



Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Кафедра підземної розробки  
родовищ

# ГЕОТЕХНОЛОГІЇ ГІРНИЦТВА

(ПІДЗЕМНА РОЗРОБКА РОДОВИЩ)

ЛЕКЦІЇ

# ЛЕКЦИЯ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

## 1. ТИПЫ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

### *1.1. Общие сведения*

Поверхность Земли примерно за 4-5 млрд. лет прошла три стадии: газообразного, жидкого и твёрдого состояния. Земной шар состоит из нескольких концентрических оболочек-геосфер. Наиболее отчётливо выделяются три: *земная кора, мантия и ядро*.

Толщина земной коры (литосферы) в океанах составляет около 5 км, а на материках - 70 км. В среднем её толщина составляет всего 0,6% от длины земного радиуса.

Под литосферой до глубины 2900 км располагается мантия. В её верхних слоях вещество находится в твёрдо-жидком состоянии с плотностью 3,3 г/см<sup>3</sup>. В интервале глубин от 900 до 2900 км вещество уплотняется и его плотность достигает 6-9 г/см<sup>3</sup>.

Ядро Земли охватывает всю внутреннюю область с глубины 2900 км. Вещество ядра напоминает густой, вязкий материал плотностью до 13 г/см<sup>3</sup>. Внутренняя часть ядра представлена железоникелевым соединением, а внешняя - сложена сверхплотными силикатами с высоким содержанием железа и никеля.

### *1.2. Структурное строение породного массива*

Участки земной коры, характеризующиеся общими условиями образования и определенными инженерно-геологическими свойствами горных пород называют **массивами горных пород**. Массивы отличаются:

- особенностями залегания и степенью нарушенности (трещиноватостью и блочностью) пород;
- минералогическим составом, структурой, текстурой и пористостью;
- наличием жидких и газообразных веществ (воды, нефти, рассолов, метана и др.);
- показателями геомеханического состояния (напряжения и деформации гравитационного, тектонического и техногенного происхождения) и др.

Характеристики состояния и свойств пород массива определяют условия ведения горных работ и являются основой для их проектирования.



### 1.3. Горные породы и минералы

При горнопромышленной деятельности предметом труда служат горные породы и минералы, которые находятся в литосфере (рис. 1.1).

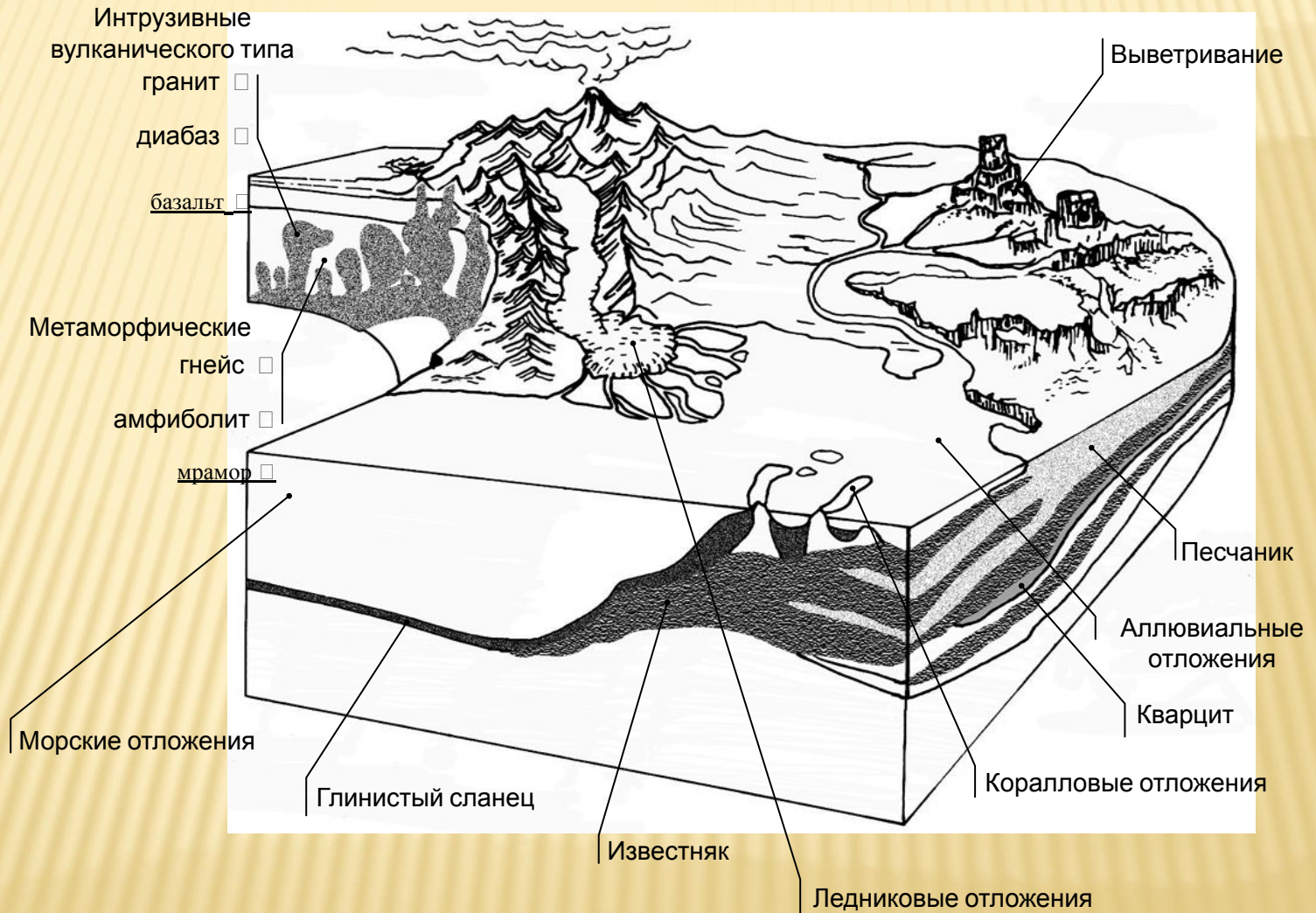


Рисунок 1.1 - Расположение горных пород и минералов в литосфере

В химическом составе земной коры наибольшую долю (82,58%) имеют три элемента: *кислород, кремний и алюминий* (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Химический состав земной коры

Наименование химического элемента	Обозначение	Содержание в земной коре (%)
Кислород	O	49,13
Кремний	Si	26,0
Алюминий	Al	7,45
Железо	Fe	4,2
Кальций	Ca	3,25
Натрий	Na	2,4
Калий	K	2,35
Магний	Mg	2,35
Водород	H	1,0
Прочие элементы		1,87

Девять химических элементов, представленных в табл. 1.1, в сумме составляют 98,13% массы всей земной коры.

*Горные породы* – природные минеральные агрегаты, слагающие земную кору в виде самостоятельных геологических тел.

*Минералы* – твёрдые тела, относительно однородные по составу и свойствам, возникшие в результате природных физико-химических процессов, протекающих на поверхности и в глубинах Земли. Известно более 3000 минералов, из них всего лишь 40-50 являются порообразующими.

Характеристики морфологических особенностей горных пород определяются генезисом (рис. 1.2).

Горные породы делят на три класса: *магматические, осадочные и метаморфические*.



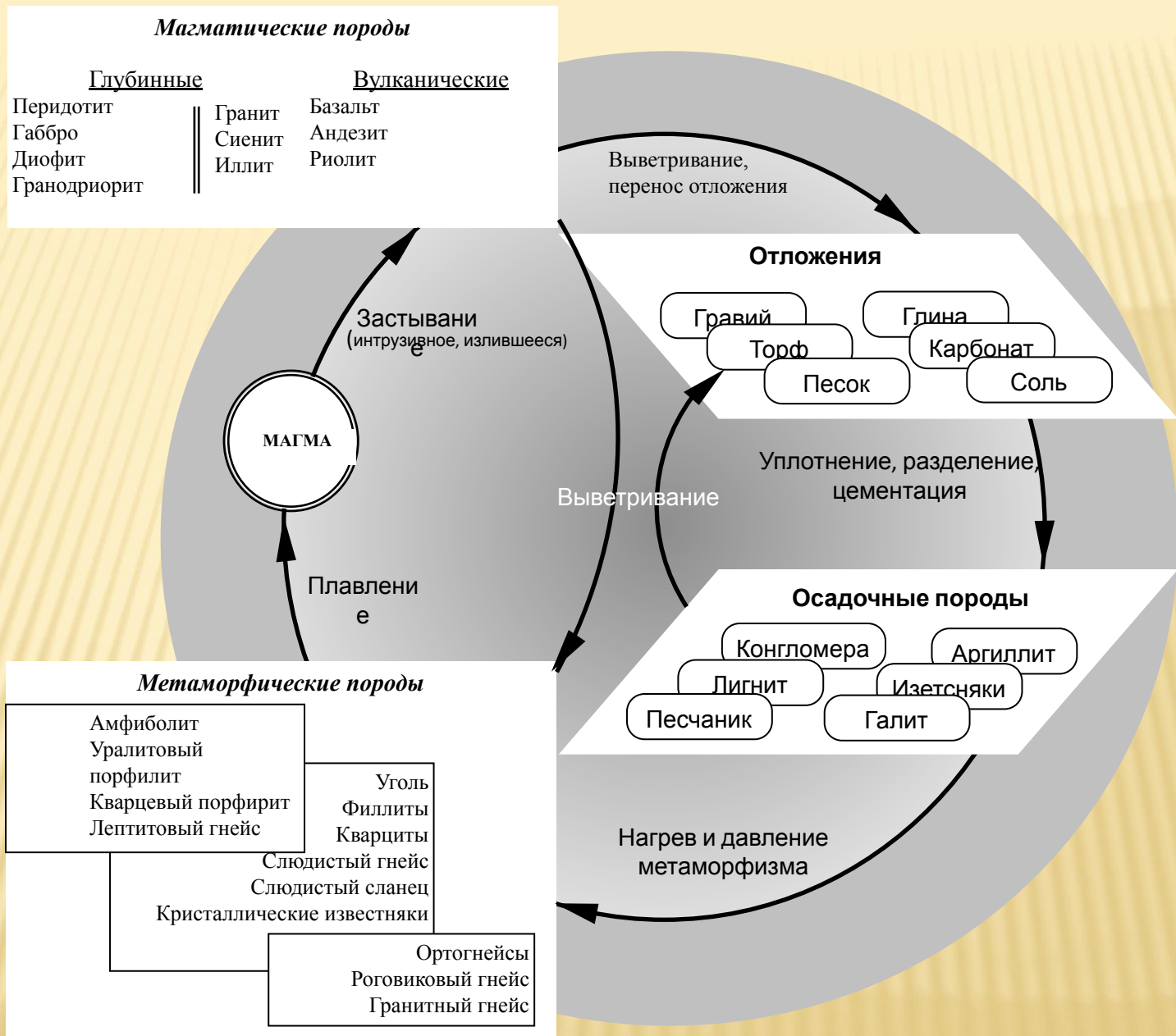


Рисунок 1.2 - Схема формирования минералов и горных пород

## 1.4. МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Магматические горные породы образовались в результате кристаллизации или затвердевания магмы как на глубине, внутри земной коры, так и на ее поверхности. Породы, образовавшиеся внутри земной коры, называются *интрузивными*. Они обладают полнокристаллической структурой и чаще всего массивной текстурой.

Излившаяся на поверхность, остывшая и затвердевшая магма образует *эффузивные горные породы*. Их структура – стекловатая и сравнительно редко – полнокристаллическая. Текстура обычно флюидальная (со следами течения) или же миндалекаменная.

К магматическим горным породам относятся *граниты, сиениты, диабазы, базальты, габбро, порфиры, андезиты и ряд других*. Эти породы используются как строительные (туфы, лабрадориты и др.), абразивные (пемза) и теплоизоляционные (пемза, перлит) материалы – как сырьё для извлечения ценных компонентов (например, алюминия из нефелиновых сиенитов). С кислыми магматическими породами связаны *руды олова, вольфрама, золота*; с основными – *титаномагнетит, медные руды, исландский шпат*; с ультраосновными – *руды хрома, платины, никеля*, а с щелочно-ультраосновными – *руды титана, фосфора, циркония, редкоземельных элементов*.

## 1.5. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Образовались из магматических и осадочных пород при воздействии на них высокой температуры, давления и химически активных растворов. В результате такого воздействия в недрах литосферы изменяется минеральный состав, размер и текстура пород. Каждый минерал переходит в иное соединение, иной материал устойчивый при новых условиях. Так, глины преобразовываются в глинистые сланцы, а последние превращаются в различные роговики; известняки переходят в мрамор, песчаники в кварциты.

Метаморфические горные породы могут иметь сланцеватую или полосчатую текстуру (*сланцы, гнейсы*), а также массивную (*мраморы, кварциты, роговики*).



## 1.6. ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Осадочные горные породы образовались путём осаждения частиц вещества в водной среде или из воздуха, а также в результате деятельности ледников и вулканов.

Осадочные горные породы образуют *пласты, слои, линзы и другие геологические тела*.

Для большинства этих пород характерна слоистая текстура. Их строение представлено в виде налегающих один на другой слоев, различающихся минеральным составом, цветом и физико-механическими свойствами. По слоистости горные породы классифицируются на пять типов (табл. 1.2).

Таблица 1.2 - Классификация горных пород по слоистости

Типы горных пород	Толщина слоя, м
Весьма тонкослоистые	0,2
Тонкослоистые	0,2-1,0
Среднеслоистые	1,0-3,0
Крупнослоистые	3,0-10,0
Весьма крупнослоистые	>10

Способность пород расслаиваться при ведении горных работ оказывает существенное влияние на устойчивость и характер обрушения пород в очистном забое. Чем меньше связь между слоями и чем тоньше эти слои, тем легче они обрушаются. Чем толще слои, на которые расслаивается порода, тем труднее они прогибаются и тем большими участками они обрушаются

В зависимости от состава и генезиса осадочные горные породы делятся на:

- механические или обломочные (*пески, песчаники, гравий, щебень, глины*);
- химические осадки, образующиеся при выпадении из растворов (*каменная соль, гипс, ангидрит, бораты, барит, руды железа, марганца, бокситы*), а также некоторых цветных и редких металлов (*медь, молибден, ванадий уран*);
- органогенные, образовавшиеся вследствие жизнедеятельности организмов (*известняки, уголь, горючие сланцы, фосфориты*, а также некоторые железные и марганцевые руды).

Свыше 75% всех полезных ископаемых, извлекаемых из недр Земли, заключено в осадочных горных породах.

## 1.7. ОБРАЗОВАНИЕ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ

**Ископаемые угли** – твёрдые горючие горные породы, образовавшиеся, в основном, из отмерших растений. Они залегают в виде пластов, прослоев и мощных линзообразных залежей.

Угленакопление и формирование угольных бассейнов происходило на протяжении почти полутора миллиарда лет, начиная с девонского периода палеозойской эры и кончая третичным периодом кайнозойской эры. Угольные пласты Донецкого и Львовско-Волинского бассейнов образовались в каменноугольный период палеозойской эры, Днепровского бурогоугольного бассейна - в палеогеновый период кайнозойской эры, соответственно 300-320 и 70 млн. лет тому назад.

Процесс углеобразования состоит из трех стадий:

- образование торфа и его захоронение;
- покрытие образовавшегося пласта наносами с опусканием толщи и развитием метаморфизма угля;
- участие угленосной толщи в горообразовательных процессах, связанных с тектоническими явлениями, а также с выветриванием.

По характеру исходного для углеобразования материала ископаемые угли подразделяются на три группы: *гумолиты*, *сапронелиты* и *сапрогумолиты*. Генетические типы углей формировались в зависимости от исходного материала, условий его накопления, степени обводненности и химического характера среды, в которой происходило превращение органического материала (на торфяной и бурогоугольной стадиях углеобразования), а также от температуры и давления (на каменноугольной стадии), действующих в результате погружения угленосных отложений на глубину.

Погребенный под осадками торф вступал в фазу *углефикации* – последовательного превращения в *бурый*, затем в *каменный уголь* и *антрацит*.

Углефикация делится на стадии *диагенеза* и *метаморфизма*.

На стадии *диагенеза* завершается гумификация растительного материала, старение и затверждение коллоидов, происходят дегидратация, выделение газов и другие преобразования органических и минеральных компонентов, складывается петрографический состав угля.

На стадии *метаморфизма* в результате физико-механических процессов, обусловленных длительным воздействием повышенных температур и давления при погружении угленосных толщ в недра Земли, происходит структурно-молекулярное преобразование компонентов угля и вещественное изменение их химического состава и физических свойств.



**Вещественный состав** ископаемых углей характеризуется содержанием *горючей части и балласта* (рис. 1.3).

*Горючая часть* угля представляет собой в основном органический материал, образованный из пяти химических элементов: *углерода, водорода, серы, кислорода и азота*. Последние два элемента, не участвуя в тепловыделении при горении топлива, являются внутренним топливным балластом. В горючую часть входит минеральное соединение биосульфид железа  $\text{FeS}_2$  (железный колчедан), представленный обычно пиритом.

Балласт угля состоит из влаги  $W$  и негорючей минеральной части.

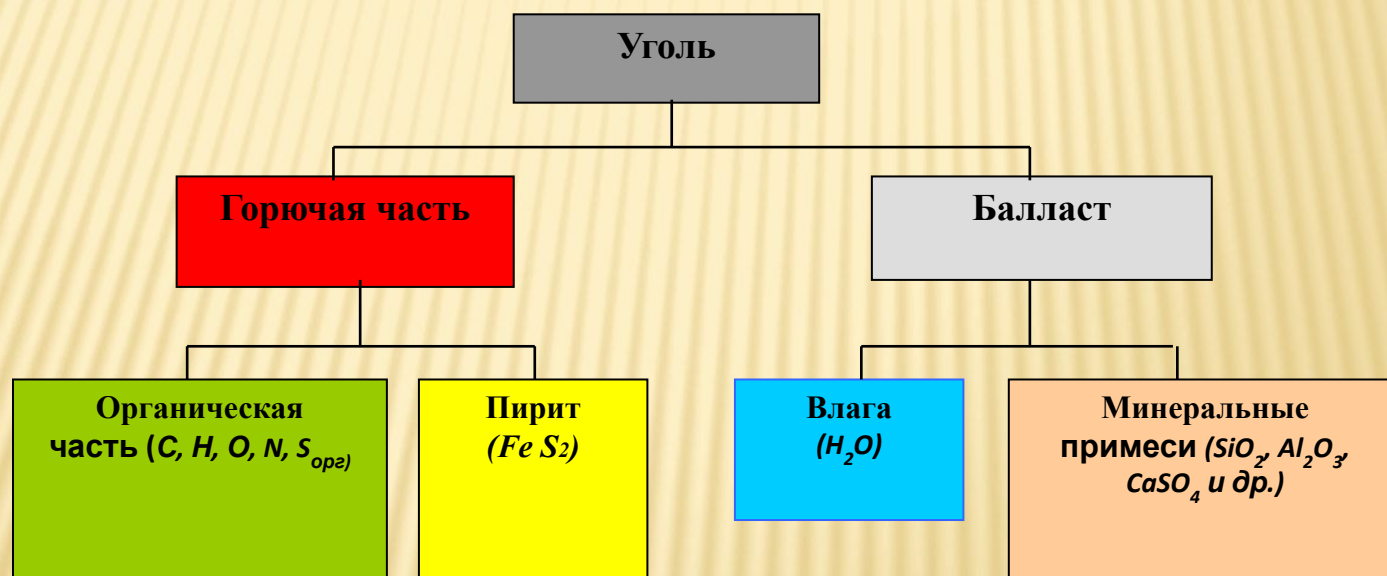


Рисунок 1.3 - Составные части ископаемого угля.

## 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 2.1. Общие сведения

Основные направления промышленного использования угля – энергетическое и технологическое (рис. 2.1).

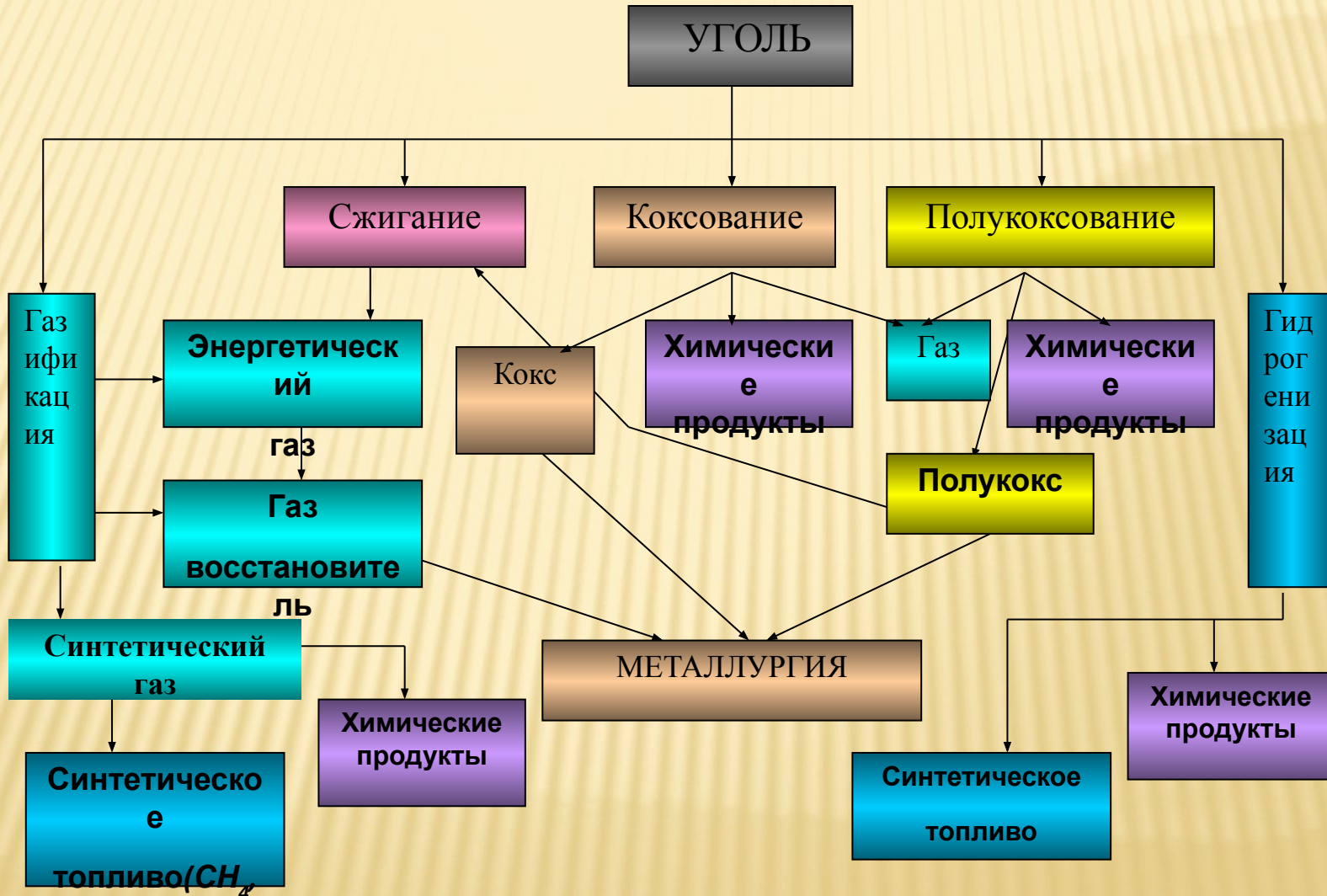


Рисунок 2.1 - Схема основных направлений переработки и использования угля



Энергетические угли сжигают в топках на электростанциях, в промышленных и коммунально-бытовых котельных. Технологические угли используют для коксования, полукоксования, газификации, гидрогенизации.

Электростанции потребляют более 40% угля, металлургическая промышленность – 25, промышленные котельные и коммунально-бытовой сектор – 20, стройиндустрия и сельское хозяйство – более 10%.

Основным показателем энергетической ценности угля принято считать *теплоту сгорания* рабочей массы топлива. Исходя из нее определяют тепловую экономичность различных топливо-использующих устройств, в частности *к.п.д.* тепловых электростанций.

*Зольность угля A* – массовое количество негорючего остатка – золы. Различают пластовую и эксплуатационную зольность.

На шахтах Украины пластовая зольность изменяется в пределах от 9 до 35%, эксплуатационная – от 22 до 50 и более%. В процессе разработки угольных пластов зольность увеличивается в 1,5–6,0 раза за счет несовершенства технологии горных работ.

## **2.2. Технологические свойства углей**

Технологические свойства углей характеризуются прежде всего по выходу *летучих веществ и нелетучему органическому (коксовому) остатку*. Этот показатель входит как один из основных в технологическую и промышленную классификации углей и учитывается при определении рационального их использования.

*Летучие* – это вещества, выделяющиеся в процессе нагревания угля в стандартных условиях при температуре  $(850 \pm 10^\circ\text{C})$ . В состав летучих веществ входят: *влага, летучие органической части угля и частично продукты разложения некоторых минералов*.

Выход летучих веществ, определенный как отношение их массы к единице массы угля (в процентах) и пересчитанный на сухое беззольное топливо, характеризует состав и степень углефикации его органического вещества, т.е. степень его метаморфизма.

По выходу летучих веществ и по характеру нелетучего остатка (максимальной толщине пластического слоя у) каменные угли подразделяются на марки.

Промышленная классификация каменных углей Донбасса приведена в табл. 2.2.

**Таблица 2.1 - Классификация углей Донбасса**

Марка угля		Выход летучих, V <sub>r</sub> , %	Толщина пластического слоя у, мм	Содержание углерода, %	Теплота сгорания, МДж/кг	
Наименование	Обозначение				высшая	низшая
<b>Длиннопламенный</b>	Д	> 42	<6	74-81	31,0-33,0	20,9-22,3
<b>Газовый</b>	Г	35-44	6-10	77-84	32,6-34,7	25,0-26,7
<b>Газовый жирный</b>	ГЖ	26-35	11-16	81-87	33,9-36,0	25,5-27,0
<b>Жирный</b>	Ж	27-35	17-26	83-88	34,3-36,4	26,4-28,0
<b>Коксовый</b>	К	18-27	14-21	85-90	34,7-36,6	26,0-27,5
<b>Отощено-спекающийся</b>	ОС	12-18	6-13	87-92	35,2-36,8	27,4-28,3
<b>Тощий</b>	Т	9-17	-	87-93	34,7-36,4	26,7-28,0
<b>Антрацит</b>	А	< 8	-	92-96	34,7-36,0	26,0-27,0

Угли определенных марок используются по-разному. Например, для коксования идут угли марок К, Ж, ГЖ, ОС; производства формованного кокса – Д, Г, ГЖ, ОС, Т; генераторного газа и синтетического жидкого топлива – Б, Д, Г, ГЖ, Ж, полукоксования – Б, Д, Г, производства термоантрацита, карбида кальция, электрокорунда – Т и А, для энергетических целей используются угли всех марок.



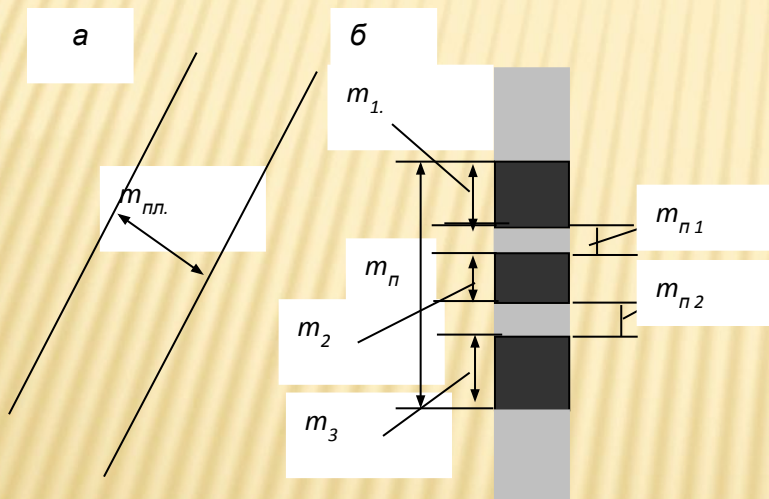
### 3. СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

#### 3.1. Технологическая характеристика элементов залегания пласта

Технология ведения горных работ и развитие в массиве пород геомеханических процессов существенно зависят от мощности и угла падения разрабатываемых пластов.

*Пласт* – геологическое тело, имеющее значительную площадь распространения, ограниченное по мощности двумя примерно параллельными плоскостями, называемыми *кровлей* и *почвой* пласта.

*Мощность пласта* – расстояние по нормали между кровлей и почвой пласта (рис. 3.1 а)



При разработке пластов сложного строения выделяют также такие мощности:

- *полную* (общую)  $m_n$ , измеряемую от кровли до почвы пласта со всеми породными прослойками;
- *полную, полезную*, равную сумме мощностей всех пачек (слоев) полезного ископаемого

$$m_{nn} = m_1 + m_2 + m_3; \quad (3.1)$$

- *вынимаемую* (рабочую или эксплуатационную), равную сумме мощностей пачек (слоев) полезного ископаемого и прослоев породы, фактически вынимаемых при разработке. В этом случае она измеряется расстоянием от обнаженной кровли до обнаженной почвы вынутаго пласта, даже если почвой и кровлей является полезное ископаемое;
- *вынимаемую полезную*, равную сумме мощностей фактически вынимаемых пачек (слоев) полезного ископаемого  $m_{в.п.}$ .

Вынимаемая мощность  $m_g$  может быть как больше, так и меньше истинной мощности пласта  $m_n$ . Так, при разработке весьма тонких и тонких пластов, когда габариты механизированных крепей не вписываются в размер истинной мощности, очистную выемку ведут с присечкой пород кровли или почвы, и тогда  $m_g > m_n$ .

В соответствии с Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) угольные пласты по мощности разделены на четыре группы.

Группы	Мощность, м
весьма тонкие	< 0,7;
тонкие	0,71–1,2;
средней мощности	1,21–3,5;
мощные	>3,5 .

Мощность разрабатываемого пласта является одним из основных факторов, определяющим:

- очередность и порядок разработки смежных пластов в свите;
- место расположения выработок относительно пласта и способы их охраны;
- выбор системы разработки;
- выбор средств механизации и технологии очистной выемки полезного ископаемого.

От мощности пласта в конечном итоге зависит нагрузка на очистной забой, себестоимость добычи угля и другие технико-экономические показатели добычного участка и шахты в целом.

По углу падения  $\alpha$  угольные пласты делятся на четыре группы:

Группы	Угол падения, м
пологие	0–18°
наклонные	19–35°
крутонаклонные	36–55°
крутые	> 56°

Угол падения пластов предопределяет технологическую схему шахты и ее параметры. От величины  $\alpha$  существенно зависят схема вскрытия и способ подготовки шахтного поля, технология очистных работ, выбор средств механизации выемки угля и его транспортирования.



При  $\alpha < 10^\circ$  пласт может разрабатываться по простиранию, восстанию и падению. При  $\alpha > 10^\circ$  разработка ведется преимущественно по простиранию. На пластах с углом падения  $< 18^\circ$  транспортирование угля вдоль забоя осуществляется конвейерами, а при  $\alpha = 19-35^\circ$  возможна доставка под действием собственного веса по металлическим листам и решеткам. На крутонаклонных и крутых пластах уголь вдоль забоя транспортируется непосредственно по почве пласта под действием собственного веса.

### 3.2. Природное состояние массива горных пород

При разработке угольных месторождений большое значение имеют такие характеристики природного состояния массива горных пород как *газоносность*, *обводненность*, *обрушаемость* и *слеживаемость* слагающих пород, а также *окисляемость* и *самовозгораемость* полезного ископаемого.

*Газоносность* массива горных пород – количество газов, содержащихся в весовой или объемной единице горной породы в виде свободных и сорбированных газов; измеряется в  $\text{м}^3/\text{т}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Природная газоносность массива горных пород предопределяет *газообильность* шахт, т.е. количество газа, выделяющегося в горные выработки. Различают *абсолютную газообильность* – дебит газа в единицу времени ( $\text{м}^3/\text{мин}$  или  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ) и *относительную* – количество газа, выделившегося за определенное время и отнесенное к единице массы или объема угля, руды или породы добытых за этот же период ( $\text{м}^3/\text{т}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ).

В угольных шахтах наиболее интенсивны выделения метана и углекислого газа. Поэтому под газообильностью шахт подразумевают их *метанообильность* или *углекислотность*.

Классификация угольных шахт по относительной метанообильности представлена в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Категория шахт по относительной метанообильности

Категория шахт по метану	Относительная метанообильность шахты, $\text{м}^3/\text{т}$
I	До 5
II	От 5 до 10
III	От 10 до 15
Сверхкатегорные	15 и более; шахты, опасные по суффлярным выделениям.
Опасные по внезапным выбросам	Шахты, разрабатывающие пласты, опасные или угрожаемые по внезапным выбросам угля и газа; шахты с выбросами породы

Насыщенность массива горных пород подземными водами, которая определяет величину ожидаемого притока воды в выработки и осложняет ведение горных работ, характеризует его *обводненность*. Показателем обводненности служит *коэффициент водообильности* – отношение количества откачанной из шахты воды к объему добытого за тот же срок полезного ископаемого.

Классификация пород по степени водообильности представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2 - Классификация пород по степени водообильности

Горные породы	Дебит скважин, л/сек
Сильноводообильные	> 10
Водообильные	1–10
Слабоводообильные	0,1–1
Сильновлагодомккие	0,01–0,1
Водоупорные	-

Важным технологическим свойством массива горных пород, определяющим его поведение при воздействии горных работ, является *обрушаемость*, под которой понимается свойство пород обрушаться при их обнажении. Она зависит от структуры (*слоистости, трещиноватости*) и *физико–механических свойств* пород основной и непосредственной кровли.

К непосредственной кровле относятся слои относительно слабых пород (аргиллиты, алевролиты) залегающих в непосредственной близости от пласта и обрушающихся без значительных завесаний в выработанном пространстве, вслед за передвижкой (переноской) крепи. Именно эти породы формируют нагрузку на крепь очистного забоя.

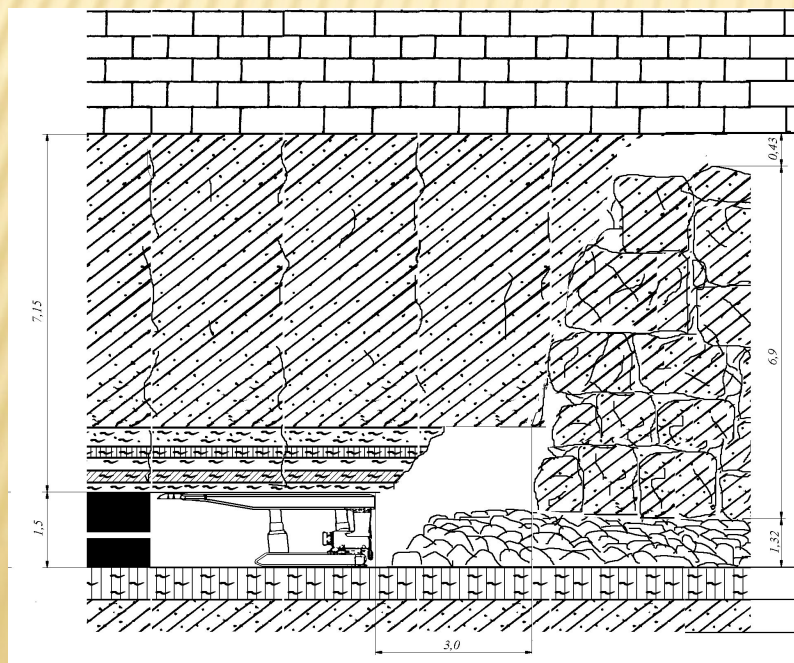
К основной кровле относятся мощные слои крепких пород (песчаники, известняки), образующие значительные завесания и обрушающиеся или плавно опускающиеся на разрушенные породы непосредственной кровли или, при их отсутствии - на почву пласта .

В табл. 3.3 приведена классификация горных пород по *обрушаемости*.



Таблица 3.3 - Классификация пород кровли по обрушаемости

Класс пород	Характеристика пород кровли
I	В непосредственной кровле залегает толща легкообрушающихся пород, мощностью не менее 6–8 кратной мощности разрабатываемого пласта
II	В непосредственной кровле залегают породы мощностью менее 6-8 кратной мощности разрабатываемого пласта. В основной кровле залегают труднообрушающиеся породы, которые обрушаются спустя некоторое время после подвигания очистных работ и обнажения кровли на значительной площади.
III	В непосредственной кровле залегает незначительная по мощности толща пород. В отдельных случаях непосредственная кровля отсутствует и над пластом залегает основная кровля, допускающая обнажение на значительной площади.
IV	В непосредственной кровле залегают породы, обладающие способностью плавного опускания без значительных разрывов и трещин (при мощности пласта до 0,8–1,0 м).



Обрушаемость пород является главным фактором, который принимается во внимание при выборе способа управления кровлей. В этой связи основные кровли разделяют на *легкоуправляемые* и *трудноуправляемые*.

К *легкоуправляемым* относят кровли 1 класса, не дающие вторичных осадков и дополнительных нагрузок на крепь за счет того, что породы непосредственной кровли разрушаясь подбучивают вышележащие слои основной кровли.

*Трудноуправляемые* кровли – кровли 2 и 3 класса, представлены обычно породами одного литологического типа (песчаники, известняки, песчаные сланцы) с пределом прочности на одноосное сжатие  $> 70$  МПа, при этом шаг первичной и вторичной осадков основной кровли превышает 30 м.

Кроме обрушаемости, другим важным технологическим свойством является *устойчивость горных пород*, т.е. их способность сохранять равновесие при обнажении.

В зависимости от структуры и физико-механических свойств пород, а также состояния очистного пространства в период разработки горные породы подразделяются по устойчивости на пять классов (табл. 3.4).

Таблица 3.4 - Типизация непосредственной кровли по устойчивости.

Категория	Тип кровли	Технологические признаки и рекомендации	Состав и характеристика пород кровли
Б5	Устойчивая	Обнажение за исполнительным органом комбайна вдоль всего забоя сохраняет устойчивость в течение 2-х часов и более. При односторонней работе комбайна допускается закрепление обнажения после холостого прохода	Алевролиты, песчанистые сланцы, песчаники и известняки. Толщина слоев более 0,5 м. Прочность при сжатии более 60 МПа
Б4	Средней устойчивости	Обнажение за исполнительным органом комбайна длиной 20 м и больше сохраняет устойчивость более 0,5 часа. Участок изгиба конвейера можно не крепить. При остановках более 0,5 часа крепить обязательно	Аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы, песчанистые сланцы. Толщина слоев менее 0,3 м. Прочность при сжатии от 30 до 60 МПа
Б3	Малоустойчивая	Обрушается за исполнительным органом комбайна длиной более 5 м. Обнажения длиной от 5 м до 20 м сохраняют устойчивость 5-30 мин. Крепь должна устанавливаться сразу за исполнительным органом комбайна. Кровля над корпусом комбайна должна быть закреплена.	Тонкослоистые аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы, песчанистые сланцы. Толщина слоев менее 0,3 м. Прочность при сжатии менее 20-40 МПа.
Б2	Неустойчивая	Обрушается за исполнительным органом комбайна или с отставанием до 5 м. Обнажения могут сохранять устойчивость только кратковременно и случайно. Отработка таких пластов возможна с обрушением неустойчивых слоев вместе с углем, оставлением защитной угольной пачки или с предварительным упрочнением кровли.	Пески, углистые и глинистые аргиллиты и сланцы, а также другие породы в зонах тектонических нарушений. Толщина слоев менее 0,2 м. Прочность при сжатии менее 20 МПа.
Б1	Весьма неустойчивая	Обрушается вслед за исполнительным органом комбайна. Отработка пласта возможна с обрушением неустойчивых слоев, оставлением защитной угольной пачки или с предварительным упрочнением кровли	Углистые аргиллиты тонкослоистые с прослойками угля или углисто-глинистыми прослойками. Толщина слоев менее 0,2 м. Прочность при сжатии менее 20 МПа



## 4. РАЗРУШАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

### 4.1. Общие сведения

Эффективность разработки месторождений полезных ископаемых существенно зависит от *разрушаемости горных пород*. Разрушение пород представляет собой сложный физический или физико-химический процесс, характер развития которого зависит от прочности и структурных свойств массива, его напряженного состояния, величины и скорости приложения нагрузки. В технологии добычи и переработки твердых полезных ископаемых разрушение является основным процессом и осуществляется, главным образом, в результате *механического* и *взрывного* воздействия, в меньшей степени – *гидравлического*, *взрыво-гидравлического*, *термического*, *электрического*, *электромагнитного*, *химического* и *комбинированного*.

### 4.2. Природные свойства пород

Существенное влияние на выбор технологии ведения горных работ оказывают природные свойства горных пород такие как *трещиноватость*, *твердость*, *крепость*, *вязкость*, *хрупкость*, *абразивность* и др.

*Трещиноватость* горных пород – нарушение их сплошности совокупностью трещин различной протяженности, формы и пространственной ориентации.

По происхождению трещиноватости различают:

- *эндогенную* – результат растрескивания горных пород в процессе охлаждения и усадки вещества, дегидратации и т.п.
- *экзогенную* – результат нарушения равновесия естественно сложившегося массива под воздействием тектонических процессов и планетарных явлений (изменение частоты вращения и формы Земли, влияние приливных сил);
- *техногенную*, вызванную нарушениями естественного состояния массива в результате горных работ.

*Твердость* – свойство горных пород оказывать сопротивление внедрению в них других тел при сосредоточенном контактном силовом воздействии. Она характеризует прочность горных пород.

Профессор М.М. Протодяконов предложил оценивать прочность пород коэффициентом крепости  $f$ . Значение этого коэффициента для каждого вида породы численно равно частному от деления величины временного сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_{сж}$  на 100.

Согласно предложенной классификации, все горные породы подразделены на 10 категорий от  $f=20$  – для высшей степени крепких пород до  $f=0,3$  – для слабых плавунных пород .

*Вязкость* – свойство пород оказывать сопротивление внешним силам, стремящимся отделить куски породы от массива. Это сопротивление препятствует взаимному движению частиц породы относительно друг друга под действием внешних сил.

Вязкость горных пород характеризуется *коэффициентом относительной вязкости*, который определяют как отношение усилия, требуемого для отделения некоторой части породы от массива, к величине усилия, необходимого для отделения от массива известняка, принятого за эталон. Величина этого коэффициента изменяется от 0,5 до 3 (например, для мрамора 0,7; песчаника 1,2; гранита 1,3; кварцита 1,9; базальта 2,2).

С увеличением вязкости пород:

- возрастает поглощение упругих волн;
- уменьшаются ползучесть и пучение пород;
- возрастает энергоёмкость процессов дробления и измельчения пород при переработке полезных ископаемых и взрывных работах.

Вязкость углей зависит от степени их метаморфизма. Наибольшей вязкостью и, следовательно, сопротивляемостью разрушению обладают угли ранних стадий метаморфизма марок Д и Г.

*Хрупкость* – способность горных пород к разрушению под воздействием внешних сил без заметных пластических деформаций (не более 5% от деформации разрушения), выражаемая коэффициентом хрупкости  $K_{хр}$ . Его значения определяются как отношение удельной энергии упругого деформирования породы к удельной энергии разрушения при одноосном сжатии.

*Абразивность* – способность породы изнашивать контактирующие с ней поверхности горных машин или оборудования в процессе их работы. Ее оценивают показателем абразивности  $\rho$ , выражающем среднюю потерю в весе (в миллиграммах) тупого стального цилиндрического стержня при его истирании о породу во время вращения с определенными параметрами скорости и времени вращения при заданной осевой нагрузке.

Все горные породы по абразивности разделяются на 8 классов.



### 4.3. Сопротивляемость пород проникновению инструмента

Эффективность разрушения горных пород и угля существенно зависит от их сопротивляемости при механическом воздействии в процессах бурения шпуров и скважин и выемки полезного ископаемого, т.е. от буримости и сопротивляемости угля резанию.

*Буримость* – сопротивляемость породы проникновению в нее бурового инструмента. Ее характеризуют скоростью бурения (мм/мин), реже – продолжительностью бурения 1м шпура (мин/м) при стандартных условиях проведения измерений для каждого типа буровой машины.

В зависимости от скорости бурения и коэффициента крепости по шкале профессора М.М. Протодяконова все породы принято делить на четыре группы (табл. 4.1.)

Таблица 4.1 - Деление пород по скорости бурения

Группы пород	Чистая скорость бурения, мм/мин.	Коэффициент крепости пород, $f$
Легкобуримые	300-400	2-3
Среднебуримые	100-160	6-8
Труднобуримые	90-100	10-12
Весьма трудно-буримые	30-40	16-20

*Сопротивляемость резанию* – характеристика сопротивления, оказываемого горной породной разрушению режущим инструментом. За показатель сопротивляемости угля резанию  $A$  (кН/см) принято приращение силы резания на 1 см толщины стружки. Для пород в качестве критерия сопротивляемости резанию используют показатель *контактной прочности*, измеряемый в  $\text{кН/мм}^2$  при вдавливании цилиндрического стального стержня в образец породы до момента ее хрупкого разрушения в стандартных условиях.

Сопротивляемость угля резанию  $A_p$  изменяется в пределах 0,3–6 кН/см и используется в качестве основного классификационного принципа разрушаемости угля. В зоне отжима угля сопротивляемость резанию иная, чем в глубине массива. Поэтому на практике применяют два показателя:

- сопротивляемость угля разрушению при резании  $A$  в неотжатом массиве;
- сопротивляемость угля резанию  $A_g$  в призабойной (отжатой) зоне массива

$$A_{p.o} = 10K_{om} A_p$$

где  $K_{om}$  – коэффициент отжима, учитывающий снижение сопротивляемости резанию в зоне отжима по сравнению с сопротивляемостью в неотжатом массиве.

Изменение горнотехнических факторов (ширины захвата выемочных механизмов, ширины призабойного пространства, способа управления горным давлением, жесткости крепи и др.) позволяет регулировать отжим угля и создает предпосылки для снижения энергоемкости разрушения.

**Показатели твердости, крепости, вязкости, хрупкости и абразивности, сопротивляемости угля резанию используют при проектировании средств механизации горных работ, оптимизации режимов эксплуатации породоразрушающих органов, обосновании нормативов производительности различных конструкций инструментов и т.д.**

**Литература:** Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: Учебник для Вузов / Бондаренко В.И., Кузьменко А.М., Грядущий Ю.Б., Гайдук В.А., Колоколов О.В., Табаченко Н.М., Почепов В.Н. – Днепропетровск, 2003. – 708 с.

## **ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**

**До 18.01.16 г.**

- выучить классификацию подземных горных выработок;
- ознакомиться с факторами влияющими на выбор схемы вскрытия шахтного поля, способа подготовки и системы разработки.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**