## ТЕМА 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

## Лекция 1. ПЛОТНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД

1. Плотностные свойства скальных и связных пород

Основные параметры плотностных свойств скальных и связных горных пород следующие:

```
удельная масса (плотность твердой фазы), \rho_{o}, кг/м<sup>3</sup>; удельный вес, \gamma_{o}, Н/м<sup>3</sup>; объемная масса (плотность), \rho, кг/м<sup>3</sup>; объемный вес, \gamma, Н/м<sup>3</sup>; пористость (общая), P, % или ед.; коэффициент пористости, K_{n}, ед.
```

Важнейшими признаками строения пород, влияющего на величину параметров их плотностных свойств, являются их структура, текстура, пористость и трещиноватость.

- Структура степень кристаллизации (полнокристаллические, неполнокристаллические, стекловатые, порфировые, обломочные), размеры, форма минеральных частиц и характер связей между ними.
- *Текстура* (сложение) взаимное расположение структурно однотипных частей породы в занимаемом ими пространстве (массивная, пористая, слоистая).
- Пористость совокупность всех пустот в горных породах, заключенных между минеральными частицами или их агрегатами.

Поры классифицируют:

по происхождению (первичные, вторичные);

по форме (межзеренные, пузырчатые, каналовидные, щелевидные, ветвистые и т.д.);

по размерам (субкапилярные < 0,2 мкм, капиллярные 0,2 – 100 мкм, сверхкапиллярные > 100 мкм);

по контакту с окружающей средой (открытые и закрытые).

Общая пористость – объем пор в единице объема породы

$$P = \frac{V_{\Pi}}{V} \cdot 100 \%$$
 или  $P = \frac{V_{\Pi}}{V}$ ,

где  $V_{\pi}$  – объем пор в данной массе породы; V – объем породы данной массы.

Коэффициент пористости — отношение объема пор к объему твердой фазы горной породы

$$\mathbf{K}_{\mathbf{\Pi}} = \frac{\mathbf{V}_{\mathbf{\Pi}}}{\mathbf{V}_{\mathbf{T}}}$$

Коэффициент пористости — отношение объема пор к объему твердой фазы горной породы

$$\mathbf{K}_{\mathbf{\Pi}} = \frac{\mathbf{V}_{\mathbf{\Pi}}}{\mathbf{V}_{\mathbf{T}}}$$

Эффективная пористость — отношение объема открытых пор к объему породы

$$P_{9\phi}$$
. =  $\frac{V_{o\pi}}{V} \cdot 100 \%$ 

Трещиноватость – совокупность трещин в горной породе.

Tрещина — плоский разрыв сплошности среды, величина которого на порядок и более превосходит межатомные расстояния в кристаллической решетке минералов ( $\sim 10^{-10}$  м).

По происхождению различают трещины:

- первичные (эндогенные), которые образовались в период формирования породы;
- вторичные (тектонические, экзогенные);
- трещины выветривания и трещины, вызванные горным давлением и ведением горных работ.

Пределы изменения параметров трещиноватости: протяженность трещин  $(10^{-9} - 10^5 \text{ м})$ ; раскрытие трещин  $(10^{-9} - 1 \text{ м})$ ; расстояние между трещинами  $(10^{-9} - 1 \text{ м})$ .

Удельная масса породы — масса единицы объема твердой фазы (минерального скелета) породы

$$\rho_0 = \frac{\mathbf{m_T}}{\mathbf{V_T}}$$

Удельный вес — вес единицы объема твердой фазы (минерального скелета) породы

$$\gamma_0 = \frac{\mathbf{G}_{\mathbf{T}}}{\mathbf{V}_{\mathbf{T}}}$$

Объемная масса — масса единицы объема породы в ее естественном состоянии.

В общем случае горная порода состоит из твердой, жидкой и газо-образной фазы, тогда объемная масса

$$\rho = \frac{\mathbf{m_T} + \mathbf{m_{\pi}} + \mathbf{m_{\Gamma}}}{\mathbf{V_T} + \mathbf{V_{\pi}} + \mathbf{V_{\Gamma}}}$$
 или просто  $\rho = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{V}}$ 

Объемный вес — вес единицы объема породы в ее естественном состоянии.

$$\gamma = \frac{\mathbf{G}_{\mathbf{T}} + \mathbf{G}_{\mathbf{ж}} + \mathbf{G}_{\Gamma}}{\mathbf{V}_{\mathbf{T}} + \mathbf{V}_{\mathbf{w}} + \mathbf{V}_{\Gamma}}$$
или просто  $\gamma = \frac{\mathbf{G}}{\mathbf{V}}$ 

Пределы изменения плотностных параметров скальных и связных пород следующие:

- $\rho_{o}$  зависит от плотности слагающих минералов и изменяется от 2000 до 5100 кг/м³;
- $\rho$  зависит от пористости и изменяется от 1000 до 4500 кг/м³ (для угольных месторождений, например, бурый уголь 1060 ÷ 1410 кг/м³; каменный уголь 1220 ÷ 1580 кг/м³; антрацит 1420 ÷ 1880 кг/м³; вмещающие породы 2400 ÷ 2890 кг/м³);
  - P зависит от строения и изменяется от 0,01 до 90 % (для углей P=6÷12%, для вмещающих пород P=4÷30%);  $\mathbf{K_n}$  от 0,0001 до 9.

Плотностные параметры взаимосвязаны между собой следующими зависимостями

$$\rho = \rho_0 \left( 1 - P \right); \qquad \rho = \frac{\rho_0}{1 + K_{\pi}};$$

$$P = \frac{K_{\pi}}{1 + K_{\pi}}; \qquad P = \frac{\rho_{o} - \rho}{\rho_{o}} \cdot 100\%.$$

## 2. Плотностные свойства рыхлых и разрыхленных горных пород

Основные *параметры плотностных свойств* рыхлых и разрыхленных горных пород следующие:

- насыпная масса,  $\rho_{\rm H}$ , кг/м<sup>3</sup>;
- насыпной вес,  $\gamma_{\rm H}$ ,  $H/{\rm M}^3$ ;
- коэффициент разрыхления,  $\mathbf{K}_{\mathbf{p}}$ , ед.;
- пустотность, М, ед. или %.

Структурной особенностью этого типа пород является беспорядочное расположение кусков и частиц породы и значительные просветы между точками опоры.

Основной структурной характеристикой рыхлых пород является гранулометрический состав — процентное весовое, массовое или объемное содержание в рыхлой породе различных по величине классов (фракций).

Выражается гранулометрический состав в виде таблицы, графика, числа или формулы.

1. В виде числа – чаще всего через *средневзвешенный диаметр кус-* ка

$$d_{cp} = \frac{\sum d_i m_i}{\sum m_i},$$

где  $d_i$  — средний диаметр класса;  $m_i$  — масса i-го класса.

- 2. В виде графика чаще всего через график кумулятивной крупности породы,  $\Pi_i$ =f(d<sub>i</sub>/D<sub>max</sub>). В данном случае  $\Pi_i$  процентное массовое содержание в данном объеме породы кусков с размерами от 0 до d<sub>i</sub>, а  $D_{max}$  максимальный размер кусков в данном объеме породы.
- 3. В виде формулы чаще всего формулы оптимального гранулометрического состава, обеспечивающего минимальную пустотность данной массы породы, например, формула Фуллера

$$\Pi_i = 100 \left( \frac{d_i}{D_{max}} \right)^n \%,$$

где  $n = 0.4 \div 0.5$  для шаровидных зерен и n = 0.3 для острогранных).

Насыпная масса – масса единицы объема разрушенной горной породы в ее естественном (насыпном) состоянии

$$\rho_{\mathbf{H}} = \frac{m_p}{V_p}$$

Насыпной вес – вес единицы объема разрушенной горной породы в ее естественном (насыпном) состоянии

$$\gamma_{H} = \frac{G_{p}}{V_{p}}$$

Коэффициент разрыхления — отношение объема разрушенной породы к ее объему в массиве.

$$\mathbf{K_p} = \frac{\mathbf{V_p}}{\mathbf{V}}$$

Коэффициент разрыхления — отношение объема разрушенной породы к ее объему в массиве.

$$K_p = \frac{V_p}{V}$$

Пустотность – отношение объема пустот к объему разрыхленной породы

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{V}_{\mathbf{nycr}}}{\mathbf{V}_{\mathbf{p}}}$$
 или  $\mathbf{M} = \frac{\mathbf{V}_{\mathbf{nycr}}}{\mathbf{V}_{\mathbf{p}}} \cdot 100 \%$ 

Плотностные параметры рыхлых и разрыхленных пород взаимосвязаны между собой и с параметрами скальных и связных пород следующими зависимостями

$$K_p = \frac{\rho}{\rho_H}$$
;  $M = 1 - \frac{\rho_H}{\rho} \cdot 100 \%$ .

Пределы изменения плотностных параметров рыхлых и разрыхленных пород следующие:

-  $\rho_{\rm H}$  зависит от гранулометрического состава, влажности и условий образования и состояния разрыхленной породы и изменяется от 1500 до  $4000~{\rm kr/m^3}$ .

Влажность, например, в пределах от 0 до  $8\div11\%$  играет роль своеобразного «клея» в разрыхленной породе, не позволяя ей компактно заполнить данный объем и, тем самым, уменьшая  $\rho_{\rm H}$ .

Дальнейшее увлажнение породы наоборот уменьшает силы молекулярного сцепления между частицами породы и в конечном итоге увеличивает  $\rho_{\rm H}$ . Вибрация вызывает эффект уплотнения, а значит и увеличения  $\rho_{\rm H}$ , что мы и наблюдаем в шахтах когда вагонетки, полностью наполненные в месте погрузки, выезжают на поверхность с меньшим объемом породы. В зависимости от параметров вибрации объем разрыхленной породы может уменьшиться на величину от 5 до 35%;

- **К**<sub>**P**</sub> зависит от тех же факторов и может иметь значения от 1,05 до 2,5. Например, бутовая полоса, возведенная вручную, имеет коэффициент разрыхления породы 1,5, а коэффициент разрыхления породы в выработанном пространстве лавы 1,7.
- М зависит от величины коэффициента разрыхления и может иметь значения от 4 до 60%.

Плотностные параметры рыхлых и разрыхленных горных пород определяют следующими методами.

Для определения насыпной массы используют гостированные мерные сосуды (см. таблицу), в которые засыпают породу, убирают излишек и затем взвешивают. Зная объем и массу породы, вычисляют насыпную массу.

Мерные сосуды для определения насыпной массы рыхлых и разрыхленных горных пород

Максимальный размер кусков породы, D <sub>max</sub> , мм	Объем сосуда, л	Форма сосуда	Размеры сосуда, мм
< 10	10	циллиндрическая, $d = h$	234
< 20	20	то же	294
< 40	50	то же	400
≥ 40	100	кубическая	465

Гранулометрический состав определяют по разному в зависимости от крупности кусков:

- для частиц крупностью > 0,1 мм используют ситовый анализ с использованием сит с разными размерами ячеек;
- для более мелких частиц седиментационный анализ, смысл которого заключается в измерении толщины слоя осадка в пульпе из воды и породы за данное время.

На рудниках и карьерах часто применяют фотопланиметрический метод, когда разрыхленная порода в насыпном состоянии или в вагонет-ках фотографируется, на фотографию наносят масштабную сетку и подсчитывают процентное содержание кусков различной крупности.

Знания о плотностных свойствах горных пород широко используются в горном деле:

- разведка месторождений полезных ископаемых;
- расчеты параметров транспортных установок;
- расчеты горного давления;
- определение технологических свойств горных пород;
- расчеты акустических параметров горных пород; расчеты процессов обогащения;
- и т.д.