

# Горнотехнологичес кие свойства

**Горнотехнологические параметры**  
**(свойства)** — комплексные показатели  
пород, установленные эмпирическим  
путем и характеризующие поведение  
пород при воздействии на них конкретным  
**инструментом, механизмом или**

- **БУРИМОСТЬ**

- **ТВЕРДОСТЬ,**

- **ВЯЗКОСТЬ,**

- **ДРОБИМОСТЬ**

- **АБРАЗИВНОСТЬ ПОРОД**

# Буримость

– степень сопротивляемости пород разрушению буровым инструментом.

- при оценке процесса бурения можно провести **контрольные бурения** различных пород и определить **скорость бурения** в стандартных исходных условиях.
- Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем для оценки производительности буровой установки при бурении соответствующих пород.
- Измеренная **стандартная скорость бурения** является технологическим параметром **буримости** горных пород.
-

## Классификация горных пород по буримости для вращательного бурения

Категория пород по буримости	Породы	Скорость бурения, м/ч
<b>I</b>	<b>Торф, песок без гальки</b>	<b>23—30</b>
II	Глина средней плотности	11—15
III	Плотная глина	5,7—10
IV	Слабые песчаники,	3,5—5,0
V	Аргиллиты	2,5—3,5
<b>VI</b>	<b>Полевошпатовые песчаники</b>	<b>1,5—2,5</b>
VII	Окварцованные известняки	1,9—2,0
VIII	Песчаники кварцевые	1,3—1,9
IX	Крупнозернистые граниты	0,7—1,2
X	Гранодиориты	0,5—0,7
XI	Кварциты,	0,3—0,5
<b>XII</b>	<b>Роговики</b>	<b>0,15—0,25</b>

Классификация горных пород по буримости  
для вращательного механического бурения

Категория по- род по буримо- сти	Наиболее характерные породы	Пример- ная твер- дость по Л. А. Шрей- неру, Н/мм <sup>2</sup>	Пример- ный коэф- фициент крепости по М. М. Протодья- конову $f$	Примерная скорость бурения $v$ , м/ч	Объеди- ненный показа- тель $\rho_m$
I	Торф, лёсс, слабый мел, пе- сок и супеси без гальки и щебня	<100	0,3—1	23,0—30,0	—
II	Торф, растительный слой. Песок плотный, глина средней плотности. Су- глинок плотный, мер- гель, мел, пльвун безна- порный	100—250	1—2	11,0—15,0	—
III	Слабо сцементированные песчаники. Мергель, из- вестняк-ракушечник Плотная глина. Песча- но-глинистые грунты с содержанием свыше 20% мелкой гальки. Пльвун напорный	250—500	2—4	5,70—10,0	2,0—3,0
IV	Сланцы глинистые, песча- но-глинистые, углистые, серицитовые. Слабые пес- чаники. Плотные мерге- ли. Неплотные известня- ки и доломиты. Выветре- лые дуниты, перидотиты змеевики	500—1000	4—6	3,50—5,0	3,0—4,5
V	Галечно-щебнистые груп- пы. Сланцы хлоритовые, тальково-хлоритовые, серицитовые, слюдяные. Филлиты. Аргиллиты. Известняки, мраморы, мергелистые доломиты. Дуниты, затронутые вы- ветриванием	1000— 1500	6—7	2,5—3,5	4,5—6,8
VI	Сланцы глинистые, квар- цево-хлоритовые, квар- цево-серицитовые. Поле- вошпатовые песчаники. Конгломераты осадоч- ных пород на известня- ковом цементе, апатиты	1500— 2000	7—8	1,50—2,5	6,8—10

# Твёрдость

- – сопротивление породы внедрению в неё инструмента, измеряется по шкале Мооса (10 категорий)
- характеризует поведение пород в случае сложно напряженного состояния

Эталонный минерал	Твердость	Обрабатываемость	Другие минералы с аналогичной твердостью
Тальк	1	Царапается ногтем	Графит
Гипс	2	Царапается ногтем	Хлорит, галит
Кальцит	3	Царапается медной монетой	Биотит, золото, серебро
Флюорит	4	Царапается ножом, оконным стеклом	Доломит, сфалерит
Апатит	5		Гематит, лазурит
Ортоклаз	6	Царапается напильником	Опал, рутил
Кварц	7	Поддаются обработке алмазом, царапают стекло	Гранат, турмалин
Топаз	8		Берилл, шпинель
Корунд	9		-
Алмаз	10	Режет стекло	-



- Так как породы состоят из многих минералов и их твердость является агрегатной, для ее определения используют методы, основанные на вдавливании особых штампов в породу.
- В зависимости от того, вдавливается ли инструмент в породу при постепенно увеличивающейся нагрузке или ударе, различают **статическую**  $H_{ст}$  или **динамическую**  $H_d$  твердость, ( $H_{ст}$  не

**Статическая твердость** пластичных пород может определяться методами, применяемыми для испытания металлов —

- методом Бриннеля (вдавливание стального закаленного шарика в образец),
- методом Роквелла (вдавливание наконечника под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок) и т. д.
- За меру твердости в различных методах принимаются разные показатели.
- Так же методы Бриннеля твердости характеризуются

- Для большинства горных пород применяется метод определения твердости, основанный на **хрупком выколе лунки** в шлифованной поверхности породы **под действием приложенной к специальному штампу нагрузки**. Метод разработан Л. А. Шрейнером.



Метод **контактной прочности**, разработанный Л. И. Бароном в Институте горного дела им. А. А. Скочинского, является более простым вариантом метода Л. А. Шрейнера.

- По этому методу производится вдавливание цилиндрического штампа с плоским основанием и диаметром 2—3 мм в нешлифованную поверхность образца.
- Контактная прочность (твердость) образца

- Статическая и контактная прочности связаны между собой соотношением

$$H_{\text{ст}} = (2.5 \div 3.0)H_{\text{к}}$$

- **Динамическая твердость** может быть определена методом Шора:
- на поверхность породы с определенной высоты сбрасывается боёк со сферическим алмазным наконечником.
- За показатель твердости принимается высота отскока бойка.
- Твердость пород указывает на их сопротивляемость разрушению при воздействии бурового инструмента и поэтому определяет **производительность буровых установок.**

- **Твердость** породы всегда **выше** предела прочности при одноосном сжатии, так как она наиболее соответствует прочности породы при сложном всестороннем сжатии.
- Наиболее трудно разрушению поддаются породы, имеющие как высокий предел

# Вязкость

– сцепление, сопротивление породы силам, стремящимся разъединить её частицы.

- Показатель вязкости горных пород пропорционален сопротивлению породы силам, стремящимся разъединить ее частицы.
- Он определяется пластическими свойствами породы, отношением пределов прочности при растяжении и сжатии, и значением предела прочности породы при сдвиге.



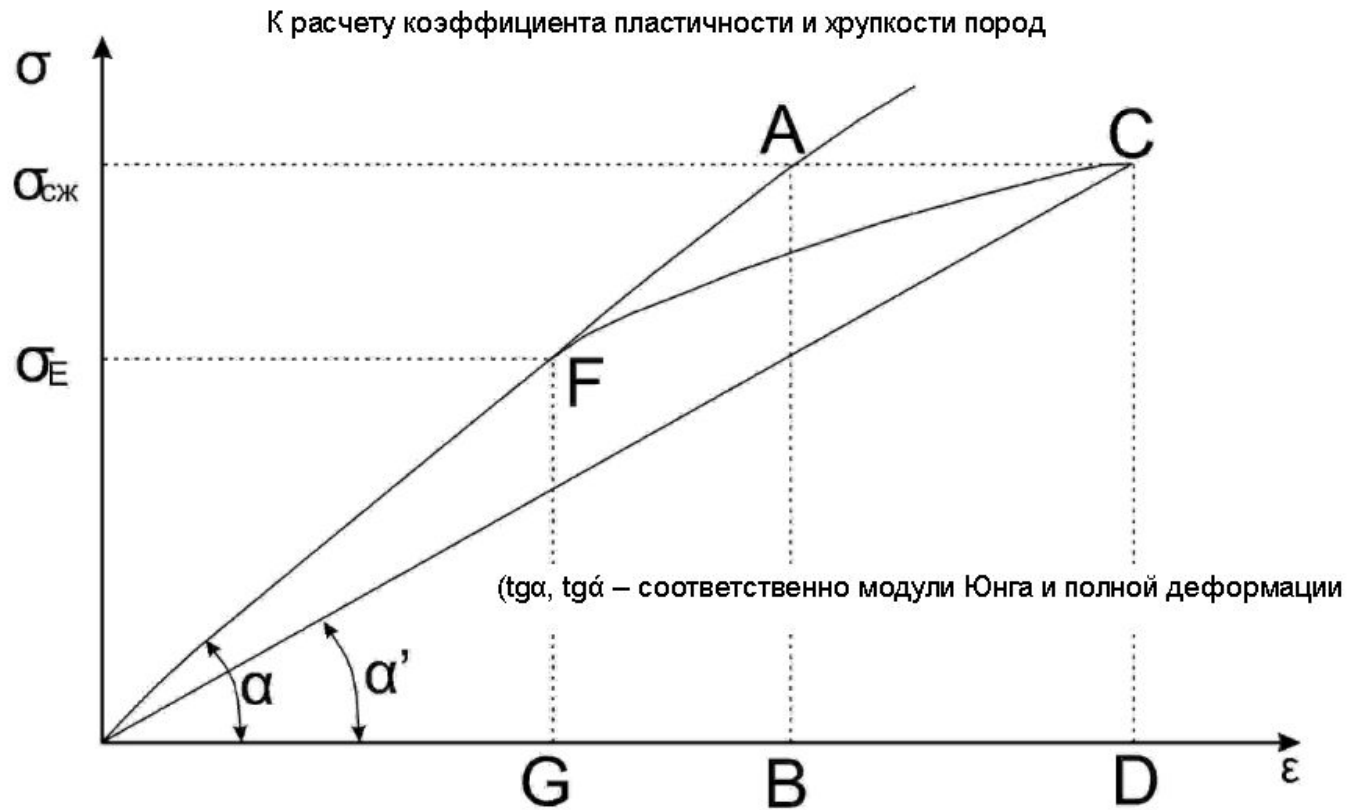
- Общепризнанного метода определения вязкости не существует.
- В ряде случаев показатель вязкости оценивают отношением сопротивления, которое оказывает порода при отделении некоторой ее части от массива, к такому же сопротивлению известняка, принятого за эталон.

- Так как вязкость прямо пропорциональна произведению  $V = \frac{E}{E_{ст}} \cdot \frac{\sigma_{сж}}{K_{пл}} \cdot \sigma_{сж}$  пластичности породы на ее прочность, то эту величину можно принять в качестве физического аналога вязкости ( $V$ ) пород.

# Хрупкость и пластичность пород

- **Пластичность пород** увеличивает энергоемкость дробления и измельчения породы.
- Так как пластические свойства пород и обратные им – хрупкие существенно сказываются на процессах разрушения, в практике горного производства используют различные горно-технологические показатели **пластичности и хрупкости**.

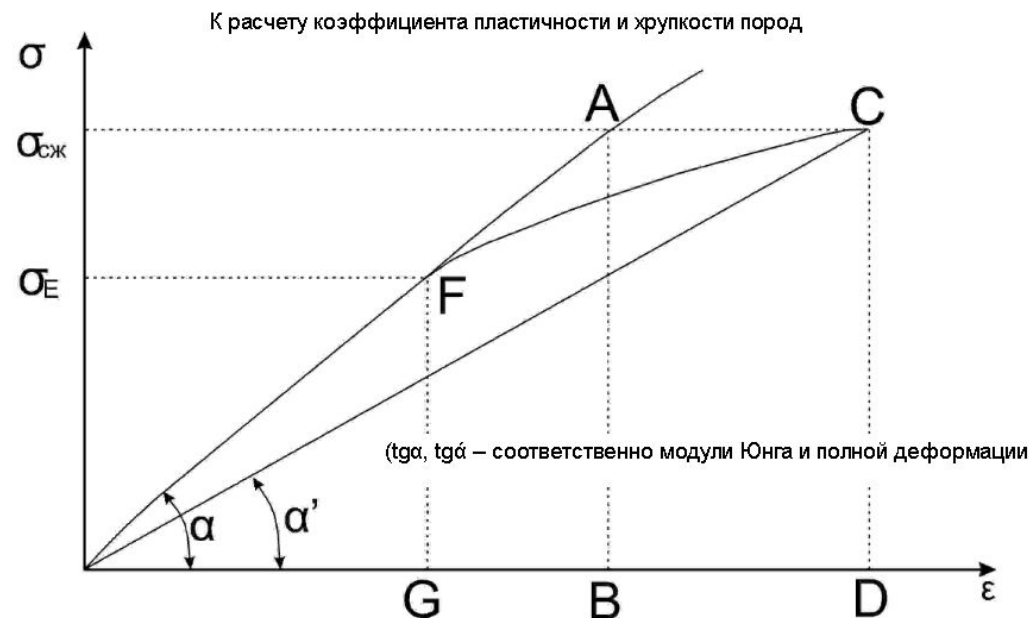
# Коэффициент пластичности



$$\mu_{\text{пл}} = \frac{\text{площ. } \Delta OCD}{\text{площ. } \Delta OAB} = 2 \frac{E}{E_{\text{диф}}} - 1$$

- Технологический показатель пластичности - параметр, определяющий, во сколько раз удельная работа разрушения образца реальной породы  $A_p$  при одноосном сжатии выше удельной работы разрушения идеально упругой породы  $A_y$  с тем же пределом прочности при сжатии.
- Удельную работу разрушения определяют по площади диаграммы напряжение-деформация

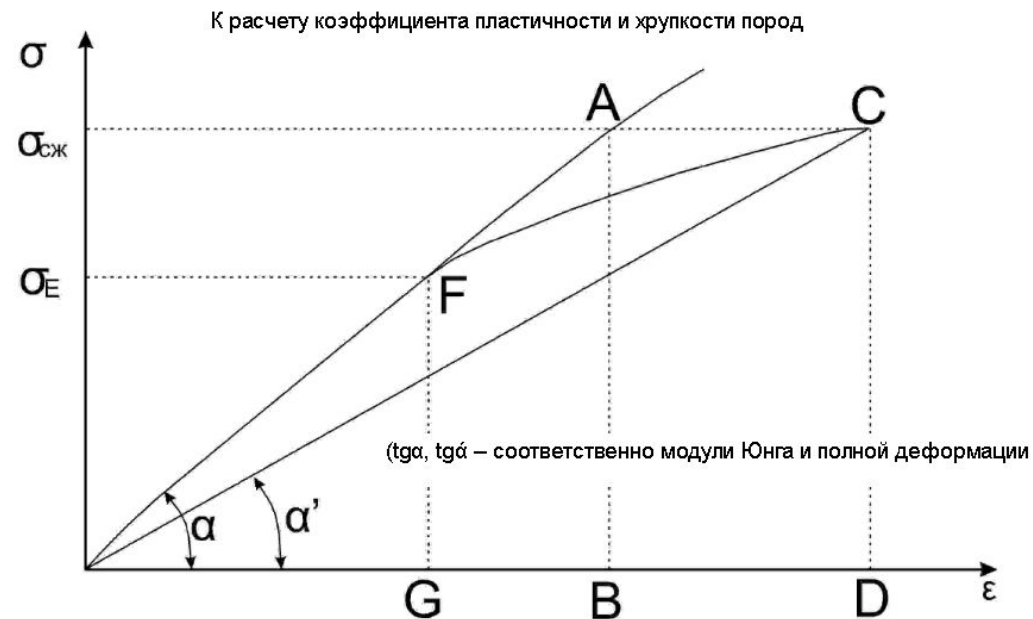
$$k_{пл} = \frac{\text{площ. } \Delta OCD}{\text{площ. } \Delta OAB} = 2 \frac{E}{E_{диф}} - 1$$



- **Хрупкость** пород – это способность пород без заметных упругих и пластических деформаций долго сопротивляться внешнему давлению, а затем мгновенно разрушаться.

$$k_{хр} = \frac{A_y}{A_n} = \frac{\text{площ } \Delta OFG}{\text{площ } \Delta OCD} \leq 1$$

- Для оценки хрупких свойств пород введен коэффициент хрупкости  $k_{хр}$ , представляющий собой отношение работы  $A_y$ , затраченной на деформирование образца в чисто упругой области, к полной работе  $A_n$ , затраченной на разрушение образца



# коэффициент хрупкости можно рассчитать

$$K_{\text{хр}} = \frac{\sigma_{\text{сж}}}{\sigma_p}$$

- по отношению пределов прочности породы при сжатии и растяжении

- или по отношению предела упругости  $\sigma_E$  и предела прочности при сжатии  $\sigma_{\text{сж}}$

$$K_{\text{хр}} = \frac{\sigma_E}{\sigma_p}$$

- Идеально пластичные и хрупкие породы имеют соответственно  $k_{xp} = 0$  и  $k_{xp} = 1,0$ .
- У реальных пород  $k_{xp} = 0,05 - 0,6$  (например у мрамора 0,067; роговика 0,19; джеспилита 0,5).
- Как правило, более высокие значения коэффициента хрупкости имеют породы с большими значениями сжимающих напряжений и модулями Юнга.
- Знание коэффициента хрупкости горных пород позволяет объективно оценивать предрасположенность горных пород к хрупкому разрушению в процессах горного производства позволяет (бурение, дробление, взрывание, управление горным давлением, прогнозирование горных ударов и выбросов)

# Абразивность

- – способность породы изнашивать при трении буровой инструмент, конвейерную ленту и пр.

Абразивность оценивают по износу материала, контактирующего с горной породой.

- К испытываемому образцу породы прижимают вращающееся кольцо из материала, по отношению к которому определяется абразивность породы.
- Кольцо взвешивают до начала опыта и после определенного



$$K_{аб} = \frac{\Delta V_c}{F}$$

- $\Delta V_c$  • Износ на единицу пути
- F - Сила, под действие которой кольцо прижимается к породе

- В ИГД им. А. Л. Скочинского разработана упрощенная методика определения относительной абразивности горных пород. Сущность ее заключается в истирании о поверхность образца горной породы торца вращающегося стержня из незакаленной стали и последующих определений массового износа стержня.
- За критерий абразивности принимают суммарную потерю массы стержня (в мг) за стандартное время опыта **10** мин. При этом истирание стержня производится при осевой нагрузке **150** Н и частоте вращения **400** об/мин.

Дополнительно обуславливают абразивность пород -

- прочность на сжатие минеральных зерен  $\sigma_{сж.м.}$
- и их коэффициент хрупкости  $K'_{хр}$

$$K'_{аб} = K'_{хр} \cdot \sigma_{сж.м.} = \frac{E_{деф}}{E} \cdot \sigma_{сж.м.}$$

Наиболее абразивные - порфириты,  
диориты, граниты, корундосодержащие  
породы

# Взрываемость

- – степень сопротивляемости пород разрушению взрывом, породы разделены на 16 категорий (по Союзвзрывпрому).
- комплексная характеристика, которая изменяется в широких пределах и зависит от крепости, хрупкости, пластичности, трещиноватости, слоистости, степени выветривания и других свойств.
- Однако попытки напрямую связать взрываемость, например с буримостью, часто приводят к ошибкам, так как во многих случаях легкобуримые и труднобуримые породы по отношению к взрывному разрушению оказываются равнозначными.

- **Взрываемость** горных пород оценивается по показателю **трудности разрушения** горных пород  $\Pi_p$ . Для расчета трудности разрушения горных пород необходимо знание плотностных и прочностных характеристик горных пород
- $\Pi_p = 0,05 * [k_T * (\sigma_{сж} + \tau_{сдв} + \sigma_{раст}) + \gamma * g]$ ,
- где  $k_T$  – коэффициент трещиноватости;
- $\sigma_{сж}$  – предел прочности горной породы при одноосном сжатии, МПа;
- $\tau_{сдв}$  – предел прочности при сдвиге;
- $\sigma_{раст}$  – предел прочности при растяжении, МПа;
- $\gamma$  – плотность породы.

- Характеристикой **взрываемости** является «**удельный расход ВВ**»- заряд эталонного ВВ, необходимый для разрушения 1 куб.м породы до кусков определенной крупности при стандартных условиях взрывания.
- Удельный эталонный расход ВВ [ $q_{\text{э}}$ , г/м<sup>3</sup>] рассчитываем по прочностным и плотностным свойствам горных пород

$$q_{\text{э}} = 0.2 [(\sigma_{\text{сж}} + \tau_{\text{сдв}} + \sigma_{\text{рт}}) + \gamma^* g], \text{ г/м}^3$$

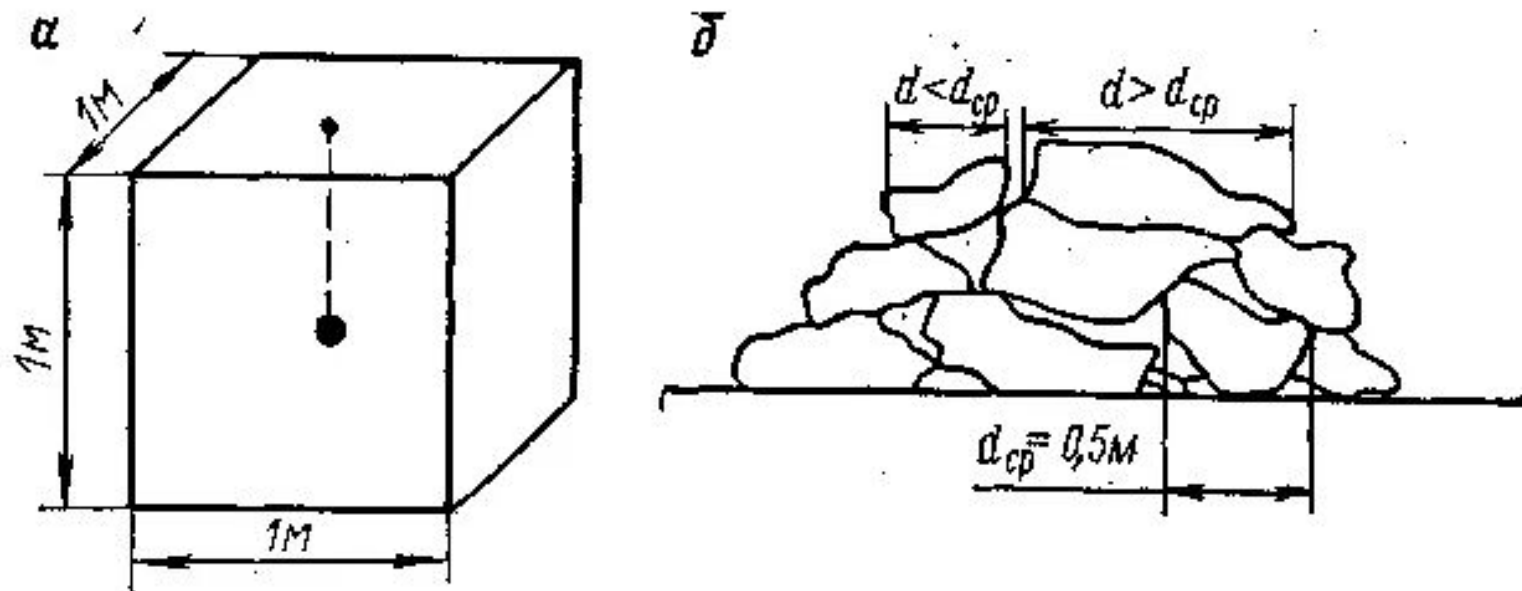


Рис. 5.1. Схемы эталонного породного куба соответственно до взрыва (а) и после него (б)



- Взрываемость может быть определена также расходом эталонного ВВ на образование воронки нормального выброса зарядом определенной формы.
- Условия проведения испытаний: заряд помещают в шпур диаметром 40 мм, пробуренный под углом  $45^\circ$  к горизонтальной свободной поверхности при глубине заложения 1 м

# Классификация пород по трудности взрывания

Класс	Характеристика пород	Удельный расход ВВ q, кг/куб.м
I	Легковзрываемые	<0,2
II	Средневзрываемые	0,2-0,4
III	Трудновзрываемые	0,4-0,6
IV	Весьма трудновзрываемые	0,6-0,8
V	Исключительно трудновзрываемые	0,8-1,0

**Дробимость** является обобщающим параметром многих механических свойств пород, в том числе упругих, прочностных и пластических.

Дробимость выражает энергоемкость процесса дробления породы приложением к ней динамической нагрузки и, как показывают

- Методы определения дробимости пород обычно основываются на оценке удельного расхода энергии на дробление определенного объема породы.

- Определяется одиночным сбрасыванием на образец груза массой 16 кг с высоты 0,5 м. Дробимость устанавливается по объему образованных в результате удара частиц диаметром менее 7 мм.)

**Дробимость**  $D$  пород является параметром, **обратным вязкости**, поэтому для его приближенной оценки можно использовать параметры, применяемые при расчете вязкости.

$$D = \frac{1}{B} = \frac{\sigma_{сж} \cdot E_{деф}}{E} = \frac{K_{хр}}{\sigma_{сж}}$$

**Горнотехнологические параметры пород  
подразделяются на несколько групп по принципу  
принадлежности к определенным процессам  
технологического воздействия.**

- Параметры, характеризующие общую разрушаемость пород механическим способом, например твердость, крепость, вязкость и дробимость.
- Параметры, характеризующие разрушаемость пород определенными механизмами: буримость, сопротивляемость резанию, зарубаемость, взрываемость, удельные усилия

- Параметры, устанавливающие производительность или эффективность иных процессов воздействия на горные породы (кроме разрушения), например обогатимость, флотуемость, экскавируемость, устойчивость в отвалах и т. д.
- Параметры, определяющие особое поведение пород при разработке месторождений полезных ископаемых, — выбросоопасность, метаноносность, самовозгораемость и др.
- Параметры, оценивающие эффективность воздействия на горные породы различными немеханическими методами с целью их разрушения, упрочнения, плавления и т. д., например термобурируемость, критерий эффективности нагрева токами высокой частоты, электропроводность, теплоемкость, теплопроводность и др.



# **Горнотехнологические параметры рыхлых и связных пород**

**Параметры строения рыхлых пород.** К параметрам строения относят гранулометрический состав пород, дисперсность, удельную поверхность.

**Гранулометрический состав** рыхлой породы характеризует строение по процентному содержанию в ней частиц различной крупности.

Гранулометрический состав пород играет особую роль в процессах гидромеханизации: при определении удельного расхода воды на разработку и транспортирование, наименьшего допустимого уклона подошвы забоя и лотков, критической

Дисперсность — мера раздробленности рыхлых пород, равная величине, обратной среднему размеру частиц грунта. Часто вместо дисперсности используют понятие удельной поверхности, т. е. площади поверхности частиц грунта на границе раздела фаз, приходящейся на единицу объема дисперсной фазы.

С уменьшением размеров частиц происходит увеличение как дисперсности, так и удельной поверхности.

Удельная поверхность рыхлых и связных пород позволяет оценивать их прочностные, фильтрационные свойства и степень

**Насыпная масса** — это масса единицы объема рыхлой горной породы в ее насыпном состоянии. Насыпная масса зависит от коэффициента разрыхления породы, равного отношению объема разрыхленной породы  $V_p$  к ее объему в целике  $V_c$ .

**Коэффициент разрыхления** практически всегда больше единицы, поскольку объем разрыхленной породы больше величины  $V_c$  за счет дополнительного объема трещин и пустот.

Коэффициент разрыхления, в свою очередь, зависит от гранулометрического состава разрыхленной породы, формы и взаимного расположения ее кусков. Он в первую очередь обусловлен характером и качеством дробления породы.

Параметры взаимодействия воды и породы. В дисперсных и глинистых породах вода воздействует на минеральную фазу, в связи с чем возникает

- ***Угол естественного откоса***  $\psi$ - угол, сформированный свободной поверхностью насыпного груза с горизонтальной плоскостью, град.

Угол естественного откоса  $\phi_0$  — это угол, образованный свободной поверхностью рыхлой горной массы с горизонтальной плоскостью. Частицы породы, находящиеся на этой поверхности, испытывают состояние критического (предельного) равновесия. Угол естественного откоса связан с коэффициентом трения и зависит от шероховатости частиц породы, степени ее увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от плотности.

С увеличением влажности горной породы до некоторого предела (для угля, например, до 14%) угол естественного откоса

Набухание происходит в результате проникновения воды между пакетами кристаллических решеток ряда минералов. Коэффициент набухания глин колеблется от 2 до 1,5, супесей — от 1,5 до 1,05, у песков он равен 1.

Набухание горных пород отрицательно влияет на горные выработки: в сочетании с горным давлением оно вызывает явление пучения и приводит к деформации выработок, разрушению крепи, сдвигению железнодорожных путей и т. д.

Процесс набухания — обратимый. Под влиянием испарения

**Липкость** — способность грунтов при определенном содержании влаги прилипать к поверхности инструмента и оборудования.

Заключается в том, что при определенной влажности толщина пленок воды, обволакивающих частицы грунта, становится такой, что они с одинаковой силой взаимодействуют как с минеральными частицами, так и с поверхностью соприкасающихся с ними предметов. Увеличение толщины пленки при дальнейшем насыщении породы водой приводит к резкому уменьшению липкости. Липкость оценивается