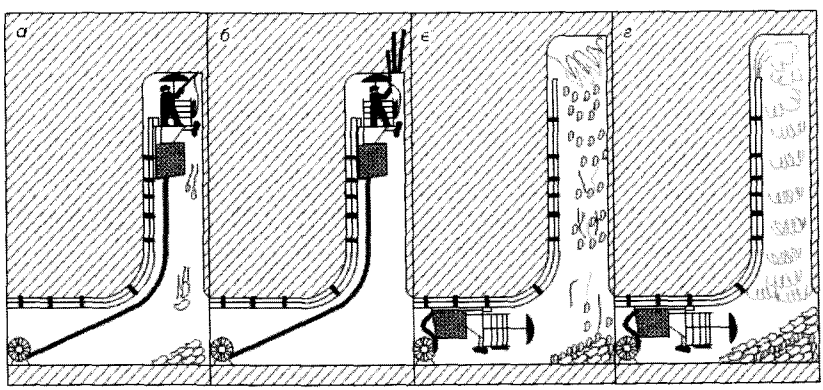


Рис. 4.14. Схематичные изображения проходки восстающих комплексами типа КПВ – 1Б:
а – оборка забоя от заколов; б – наращивание монорельса и бурение шпуров; в – производство взрывных работ; г – проветривание забоя перед уборкой отбитой породы

Особенности проведения камерных и нарезных выработок

Подземные камерные выработки расположены в основном в околоствольных дворах стволов или вблизи них. Они отличаются большими размерами поперечного сечения

(высота до 6–10 м, ширина до 7–14 м) и предназначаются для размещения крупногабаритного оборудования, мастерских, складов, других объектов, срок службы их довольно продолжителен.

Горизонтальные камерные выработки проводят почти так же, как штреки, квершлаги, но при большом поперечном сечении работы ведут либо узким забоем с последующим его расширением на полное сечение камеры, либо ступенчатым забоем на всю ширину камеры с отработкой уступов в нисходящем порядке. Крепление камер осуществляют сверху вниз.

Крутые или наклонные камерные выработки (рудные и породные бункера у стволов) проходят обычно в два приема. Сначала проходят восстающий снизу вверх по центру сечения, затем его расширяют и крепят сверху вниз.

Нарезные выработки проводят по руде в выемочных блоках и панелях. Они служат для обеспечения добычи руды и выполнения производственных процессов очистной выемки.

4.6. Вскрытие месторождений полезных ископаемых

При разработке месторождений полезных ископаемых выделяют следующие *стадии горных работ:* вскрытие месторождения, подготовку месторождения или его части к очистным работам и очистную выемку полезного ископаемого.

Вскрытием называют проведение комплекса капитальных горных выработок: шахтных стволов, штолен, квершлагов и других, обеспечивающих доступ с поверхности земли к месторождению или его части и создающих условия для выполнения следующей стадии горных работ.

Различают главные и вспомогательные *вскрывающие горные выработки.* К *главным* вскрывающим выработкам относят вертикальные и наклонные шахтные стволы и штольни, к *вспомогательным* – слепые стволы, квершлаги, гезенки и др.

Наиболее распространенным и универсальным способом вскрытия месторождений полезных ископаемых является *вскрытие вертикальными стволами.*

Шахтные стволы могут занимать различное положение относительно вскрываемого месторождения. При горизонтальном, пологом и наклонном залеганиях пластов, залежей шахтные стволы обычно пересекают пустые породы и полезное ископаемое.

Схемы *с пересечением вертикальными стволами залежей полезных ископаемых* применяют для вскрытия пластовых (угольных и сланцевых) месторождений, а также пластообразных рудных месторождений с относительно невысоким содержанием рудных минералов.

При крутом падении залежей полезного ископаемого их вскрытие обычно осуществляют *вертикальным стволом и квершлагами, расположенными в породах лежачего бока.*

Вскрытие наклонными стволами целесообразно применять в условиях, когда пласты полезного ископаемого залегают под наносами мощностью до 50–70 м, угол наклона пластов < 25 м, залегание пластов спокойное. Длина наклонных стволов обычно составляет 1,5–1,8 км. На современных крупных шахтах наклонные конвейерные стволы могут быть протяженностью до 3000 м.

При проходке наклонных стволов непосредственно по полезному ископаемому, а также во вмещающих породах горизонтально или полого залегающего месторождения требуется оставлять *охранные целики.*

Наклонные стволы могут располагаться за пределами зоны сдвижения пород и соединяться с залежью полезного ископаемого квершлагами. Эти схемы применяют для вскрытия небольших пластообразных горизонтальных и пологих месторождений полезных ископаемых, относительно небольших крутопадающих рудных тел, а также наклонных рудных и угольных месторождений значительного простирания.

Вскрытие штольнями характеризуется простотой и невысокими затратами, эффективностью транспортных операций, водоотлива и проветривания горных выработок.

Штольнями вскрывают месторождения, залегающие в районах с холмистой или гористой местностью.

Вскрытие штольнями проводят таким образом, чтобы месторождение (или возможно большая его часть)

располагалось выше уровня штольни и его можно было бы отрабатывать без подъема полезного ископаемого и применения механического водоотлива.

Отличительным признаком *комбинированных способов вскрытия* месторождений является одновременное проведение неоднотипных основных и дополнительных вскрывающих выработок.

Выбор комбинации вскрывающих выработок осуществляют с учетом глубины и особенностей залегания месторождения, рельефа земной поверхности и других горно-геологических и горнотехнических факторов.

Сочетание вертикальных стволов, пройденных с земной поверхности, и *слепых стволов* применяют при значительной глубине залегания месторождения. Для вскрытия запасов полезных ископаемых, залегающих ниже уровня главной штольни, применяют *сочетание штольни со слепым стволом.* Для вскрытия угольных и рудных месторождений используют комбинированные *схемы с главными наклонными и вспомогательными вертикальными стволами.*

Способы совместного вскрытия применяют на месторождениях, представленных свитой угольных пластов или группой рудных тел, которые могут быть вскрыты системой взаимосвязанных выработок – *групповое вскрытие* или *штольней.*

Способ вскрытия при подземной разработке месторождений должен обеспечить работающим под землей не менее двух независимых выходов на земную поверхность; вторым выходом является вспомогательная вскрывающая выработка, предназначенная для вентиляции.

4.7. Очистная выемка полезных ископаемых

Очистные работы представляют собой комплекс взаимосвязанных производственных процессов по выемке руды из очистных забоев.

Очистные работы – главное звено стадии очистной выемки.

На руднике основная часть затрат по добыче полезного ископаемого приходится на основные производственные

процессы очистной выемки. Показатели извлечения руды зависят в большинстве случаев полностью или почти полностью от очистной выемки.

Способы отбойки достаточно разнообразны (табл. 4.1), но применяются далеко не в одинаковых объемах.

Таблица 4.1

Классификация способов отбойки

Способ	Доля при практическом применении, %	Характерные признаки
1. Взрывная отбойка	85	Заряды ВВ помещают в образованные в массиве полости
1.1. Шпуровая	35	Шпуры имеют глубину до 5 м
1.2. Скважинная	45	Глубина скважин от 5 до 30–60 м и более
1.3. Минная	5	Сосредоточенные заряды размещают в подготовительно-нарезных выработках
2. Механическая отбойка	10	Применяют механический инструмент
2.1. Машинная механическая	4	Используют комбайны, камнерезные машины и т. п.
2.2. Отбойными молотками	6	Применяют самоходные машины с телескопической стрелой и мощным отбойным молотком или гидроударником
3. Самообрушение руды	4	Подсечный массив разрушается под действием силы тяжести и опорного давления
4. Другие способы	1	
4.1. Гидравлическая отбойка	0,9	Разрушение осуществляется высоконапорной струей воды
4.2. Электрофизические способы отбойки	0,1	Электроимпульсный, электротермомеханический, лазерный и другие способы

Взрывная отбойка

Как правило, на подземных рудниках применяется взрывной способ отбойки, причем в ближайшее время, превалирующее значение этого способа отбойки (около 85 %) сохранится. Заряды располагают в скважинах, шпурах или в горных выработках (минные или сосредоточенные заряды). Соответственно эффективность взрывного способа отбойки, помимо свойств пород, зависит в первую очередь от способа бурения и типа ВВ.

На эффективность отбойки влияет ряд факторов: крепость руды, трещиноватость руды, ширина забоя и мощность залежи. Значительное влияние на эффект отбойки оказывает число плоскостей обнажения.

Влияние различных факторов на трудоемкость отбойки оценивается лишь в общих чертах, без четкой количественной оценки, так как ввиду их многообразия такая оценка затруднительна.

Скважинная отбойка

Взрыванием скважинных зарядов ВВ отбивается около 60 % руды, добываемой взрывным способом. Скважины, используемые для отбойки руды, обычно имеют глубину от 5 до 100 м. Диаметр их от 40 до 200 мм и более. Максимальная глубина взрывных скважин ограничена, так как при бурении глубоких скважин происходит их искривление и поэтому невозможно добиться заданного направления и, как следствие хорошего качества дробления.

Основные параметры скважинной отбойки:

- линия наименьшего сопротивления (л.н.с.);
- 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, вертикальными или горизонтальными 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 скважин в отбиваемом слое бывает:

- параллельное;
- параллельно-сближенное;
- веерное;
- пучковое.

Отбойку параллельными скважинами (рис. 4.15, *а*) применяют в устойчивых труднодробимых рудах, когда повышенные затраты на отбойку компенсируются уменьшением расходов на вторичное дробление негабарита. Отбойку параллельными скважинами применяют на некоторых рудниках.

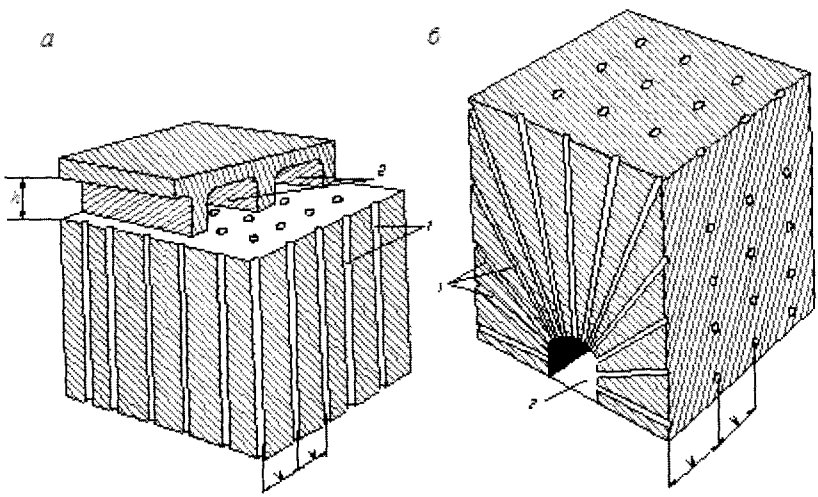


Рис. 4.15. Схемы расположения взрывных скважин при отбойке руды: *а – параллельное; б – веерное; 1 – скважины; 2 – буровые выработки; W – линия наименьшего сопротивления h – высота буровой выработки*

Наиболее распространено веерное расположение скважин в слое (скважины расходятся веером из одной точки) (рис. 4.15, *б*). Пучковое расположение скважин применяют в основном для посадки кровли и разрушения целиков. Взрывают скважины в пучке одновременно или с коротким замедлением по веерам. По отбойке пучками скважин в очистной камере имеются лишь отдельные примеры.

Существует несколько схем отбойки.

Скважинами обычно отбивают руду, послойно располагая их рядами (или веерами), параллельными поверхности массива, на которую производится отбойка.

Эта поверхность может граничить как со значительным свободным пространством (рис. 4.16, *а*), достаточным для увеличения объема взорванной руды в 1,3–1,5 раза (отбойка на свободное пространство), так и с разрыхленной горной массой осевших вниз вмещающих пород (отбойка в зажиме) (рис. 4.16, *б*).

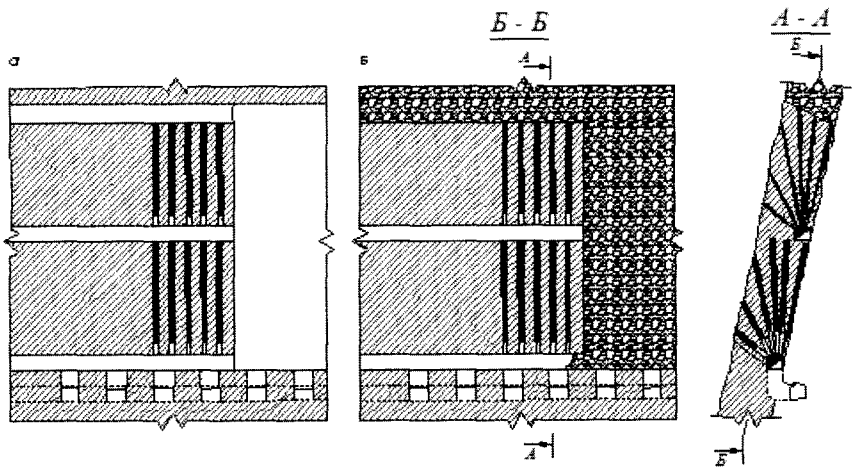


Рис. 4.16. Схемы отбойки скважинами:
а – на открытое пространство; б – в зажиме (на разрыхленную обрушенную сверху породу)

По возможности следует располагать отбиваемые слои вертикально и взрывать их одновременно с противоположных сторон очистного пространства, чтобы обеспечить соударение слоев для лучшего дробления руды.

Шпуровая отбойка

Отбойку руды зарядами, расположенными в шпурах, начали применять со времени изобретения пороха.

Шпуры – цилиндрические полости диаметром до 75 мм и длиной до 5 м пробуренных в массиве горных пород. Шпуровые заряды обладают меньшей мощностью, по сравнению со скважинными: в 1 м шпура диаметром 40–50 мм вмещается 0,8–1,5 кг ВВ, тогда как в 1 м скважины диаметром 105 – 150 мм до – 15–20 кг ВВ. Этим определяется значительная трудоемкость шпуровой отбойки, так как 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.

Выемка руды при шпуровой отбойке бывает слоевой (рис. 4.17, *а, б*), потолкоуступной (рис. 4.17, *в, г, д*) и подэтажной (рис. 4.17, *е*, высота отбиваемого слоя в подэтаже превышает высоту выработок, из которых бурят шпуры).

Слои, обычно горизонтальные, отрабатывают последовательно снизу вверх или сверху вниз. В слое шпуры располагают горизонтально или вертикально (крутонаклонно).

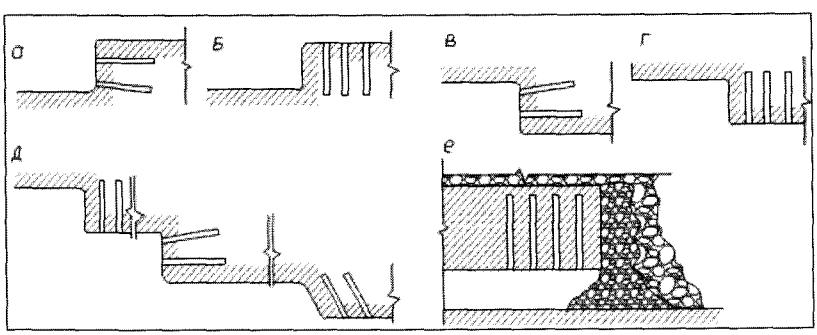


Рис. 4.17. Схемы отбойки руды шпурами:
а – нисходящая слоевая выемка с отбойкой горизонтальными шпурами; б – нисходящая слоевая выемка с отбойкой вертикальными шпурами; в – восходящая слоевая выемка с отбойкой горизонтальными шпурами; г – восходящая слоевая выемка с отбойкой вертикальными шпурами; д – потолкоуступная выемка; е – подэтажная отбойка

Минная отбойка

В настоящее время минная отбойка как основной способ сохраняется в ограниченных масштабах при выемке сильнотрещиноватых очень крепких руд, если взрывные скважины в них пересыпаются и выходят из строя. Применяется в основном для обрушения больших массивов, в которых уже есть или могут быть проведены горные выработки. При минной отбойке сосредоточенные заряды взрывчатых веществ (ВВ) массой от 0,5 до 3 т размещают прямо в подготовительно-нарезных выработках. Расстояния между зарядами ВВ и от заряда до обнаженной плоскости (л.н.с.) колеблются от 6 до 12 м, чаще составляют 8–10 м.

Используют две схемы минной отбойки:

- размещение зарядов на почве выработок;
- размещение зарядов в минных карманах.

Масса зарядов ВВ достигает сотен килограммов. Перед взрыванием заряды иногда засыпают забойкой из дробленой породы для увеличения эффекта разрушения массива.

Недостатками минной отбойки являются: неровные контуры при обойке; увеличенные (примерно в 1,5 раза против скважинной отбойки) потери и разубоживание руды; нарушение окружающего массива и частичное разрушение ближайших (подводящих) горных выработок.

Механическая отбойка

Механическая отбойка – отделение полезного ископаемого от массива при помощи различных инструментов и механизмов.

Данный вид отбойки осуществляется машинами и в незначительном объеме отбойными молотками. Механическая отбойка применяется только при добыче мягких руд.

Механическая отбойка применяется в двух вариантах: с выемкой заходками с площадью поперечного сечения 7–9 м^2 и с выемкой длинными забоями. При выемке заходками отбойку осуществляют с использованием проходческих комбайнов. При использовании проходческих комбайнов руда может перемещаться от забоя беспрерывно или циклично.

Пиление пород (известняков, туфов и т. п.) применяют в основном для получения естественных блоков строительных

материалов. Испытывают выпиливание блоков при добыче каменной соли с помощью камнерезных машин, имеющих баровый, дисковый или торцовый фрезерный режущий орган.

Самообрушение

Самообрушение – это самопроизвольное последовательное отделение от массива в кровле обнажений кусков руды под действием собственного веса и горного давления.

Это наиболее дешевый вид отбойки. Под рудным массивом проводят сеть пересекающихся выработок, разделенных между собой небольшими 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 и выпуская обрушенную руду через воронки в днище блока, можно развивать самообрушение массива.

Возможность применения самообрушения как способа отбойки зависит от физико-механических свойств горных пород, трещиноватости массива и элементов залегания рудных тел.

Другие способы отбойки

Гидравлическая отбойка – с помощью высоконапорных струй воды.

Электроимпульсный способ заключается в подаче от генератора на массив породы с малой электрической проводимостью (сильвинит, галит, фосфорит) через электроды импульсов высокого напряжения, образующих в породе проводящий канал, в зоне которого материал переходит в плазменное состояние и, расширяясь, разрушает массив.

Электротермомеханический способ (возможен при любых свойствах пород) предусматривает облучение поверхности породы инфракрасным излучением плотностью более 1 Вт/см^2, в результате чего в определенной зоне создается поле температурных напряжений, что ослабляет прочностные характеристики породы в этой зоне и облегчает последующее разрушение породы в зоне механическим инструментом.

Лазерный способ приемлем для резания пород в силу локальности воздействия, однако мощность источника лазерного излучения пока недостаточна, а имеющаяся аппаратура громоздка и плохо приспособлена к работе в подземных условиях.

Перечисленные способы не вышли из стадии поисковых изысканий или промышленных экспериментов.

4.8. Системы разработки месторождений полезных ископаемых

Вследствие значительного разнообразия форм и изменчивости элементов залегания рудных залежей системы разработки рудных месторождений существенно отличаются от систем разработки угольных месторождений. В основу классификации систем разработки рудных месторождений положен способ поддержания очистного пространства. Все их многообразие может быть представлено следующими тремя классами:

-системы разработки с естественным поддержанием очистного ***пространства,*** основанным на использовании естественной устойчивости руды и вмещающих пород. Для них характерны более высокая производительность блоков, ниже трудоемкость и себестоимость добычи. Однако они отличаются значительными потерями руды в целиках;

-системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород, отличающиеся также невысокими затратами на управление горным давлением. Это высокопроизводительные системы, но имеющие повышенные потери отбитой руды и ее высокое разубоживание вследствие неполного выпуска руды из блока;

-системы разработки с искусственным поддержанием ***очистного пространства.*** Для них характерны высокие затраты на возведение закладки или крепи, либо то и другое, более низкие потери и разубоживание.

Наиболее доступная классификация систем разработки предложена проф. В. Р. Именитовым. Она включает в себя три класса.

Таблица 4.2

Классификация систем подземной разработки рудных месторождений

Класс	Группа	Система разработки
1. Системы разработки с естественным поддержанием очистного пространства	А. Системы с естественным поддержанием очистного пространства и механизированной доставкой руды	1. Сплошная система 2. Камерно-столбовая система
	Б. Системы с естественным поддержанием очистного пространства и самотечной доставкой руды	3. Камерная система 4. Система с отбойкой из магазина 5. Другие системы разработки для данной группы
2. Системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород (т. е. без поддержания выработанного пространства)	А. Системы этажного обрушения	1. Этажное принудительное обрушение со сплошной выемкой 2. Этажное принудительное обрушение с компенсационными камерами 3. Этажное самообрушение
	Б. Системы подэтажного обрушения	4. Подэтажное обрушение с торцевым выпуском руды 5. Подэтажное обрушение с донным выпуском руды 6. Подэтажное самообрушение
3. Системы разработки с искусственным поддержанием очистного пространства	А. Системы с закладкой выработанного пространства	1. Однослойная выемка с закладкой 2. Горизонтальные слои с закладкой 3. Наклонные слои с закладкой 4. Камерная система с закладкой 5. Система разработки тонких жил с раздельной выемкой 6. Нисходящая слоевая выемка
	Б. Системы с креплением	7. Системы с усиленной распорной крепью
	В. Системы с креплением и последующим обрушением	8. Столбовая система с обрушением 9. Слоевое обрушение 10. Другие системы разработки данной группы

Системы I класса применяют в устойчивых рудах и породах. При разработке бедных руд целики не отрабатывают (особенно при необходимости сохранения поверхности) или извлекают с применением систем разработки, требующих минимальных затрат. Отличительная особенность систем I класса – поддержание очистного пространства естественными (рудными) целиками. Очистное пространство остается при этом открытым и называется обычно *камерой*.

Системы разработки этого класса имеют весьма широкое распространение. Они применяются главным образом при устойчивых рудах и вмещающих породах.

Системы II класса отличаются тем, что очистное пространство в них не поддерживают и выпуск руды ведут в основном под обрушенными налегающими породами. Применение этих систем возможно, если допустимо обрушение поверхности, а так же если отбитая руда не слеживается и не самовозгорается. Мощность рудных тел должна быть не меньше средней. Системы II класса характеризуются высокой производительностью труда, низкими затратами на добычу и невысокими потерями и разубоживанием.

Системы этого класса широко применяются при разработке мощных и средней мощности рудных залежей, особенно при добыче железных руд.

Наиболее широко применяются варианты с вертикальными или горизонтальными компенсационными камерами и со сплошной выемкой и отбойкой в зажиме с донным или торцевым выпуском руды.

В системах III класса очистное пространство поддерживают крепями или закладкой. Эти системы можно применять в самых сложных условиях, где неприменимы системы других классов. Они характеризуются довольно высокими затратами на добычу и малыми потерями и разубоживанием, поэтому системы III класса целесообразно применять при добыче ценных руд.

Системы с искусственным поддержанием очистного пространства применяют главным образом при разработке ценных и самовозгорающихся руд, а также в случае необходимости сохранения поверхности.

Системы разработки с креплением (с простой распорной крепью, с усиленной распорной крепью и др.) являются дорогими, но обусловливают довольно низкие потери и разубоживание руды. Иногда в случае необходимости очистное пространство, поддерживаемое крепью, заполняется закладкой.

Наиболее дорогими являются системы разработки с закладкой очистного пространства. Поэтому их обычно применяют при разработке ценных руд или с целью сохранения поверхности.

Наряду с традиционной технологией добычи руд, основанной на разрушении рудного массива различными способами, применяют скважинную технологию, к которой относятся растворение солей, выплавка серы, выжигание серы под землей до сернистого газа, подземная гидродобыча и выщелачивание металлов.

5. ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫЕ И ПОДВОДНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ

Гидромеханизация горных работ – перспективное направление совершенствования технологий добычи полезных ископаемых открытым и подземным способами.

К достоинствам этой технологии относят поточность технологического процесса; сокращение объемов горно-капитальных работ; высокую производительность труда; простоту, малую стоимость, незначительную массу и небольшие размеры основного оборудования; возможность попутного обогащения полезных ископаемых.

Недостатки: снижение производительности при разработке трудно размываемых пород и в зимнее время года; возможное пере измельчение полезного ископаемого, например при транспортировании угля, сверх допустимых пределов.

На открытых горных работах гидромеханизацию широко применяют для разработки вскрышных пород, россыпных месторождений полезных ископаемых.

Получает развитие гидромеханизированная разработка месторождений полезных ископаемых, расположенных в шельфовой и глубинной зонах морей и океанов.

Перспективной является также подземная гидромеханизированная добыча полезных ископаемых, прежде всего угля.

5.1. Гидромеханизация открытых горных работ

Сущность гидравлического способа ведения открытых горных работ заключается в том, что выемку, перемещение и укладку вскрышных пород в отвалы, доставку полезного ископаемого к обогатительным установкам или на склады готовой продукции производят с помощью энергии водяного потока.

Применяемое при этом довольно простое оборудование – гидромониторы, насосы, землесосы, углесосы, гидроэлеваторы и трубы – позволяет осуществить полную механизацию и автоматизацию вскрышных и добычных работ.

По принципу разрушения и выемки пород различают *гидромониторный* и *земснарядный способы* гидромеханизированных открытых горных работ.

Гидромониторный *способ* основан на разрушении горных пород струей воды, в результате чего образуется пульпа, которая самотеком перемещается в гидроотвал, являющийся складом, или в пульпоприемный колодец (зумпф).

Подачу воды в гидромониторы производят с помощью водяных насосов и трубопроводов. Для перемещения *пульпы* к приемным пунктам устраивают канавы, а в призабойном пространстве устанавливают пульпонаправляющие щиты высотой 0,4–0,5 м.

Перекачку пульпы из пульпоприемных колодцев осуществляют с помощью землесосов, гидроэлеваторов и пульпопроводов.

Разрушение, т. е. размыв, мягких, рыхлых пород гидромониторами выполняют без предварительного рыхления, а плотных пород – с предварительным рыхлением взрывным или механическим способом.

Размыв пород уступа и разработку месторождений производят *попутным*, *встречным* или *боковым забоями* (рис. 5.1). Применяют также разработку россыпных месторождений с *веерным подвиганием забоя.*

Гидромониторы могут быть установлены на верхней площадке уступа в сухом месте или на нижней площадке.

Размыв встречным забоем гидромониторами, установленными на нижней площадке уступов, широко применяют на вскрышных работах.

По правилам безопасности высота уступа при гидромониторной разработке должна быть не более 30 м, расстояние от места установки гидромонитора с ручным управлением до забоя – не менее (0,8÷1,2Н), где Н – высота уступа.

Длина фронта работ, приходящаяся на один гидромонитор, при разработке глинистых пород и суглинков составляет 18–45 м, при разработке песков – 30–60 м и при разработке насыпей – 50–70 м.

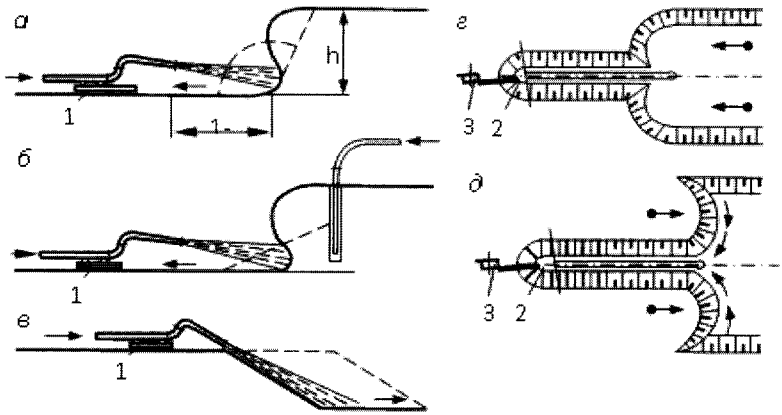


Рис. 5.1. Технологические схемы разработки горных пород гидромониторами:
а – встречным размывом; б – встречным размывом с предварительным водонасыщением массива; в – попутным размывом; г и д – двумя гидромониторами встречным и попутным размывом; 1 – гидромонитор; 2 – зумпф; 3 – грунтонасос; h – высота уступа

Земснарядный способ разработки горных пород

Земснарядный способ применяют для разработки горных пород, находящихся под водой. Способ основан на всасывании частиц мягких пород вместе с водой землесосом за счет создаваемого в нем напора и перемещении пульпы по трубам к пунктам приемки: гидроотвалам, гидроскладам и обогатительным установкам.

Землесосы размещают на понтонах. Такие плавучие установки называют земснарядами. На одном земснаряде может быть один или несколько землесосов.

Земснаряды применяют в искусственно созданных и естественных водоемах: котлованах, карьерах, реках, озерах и морях.

Начальный фронт работ землесосного *снаряда* может также создаваться посредством проведения разрезных *траншей* непосредственно от источника воды.

После заполнения забоя водой с помощью землесосного снаряда углубляют начальный котлован до проектной отметки и начинают планомерную выемку породы, периодически перемещаясь вдоль фронта работ.

Выемку породы осуществляют *грунтозаборными устройствами.*

Корпус земснаряда состоит из трех понтонов: главного, который имеет размеры – 10,50 х 2,95 х 2,45 м и двух боковых с размерами 15,75 х 1,83 х 1,83 м. Общая длина корпуса земснаряда – 26,30 м, ширина – 6,69 м.

Максимальная глубина разработки равна 10 м, диаметр всасывающего и нагнетательного трубопроводов – 450 мм.

Дражный способ разработки горных пород

Дражный способ широко применяют для разработки обводненных россыпных и морских месторождений полезных ископаемых. Все основные производственные процессы по добыче и переработке горных пород осуществляют *драгой*, представляющей собой агрегатированный комплекс машин и механизмов, смонтированных на понтоне или судне.

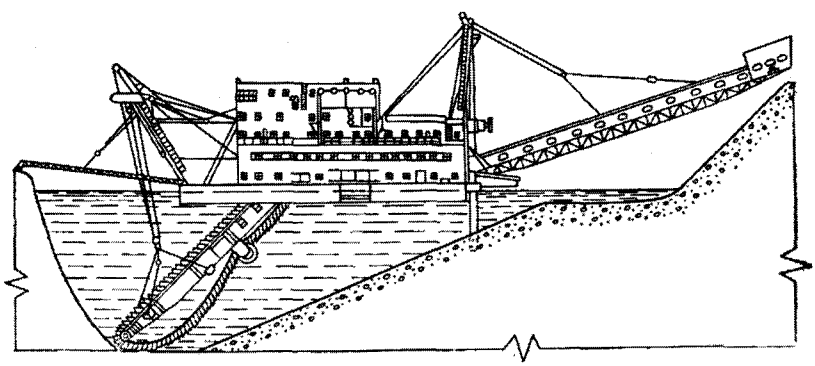


Рис. 5.2. Разработка подводного забоя драгой с многоковшовым рабочим органом

Различают *континентальные* и *морские драги;* первые предназначены для разработки *материковых россыпей,* обычно

приуроченных к зоне распространения современных или погребенных речных систем; вторые – для разработки месторождений полезных ископаемых *шельфовых* и *глубинных зон мирового океана.*

Выемку горной массы и перемещение ее до комплекса обогатительного оборудования осуществляет устройство, установленное в носовой части понтона и представляющее собой раму с ковшовой цепью. На драге получают готовую продукцию в *виде концентрата минералов* или *самородного металла. Отходы* обогащения удаляют с драги и размещают в отвалах с помощью отвалообразователя, установленного в кормовой части понтона.

Добычные работы заключаются в выемке полезного ископаемого горизонтальными слоями черпающим устройством драги, начиная от поверхности россыпи к плотику, иногда применяют выемку с подработкой толщи. Вслед за перемещением фронта очистного забоя перемещается фронт отвалов.

5.2. Гидромеханизация подземных горных работ

Технология подземной гидродобычи представляет собой сочетание последовательно выполняемых процессов – гидравлической отбойки, гидравлического транспортирования, обогащения и обезвоживания. Способ применяют, главным образом, при подземной добыче угля (рис. 5.3).

Гидравлическую отбойку, т. е. отделение угля от массива транспортабельными кусками струей воды, осуществляют гидромониторами.

Гидравлическое транспортирование пульпы осуществляется самотеком по уложенным в выемочных штреках желобам от забоя до участковых станций перекачки или до камеры гидравлического подъема. Далее по трубопроводам до обогатительной фабрики пульпу транспортируют с помощью углесосов или гидроэлеваторов.

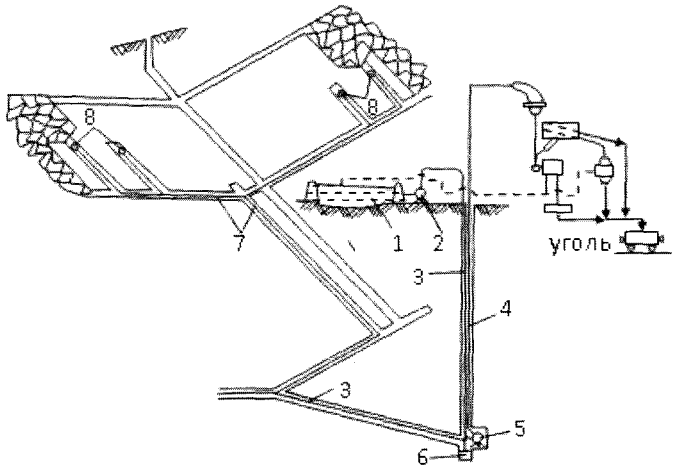


Рис.5.3. Технологическая схема гидравлической добычи угля на *шахте:*
1 – резервуар; 2 – высоконапорный насос; 3 – водоводы; 4 – пульпопровод; 5 – углесос; 6 – зумпф; 7 – желоба; 8 – гидромониторы

Углесосы У900–90 и 14УВ–6 предназначены для подъема и перекачивания водоугольной химически нейтральной (pH 6–8) гидросмеси с крупностью твердых частиц размером до 100 мм, с соотношением твердой и жидкой фаз 1:3 и содержанием породы в твердой фазе до 40 %. Углесос У900–90 обеспечивает напор от 80 до 160 м и подачу 450 и 900 м^3/ч.

Обогащение и обезвоживание угля проводят на обогатительной фабрике, где в обогатительных машинах и установках происходит отделение примесей пустой породы, отделение воды, разделение угля по крупности.

Гидравлическую добычу угля подземным способом можно осуществлять с применением гидравлической отбойки в сочетании с отбойкой другими способами. Так, выемку крепких углей выполняют *механогидравлическим способом,* при котором отбойку угля производят механическим способом, например, комбайном, а доставку и дальнейшее транспортирование отбитого угля - гидравлическим способом.

Комбинированные технологические схемы позволяют применять гидравлическую добычу в раличных условиях: при мощности пластов от 0,9 до 20 м, залегающих под углами от 5 до 80° и при любой крепости угля.

Производительность труда рабочего по добыче на гидрошахте в 2,5–3 раза выше, а себестоимость 1 т угля в 1,7–3 раза ниже, чем на шахтах, где используют обычную технологию, в сопоставимых условиях.

К недостаткам гидравлического способа добычи относят большие потери угля, достигающие 30 %, ухудшение качества угля по зольности и крупности, ухудшение условий труда из-за большого количества воды, подаваемой в шахту.

5.3. Подводные горные работы

Во многих странах приступили к освоению месторождений полезных ископаемых, залегающих на дне морей и океанов в зонах континентального шельфа и вдалеке от материков на больших глубинах.

К *зонам континентального шельфа,* окаймляющего материк, и материкового склона приурочены, главным образом, россыпные месторождения, образовавшиеся в результате выноса продуктов разрушения (эрозии) коренных пород материка. Ширина континентального шельфа изменяется от нескольких километров до нескольких сотен километров. Глубина на границе шельфа в зоне ее резкого увеличения при переходе к материковому склону составляет в среднем 200 м, изменяясь от 60 до 600 м.

Наибольший интерес в настоящее время из глубинных месторождений полезных ископаемых вызывают железные, марганцевые, никелевые, медные, кобальтовые и другие скопления в виде конкреций на глубинах от 400 до 5 000 м и более.

Конкреции представляют собой образования округлой, плоской или шарообразной формы диаметром 1–20 см, содержащие диоксид марганца - до 57 %, железо – до 70 %, кобальт – до 2 %, никель – до 2,4 % и медь – до 1,9 %. Считают, что скорость наращивания диаметра конкреции составляет

в среднем 1 мм за 1000 лет.

Подводные месторождения полезных ископаемых разрабатывают подземным и открытым способами.

При подземной разработке морских месторождений транспортирование горной массы на поверхность проводят по стволам или скважинам, пройденным с материковой земной поверхности или с поверхности искусственных островов; по стволам или скважинам, пройденным через водную толщу с морских платформ.

Открытую разработку ведут с применением морских драг и земснарядов, осуществляющих выемку горной массы и ее транспортирование на поверхность гидравлическим, механогидравлическим и механическим способами.

Морские драги обычно размещают на килевых самоходных или буксируемых судах, и в отличие от континентальных драг они не имеют отвалообразователя и свай.

По виду драгирующего агрегата различают драги черпаковые с жесткой рамой; черпаковые канатные: одночерпаковые с грейферным или драглайновым ковшом, многочерпаковые канатно-цепные; гидро- и пневмовсасывающие: эрлифтные, эжекторные, землесосные с механическим или гидравлическим рыхлителем, землесосные с погружными насосами. Максимальная глубина выемки продуктивных пород, полезных ископаемых, находящихся ниже уровня воды, для жестко-рамных драг составляет 50 м, для землесосных драг с рыхлителями – 80 м, для эрлифтных (пневмовсасывающих) – 200 м, для грейферных – 250 м, для драглайновых и многочерпаковых канатно-цепных драг – 1500 м, для эжекторных (гидровсасывающих) – 4600 м, для землесосных драг с многоступенчатым подъемом погружными насосами – 5 250 м и более.

Экономическая целесообразность подводной добычи полезных ископаемых обеспечивается рядом преимуществ:

– отпадает необходимость отчуждения земель и последующей их рекультивации;

– при разработке подводных месторождений не нужны подъездные пути;

– многие из таких месторождений не нуждаются в оборудовании отвалов и различного рода хранилищ;

– значительно уменьшаются затраты по вскрытию месторождения;

– не нужно выполнять большие трудоемкие и дорогостоящие взрывные работы, тратить средства на приобретение взрывчатых веществ, сложного оборудования и т. д.

6. СКВАЖИННАЯ ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Добыча твердых полезных ископаемых подземным и открытым способами требует присутствия в горных выработках людей, не освобождает их полностью от тяжелого труда. Эти технологии включают в себя множество разнообразных операций и практически не поддаются полной автоматизации процессов.

Существует также необходимость разработки залегающих на большой глубине месторождений низкосортных полезных ископаемых, добыча которых подземным или открытым способами экономически невыгодна.

Таким образом, наряду с совершенствованием подземного и открытого способов, ведут работы по созданию ***скважинной технологии***, основанной на соединении в недрах земли процессов по добыче, обогащению и переработке полезных ископаемых с выдачей на земную поверхность готового конечного продукта.

Скважинная технология добычи полезных ископаемых пока имеет ограниченную область применения в связи с существенной зависимостью ее от изменчивости горно-геологических условий залегания, от качества полезного ископаемого и свойств вмещающих горных пород в пределах одного месторождения.

6.1. Способы и процессы скважинной добычи

Скважинную добычу полезных ископаемых ведут через скважины, пробуренные с земной поверхности или из подземных горных выработок, они и являются главными вскрывающими и добычными горными выработками.

Сущность скважинной технологии добычи состоит в переводе полезного ископаемого из природного твердого фазового состояния в новое подвижное состояние непосредственно в массиве горных пород и перемещении его по скважине на земную поверхность под воздействием рабочих агентов-флюидов.

Под *флюидом* понимают жидкую, газообразную или смешанную среду, химически активную или инертную,

являющуюся носителем энергии и подаваемую к залегающему в недрах земли полезному ископаемому через скважину с поверхности земли. *Продуктивным флюидом* называют флюид, в состав которого входит полезное ископаемое, переведенное из твердого природного состояния в новое агрегатное: раствор, расплав, газы, гидравлическая смесь – пульпа.

Известны различные способы воздействия на твердые полезные ископаемые, при которых возможен переход твердых полезных ископаемых в другое фазовое состояние (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Способы перевода твердого полезного ископаемого в подвижное состояние

Подвижное фазовое состояние	Процессы		
	физические	химические	физико-химические и химико-бактериальные
Газообразное	Нагревание: сублимация	Окисление, разложение, частичное или полное сжигание	Химические реакции с участием физических полей, бактериального воздействия
Расплав, раствор	Нагревание: плавление, перегонка	Выщелачивание с образованием молекулярных растворов, растворение	Растворение, выщелачивание и гидрогенизация с участием физических полей, бактериального воздействия
Гидромеханическая смесь	Гидравлическое и пневматическое разрушение	Растворение связующего вещества	Диспергирование поверхностно-активными веществами, химическими реагентами, физическими полями, бактериями

Скважинную технологию разрабатывают и применяют для добычи полезных ископаемых, в которых возможен хотя бы один из следующих физических или физико-химических

процессов: размыв, растворение, выщелачивание, плавление, возгонка, окисление – горение.

К процессам скважинной добычи полезных ископаемых относят:

• размыв залегающих на некоторой глубине рыхлых пород струей воды, подаваемой по скважине, или превращение пород в плывунное состояние путем вибрационного воздействия с откачкой образующейся пульпы по скважине на земную поверхность;

• растворение водой каменной и калийной солей, соды;

• выщелачивание ценных компонентов из медных, никелевых, урановых, свинцовых, цинковых, марганцевых и других руд;

• плавление серы, озокерита;

• возгонку – сублимацию киновари, реальгара, углей;

• окисление – сжигание углей и горючих сланцев с получением газов или тепловой энергии.

Гидромеханический процесс основан на переводе пород в подвижное состояние путем гидравлического разрушения связей между их частицами и образования дисперсной системы – гидросмеси, которую затем транспортируют на земную поверхность по трубам.

Процесс физического растворения протекает без изменения химического состава полезного ископаемого за счет диффузии флюида в горную породу и межмолекулярного взаимодействия веществ. Образующиеся продуктивные флюиды откачивают по скважинам на земную поверхность. Способность вещества равномерно распределяться в объеме растворителя называют его растворимостью.

Выщелачивание – процесс перевода в раствор вещества с изменением его природного химического состава. При этом полезный компонент переводят из твердого в жидкое состояние непосредственно в месте его залегания в недрах с последующим извлечением этого компонента из продуктивного раствора на земной поверхности. Способом подземного выщелачивания извлекают из руд металлы, их соли и оксиды. Под растворимостью в химических растворителях понимают проявляющуюся по отношению к ним реакционную способность или устойчивость выщелачиваемых минералов.

Плавление твердого вещества, происходящее при его нагревании, а также испарение и сублимация характеризуются соответствующими этим фазовым переходам температурой и теплотой превращения в новую фазу. Так, температура плавления озокерита – 50–80 °С, серы – 112,8–119 °С, температура сублимации киновари – 360–380 °С и т. д.

Окисление (сжигание) углей и горючих сланцев относят к термохимическим процессам, протекающим под воздействием внутрипластового теплового очага.

При подземном сжигании угля в процессе участвуют горючая масса угля, газы и влага, содержащиеся в нем. Часть тепла расходуется на нагрев негорючей массы угольного пласта. Состав горючей массы и ее содержание в угле определяют величину его теплоты сгорания, т. е. количество тепла, выделяющегося при сгорании 1 кг угля.

Продуктивные флюиды выдают на земную поверхность через скважины различными способами: за счет энергии нагнетаемого рабочего агента — жидкости или газа; посредством энергии сжатого воздуха, подаваемого в скважину, – эрлифтный подъем; погружными насосами и гидроэлеваторами; вентиляторами, работающими на всасывание.

Извлечение полезных ископаемых из недр земли скважинным способом вызывает изменение напряженного состояния массивов горных пород и их деформацию. При извлечении до 1–2 % объема залежи полезного ископаемого проявления горного давления не оказывают существенного влияния на технологию горных работ и состояние вмещающих пород. При извлечении 15–20 % объема залежи, что происходит, например, при подземной выплавке серы, или при полной выемке продуктивного пласта – при подземном растворении солей проявления горного давления становятся существенными, и вследствие обрушения вмещающих пород в выработанное пространство может происходить оседание земной поверхности.

Для предотвращения нежелательных проявлений горного давления необходимо управлять им известными методами: разделять выемочные поля на камеры и целики, устанавливать определенную последовательность их отработки, управлять процессом обрушения пород кровли, применять закладку выработанного пространства.

6.2. Технологии скважинной добычи

К основным технологическим процессам скважинной добычи полезных ископаемых относят вскрытие месторождения, производство рабочих агентов, очистную выемку и управление горным давлением, перемещение продуктивных флюидов, их переработку и складирование, рекультивацию нарушенных земель.

Этап подготовительных работ включает в себя строительство подъездных дорог к объекту, подводку электрических сетей, трубопроводов и другие работы.

Вскрытие месторождения осуществляют вертикальными, наклонными и наклонно-горизонтальными отдельными скважинами или группой скважин.

Вскрывающие скважины различают добычные и вспомогательные, к которым относят разведочные, водоотливные, контрольные и др.

Бурение скважин производят станками шарошечного бурения типа СБШ, станками шнекового вращательного бурения типа СВР или роторными буровыми установками при глубине скважин до 500 м.

Добычные скважины оборудуют колоннами труб для подведения к залежи полезного ископаемого рабочего агента и извлечения продуктивного флюида.

Производство рабочих агентов осуществляют в наземных установках.

Очистная выемка включает в себя следующие процессы: перевод полезных компонентов в подвижное состояние, доставка продуктивного флюида к добычной скважине и на земную поверхность.

Схема расположения, порядок проведения и ввода в эксплуатацию добычных и вспомогательных скважин, а также способ управления горным давлением определяются *принятой системой разработки месторождения.*

Выбор системы разработки осуществляют с учетом свойств полезного ископаемого или основного ценного компонента, определяющих процесс его перевода в подвижное состояние, с учетом проницаемости залежи и устойчивости вмещающих налегающих пород.

При устойчивых налегающих породах применяют *камерные системы разработки с открытым очистным пространством* (рис. 6.1). При неустойчивых породах кровли и необходимости предотвращения деформации земной поверхности используют *системы разработки с закладкой очистного пространства* (рис. 6.2); в этом случае выемочное поле делят на очистные блоки и целики, которые отрабатывают в определенной последовательности.

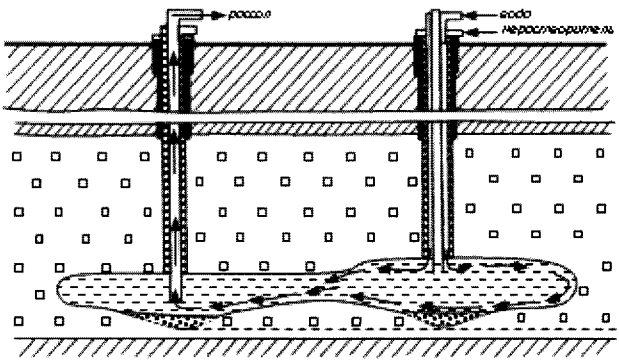


Рис. 6.1. Камерная система отработки соляной залежи сдвоенными скважинами

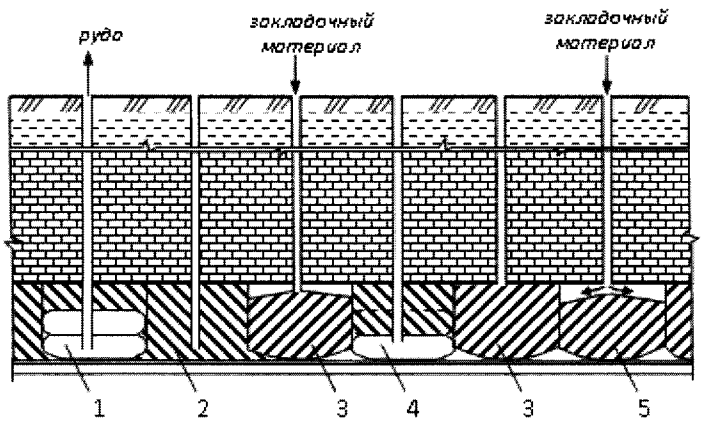


Рис. 6.2. Система разработки с закладкой очистного пространства:
1 – отрабатываемый блок; 2 – целик; 3, 5 – блоки с закладкой; 4 – отрабатываемый целик

Направление отработки залежи, параметры сетки скважин, а именно расстояния между скважинами в ряду и между рядами скважин, очередность ввода скважин в эксплуатацию определяют с учетом гидрогеологических условий залегания месторождения, формы, мощности и угла падения залежи. Сетка скважин бывает квадратной, треугольной, пяти- и шестиугольной.

Сущность *метода подземной выплавки серы* (ПВО) заключается в переводе самородной серы из твердого в жидкое состояние путем воздействия на нее перегретой водой, имеющей температуру 160 °С, и выдаче жидкой серы по скважине на поверхность земли под давлением сжатого воздуха.

Расширение применения скважинной добычи полезных ископаемых зависит прежде всего от эффективности поиска технических решений, обеспечивающих:

- повышение извлечения из недр ценных компонентов до 40–50 % и более;
- локализацию выемочных участков месторождений;
- сохранение режима и состава подземных вод;
- применение замкнутого водооборота;
- получение из недр земли продуктов высокого качества;
- экологическую чистоту способа.

6.3. Подземная разработка россыпей

Россыпи – скопления мелких обломков горных пород или минералов, содержащих ценные металлы, образовавшиеся вследствие разрушения (выветривания) коренных пород, переноса и отложения продуктов разрушения в долинах рек, на дне озер или морей.

В строении россыпей наиболее распространенных типов различают следующие основные части (сверху вниз):

– торфы – пустые породы с низким содержанием полезных компонентов, часто водонасыщенные или многолетнемерзлые;

– пески – отложения с промышленным содержанием полезных компонентов;

– плотик – поверхность подстилающих пород, на которых залегают пески.

Подземную разработку россыпей применяют при залегании

песков в многолетнемерзлых породах на глубине более 10–15 м и в талых породах на глубине 15–40 м.

На долю подземной разработки россыпей приходится около 5 % общего объема добычи металлоносных песков.

Россыпи отличаются простотой форм и выдержанностью элементов залегания (мощности, угла падения). Они также характеризуются наличием рыхлых, водонасыщенных неустойчивых или малоустойчивых торфов (глина, пески, галечник, ил), валунов из крепких пород в продуктивных пластах и торфах, а также прослоек льда в мерзлых торфах, снижающих устойчивость кровли.

Вскрытие месторождения осуществляют обычно стволом, расположенным в центре шахтного поля, ширина которого равна ширине россыпи (50–150 м, иногда более), а длина может меняться от 60–80 м (в талых россыпях) до 600–700 м (в мерзлых россыпях). По границам шахтных полей большой длины проходят вентиляционные шурфы, которые служат и в качестве запасных выходов. Подъемом они, как правило, не оборудуются. Короткие шахтные поля могут быть вскрыты одним стволом. Производительность шахты составляет обычно 50–200 м^3 в сутки.

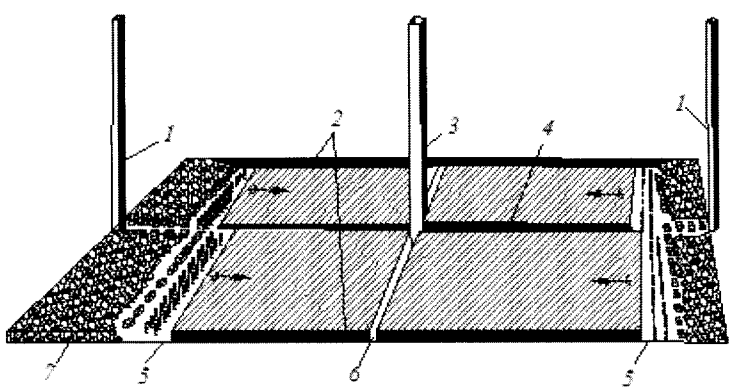


Рис. 6.3. Сплошная система разработки россыпей:
1 – вентиляционные шурфы; 2 – бортовые штреки; 3 – основной ствол; 4 – главный штрек; 5 – лавы; 6 – поперечный штрек; 7 – обрушенная порода

Системы разработки россыпей делятся на две группы: I – с обрушением кровли; II – с поддержанием очистного пространства.

Системы разработки с обрушением кровли наиболее распространены, а при разработке талых россыпей они являются практически единственно возможными. Исключение составляют россыпи с плывунами в кровле. В этом случае обрушение недопустимо.

Мерзлые пески отбивают шпуровыми зарядами. Отбитую руду доставляют до главного штрека скреперными лебёдками с погрузкой в вагоны или забойными конвейерами с перегрузкой на конвейер главного штрека. Далее пески транспортируются до бункера у ствола. При наличии конвейерного транспортирования нередко используют конвейерный подъем по наклонному стволу непосредственно до склада песков на поверхности.

Мерзлые пески складируют на поверхности в отвалы. В весенне-летний период отвалы разравнивают бульдозером, оттаивают и пески направляют на переработку (промывку) для извлечения из них металла.

7. КОМБИНИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Комбинированной разработкой называется отработка месторождения открытым и подземным способами, когда независимо от временного фактора требуется обязательный учет их взаимного влияния. Опыт проведения горных работ на предприятиях показывает, что большое число рудных месторождений, распространенных на большую глубину, целесообразно отрабатывать комбинированным способом: верхнюю часть – открытым, нижнюю – подземным.

Наибольший эффект комбинированный способ может обеспечить при совмещении во времени элементов различных работ на всех стадиях разработки месторождения.

Положительный пример такого совмещения – Гайское медно-колчеданное месторождение, где уже в начале отработки месторождения открытым способом закладывались вскрывающие выработки для подземного рудника.

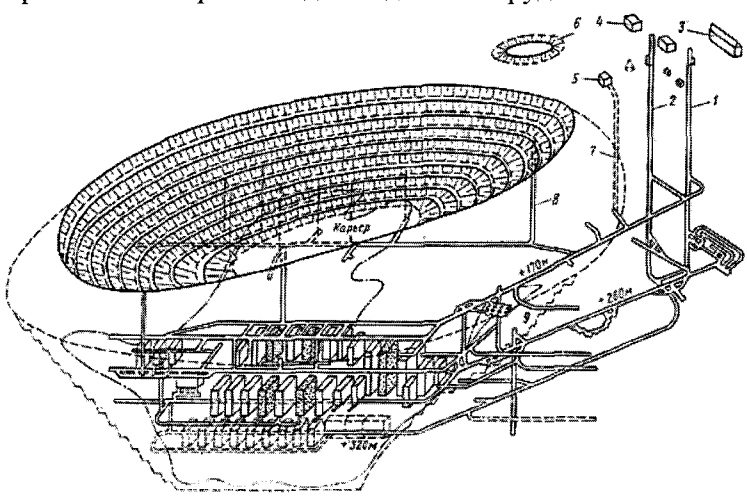


Рис. 7.1. Принципиальная схема комбинированной отработки залежи 3 месторождения Гайского ГОКа:

1 – клетевой ствол; 2 – скиповой ствол;3 – бытkомбинат; 4 – компрессорная; 5 – закладочная установка; 6 – отвал песка; 7 – закладочная скважина; 8 – ствол разведочно-эксплуатационные шахты; 9 – слепой ствол

Одним из основных преимуществ комбинированной разработки является повышение интенсивности эксплуатации месторождений и, соответственно, производственной мощности предприятия. С ростом производственной мощности предприятия обычно улучшаются и основные технико-экономические показатели. Для объективной оценки потенциальных возможностей месторождений необходимо определять средневзвешенные показатели за весь период разработки.

7.1. Классификация комбинированных способов разработки

При строительстве новых и реконструкции действующих предприятий, включающих в свой состав карьер и подземный рудник, выбор схем вскрытия и отработки как карьерного, так и шахтного полей, должен производиться с учетом всех специфических особенностей комбинированной разработки. Для этой цели необходимо: более четко классифицировать комбинированные способы разработки; оценить влияние технологических особенностей открытых и подземных работ на эффективность разработки месторождения; проанализировать результаты использования ресурсов месторождения (производственной мощности предприятия) и земельного отвода.

Существует несколько классификаций месторождений полезных ископаемых, подлежащих комбинированной разработке. Можно выделить три основных критерия: очередность (последовательность) развития открытых и подземных работ (проф. Б. П. Юматов); степень совмещения горных работ в пространстве и во времени (проф. В. А. Щелканов); изменение геомеханических полей подземных и открытых горных работ и их взаимное влияние (проф. Д. М. Казикаев).

По очередности (последовательности) развития открытых и подземных работ выделяют три группы:

– последовательный переход от открытых на подземные горные работы;

– последовательный переход от подземных на открытые горные работы;

– одновременная разработка месторождения открытым и подземным способами в течение продолжительного времени.

По степени совмещения горных работ в пространстве и во времени помимо различных групп введены коэффициенты степени совмещения (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Классификация способов комбинированной разработки по степени совмещения горных работ в пространстве и во времени

Способы с совмещением гонных работ во времени		Способы с совмещением горных работ в пространстве		Характеристика технологической взаимосвязи	
Наименование	Коэффициент совмещения $К_т$	Наименование	Коэффициент совмещения $К_т$	Наименование	Коэффициент совмещения $К_т$
1. Полное совмещение и одновременно е ведение открытых и подземных горных работ	$К_т = 1$	А. Полное совмещение горных работ в вертикальное плоскости	$К_{пр} \leq 2$	1. Тесная технологичес кая связь схем вскрытия и технологии горных работ	$К_{тв} = 1$
		Б. Полное совмещение гонных работ в горизонтальной плоскости	$К_{пр} \leq 1$		
2. Частичное совмещение открытых и подземных гонных работ	$0 < К_т < 1$	В. Частичное совмещение горных работ в горизонтальной плоскости	$0 < К_{пр} < 1$	2.Технологи-ческая взаимосвязь средняя (взаимосвязаны отдельные элементы технологии горных работ)	$0 < К_{тв} < 1$
		Г Частичное совмещение горных работ в вертикальной плоскости	$0 < К_{пр} < 2$		
3. Без совмещения во времени (последователь-ная разработка)	$К_т = 0$			3. Взаимосвязь слабая (горные работы непосред-ственно не связаны)	$К_{тв} = 0$

Под технологической взаимосвязью применительно к комбинированной разработке месторождений понимается взаимосвязанное решение схем вскрытия и технологических схем разработки карьерного и шахтного полей с использованием благоприятных специфических особенностей (рис. 7.2), обеспечивающих повышение эффективности разработки всего месторождения.

Целесообразно все возможные способы комбинированной разработки подразделить на три группы: *с тесной, средней* и *слабой технологической взаимосвязью.*

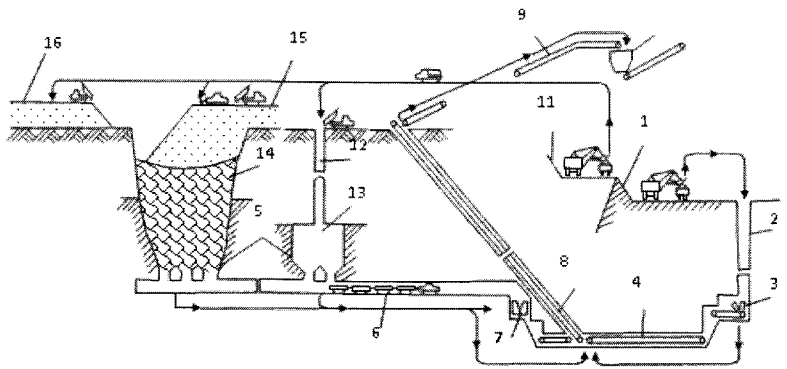


Рис. 7.2. Схема комбинированной разработки с использованием технологических особенностей:

1 – добычной забой в карьере; 2 – рудоспуск; 3 – подземный дробильный комплекс; 4 – транспортная выработка; 5 – подземные очистные блоки; 6 – откаточная выработка; 7 – шахтный дробильный комплекс; 8 – подъемный ствол; 9 – транспортный комплекс; 10 – обогатительная фабрика; 11– вскрышной забой в карьере; 12 – породоспуск; 13 – подземные камеры, подлежащие закладке; 14 – зона обрушения; 15 – отвал в зоне обрушения; 16 – отвал за контуром зоны обрушения

К первой группе – с тесной технологической взаимосвязью относятся способы комбинированной разработки с полной взаимной связью вопросов вскрытия и разработки (например, с выдачей всей руды и породы через общие подземные стволы).

Ко второй группе – со средней теснотой технологической взаимосвязи относятся способы комбинированной разработки,

взаимосвязанные отдельными элементами вскрытия и технологии горных работ.

К третьей группе – со слабой технологической взаимосвязью относятся способы комбинированной разработки с косвенной связью, горных работ, например взаимное использование подземных горных выработок для технологических целей – осушения месторождения, вентиляции, разведки.

7.2. Технологические схемы комбинированной разработки

Под технологической схемой комбинированной разработки понимается определенный порядок и последовательность ведения горных работ, при котором максимально учитывается специфика открытых и подземных работ.

При комбинированной разработке необходимость выбора совместных схем вскрытия карьерного и шахтного полей, а также взаимосвязанных технологических схем открыто-подземной разработки вызывается стремлением максимально использовать специфические особенности месторождения с целью повышения эффективности его эксплуатации. Учитывая, что при совместном вскрытии главной особенностью является возможность многоцелевого использования подземных выработок, схемы вскрытия предлагается оценивать по этому признаку. Целесообразность такой оценки подтверждается тенденцией все более широкого применения на глубоких карьерах подземных выработок для транспортирования горной массы.

В соответствии с принципами, положенными в основу рассмотренной выше классификации способов комбинированной разработки (см. табл. 7.1), все варианты (схемы) совместного вскрытия предлагается подразделить на три группы по степени технологической взаимосвязи. В каждую из указанных групп включено по две схемы в зависимости от типа основных транспортных подземных выработок. Эта классификация, очевидно, может быть расширена за счет включения в нее схем с использованием горизонтальных подземных выработок (штолен,

тоннелей) или комбинации нескольких их типов, особенно при гористом рельефе земной поверхности.

На выбор схемы вскрытия влияют не только степень совмещения горных работ во времени и пространстве, но и горно-геологические, гидрогеологические и горнотехнические факторы, детально рассмотренные в работе.

Технически возможные технологические схемы комбинированной разработки приведены на рис. 7.3.

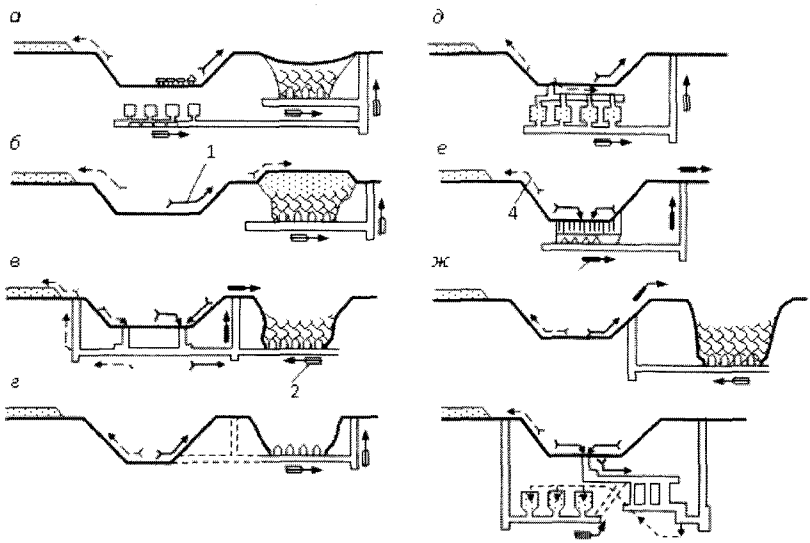


Рис. 7.3. Технологические схемы комбинированной разработки:
а – с независимыми транспортными потоками; б – с размещением вскрыши в зоне обрушения; в – с комплексным использованием по подземным выработкам общего пользования; г – с комплексным использованием подземных выработок на карьере;
д – с использованием вскрыши в качестве закладочного материала для заполнения подземных пустот; е – с выемкой подземных запасов со дна и с бортов карьера при использовании карьерных буровых станков; ж – с выдачей рудной массы из подземных забоев в карьер;
з – геотехнологические способы разработки с использованием «хвостов» обогащения для закладки подземных пустот;
1 – направление транспортирования руды из карьера;
2 – то же, из подземного рудника; 3 – одновременно из карьера и рудника; 4 – направление транспортирования вскрыши

Любая технологическая схема разработки месторождений должна удовлетворять следующим требованиям: безопасности работ; оптимальной интенсивности разработки месторождения; наибольшей эффективности разработки всего месторождения, когда при минимальных затратах на добычу и переработку руды обеспечивается получение максимального количества металла и необходимая производственная мощность предприятия.

В связи с этим выбор технического решения (технологической схемы) для конкретных условий месторождения должен проводиться с учетом горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения и на основании технико-экономического анализа сравниваемых технологических схем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Городниченко В. И.* Основы горного дела / *В. И. Городниченко, А. П. Дмитриев* Научная библиотека ПГТУ, 2008. – 456 с.

2. *Егоров П. В.* Основы горного дела: Учебник для вузов. –2-е изд. / *П. В. Егоров, Е. А. Бобер* и *др.* – М: Изд-во МГГУ, 2006. – 408 с.

3. *Борисов С. С.* Горное дело: Учебник для техникумов / *С. С. Борисов.* – М.: Недра, 1988. – 320 с.

4. *Шехурдин В. К.* Горное дело: Учебник для техникумов / *В. К. Шехурдин, В. И. Несмотряев, П. И. Федоренко.* – М.: Недра, 1987. – 440 с.

5. *Кузьмин Е. В.* Основы горного дела: Учебник для вузов / *Е. В. Кузьмин, М. М. Хайрутдинов, Д. К. Зенько.* – М., 2007. – 373 с.

6. *Каркашадзе Г. Г.* Механическое разрушение горных пород. – М., МГГУ, 2004.

7. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч.1 и 2. – М.: Недра, 1985. –549 с.

8. Справочник «Открытые горные работы». – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

9. *Бритарев В. А.* Горные машины и комплексы. Учеб. пособие для техникумов / *В. А. Бритарев, В. Ф. Замышляев.* – М.: Недра, 1984. – 288 с.

10. *Васильев М. В.* Транспортные процессы и оборудование на карьерах. – М.: Недра, 1986.

11. *Трубецкой К. Н.* Проектирование карьеров / *К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский и др.* – М.: Высшая школа, 2009. – 694 с.

12. *Анистратов Ю. И.* Технология открытых горных работ / *Ю. И., Анистратов, К. Ю. Анистратов.* – М.: НТЦ «Горное дело», 2008. – 472 с.

13. *Томаков П. И.* Технология, механизация и организация открытых горных работ / *П. И. Томаков, И. К. Наумов.* – М.: Недра, 1986. – 312 с.

14. *Томаков П. И.* Открытая разработка угольных и рудных месторождений: Учеб. пособие для вузов / *П. И. Томаков.* – М.: МГГУ, 1985.

15. *Ракишев Б. Р.* Вскрытие и системы открытой разработки. – Алматы: КазНТУ, 2011. – 275 с.

16. *Именитов В. Р.* Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1978.

17. Кузьмин Е. В. Самообрушение руды при подземной добыче / *Е. В. Кузьмин, А. Р. Узбекова.* – М.: Изд. МГГУ, 2006.

18. *Ялтанец И. М.* Проектирование гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Изд. МГГУ, 1994.

19. *Мамилов В. А.* Добыча урана методом подземного выщелачивания / *В. А. Мамилов и др.* – М.: Атомиздат, 1980.

20. *Каплунов Д. Р.* Комбинированная геотехнология / *Д. Р. Каплунов, В. Н. Калмыков, М. В. Рыльникова.* – М.: Руда и металлы, 2003.

21. *Щелканов В. А.* Комбинированная разработка рудных месторождений. – М.: Недра, 1974. – 232 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие	3
	Введение	4
1.	Общие сведения о горных работах	6
1.1.	Месторождения полезных ископаемых и элементы их залегания	6
1.2.	Запасы и извлечение полезных ископаемых	11
1.3.	Горные предприятия и виды их продукции	14
1.4.	Технологии разработки месторождений полезных ископаемых	16
1.5.	Горные выработки	20
1.6.	Основные сведения о свойствах горных пород	27
2.	Разрушение горных пород	33
2.1.	Механическое разрушение горных пород	33
2.2.	Технология буровых работ	36
2.3.	Разрушение горных пород посредством взрывания зарядов ВВ	41
2.4.	Взрывчатые вещества и средства взрывания	47
2.5.	Гидравлическая отбойка горных пород	51
3.	Открытые горные работы	52
3.1.	Стадии открытых горных работ при разработке месторождений полезных ископаемых	52
3.2.	Элементы карьера	53
3.3.	Подготовка горных пород к выемке	59
3.4.	Выемочно-погрузочные работы в карьере	62
3.5.	Грузопотоки и транспортное обеспечение грузоперевозок	76
3.6.	Отвалообразование	92
3.7.	Вскрытие и подготовка карьерного поля	96
3.8.	Системы открытой разработки месторождений полезных ископаемых	99
4.	Подземные горные работы	105
4.1.	Способы проведения горных выработок	105
4.2.	Выемочно-погрузочное оборудование на шахтах	106
4.3.	Рудничный транспорт и подъем	114
4.4.	Проходка вертикальных шахтных стволов	121
4.5.	Проведение горизонтальных и наклонных горных выработок	125

4.6.	Вскрытие месторождений полезных ископаемых	131
4.7.	Очистная выемка полезных ископаемых	133
4.8.	Системы разработки месторождений полезных ископаемых	141
5.	Гидромеханизированные и подводные горные работы	145
5.1.	Гидромеханизация открытых горных работ	145
5.2.	Гидромеханизация подземных горных работ ...	149
5.3.	Подводные горные работы	151
6.	Скважинная добыча полезных ископаемых	154
6.1.	Способы и процессы скважинной добычи	154
6.2.	Технологии скважинной добычи	158
6.3.	Подземная разработка россыпей	160
7.	Комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых	163
7.1.	Классификация комбинированных способов разработки	164
7.2.	Технологические схемы комбинированной разработки	167
	Библиографический список	170

Учебное издание

Акмарал Нармаханбетовна Дауренбекова
Арыстан Кожантов

Учебное пособие

Нач. РО ИУ ДСО *З. А. Губайдулина*
Редактор *З. А. Губайдулина*
Компьютерная верстка *А. С. Сайбулатова*

Подписано в печать 24.03.2017 г.
Тираж 300 экз. Формат 60x84x 1/16. Бумага типогр. № 1.
Уч.-изд.л. 10,8. Усл. п.л. 10,2. Заказ № 815. Цена договорная.

Издание Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева

Департамент по связям с общественностью КазНИТУ
Издательское управление
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-073-3

