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), ρ_o, кг/м^3;

удельный вес, γ_o, Н/м^3;

объемная масса (плотность), ρ, кг/м^3;

объемный вес, γ, Н/м^3;

пористость (общая), P, % или ед.;

коэффициент пористости, $K_п$, 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

$$\mathbf{P = \frac{V_п}{V} \cdot 100\ \%} \text{ или } \mathbf{P = \frac{V_п}{V}},$$

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

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

$$\mathbf{K_п = \frac{V_п}{V_т}}$$

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

$$K_{п} = \frac{V_{п}}{V_{т}}$$

Эффективная пористость – отношение объема открытых пор к объему породы

$$P_{эф.} = \frac{V_{оп}}{V} \cdot 100\ \%$$

Трещиноватость – совокупность трещин в горной породе.

Трещина – плоский разрыв сплошности среды, величина которого на порядок и более превосходит межатомные расстояния в кристаллической решетке минералов (~ 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} м); раскрытие трещин (10^{-9} – 1 м); расстояние между трещинами (10^{-9} – 1 м).

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

$$\rho_0 = \frac{m_т}{V_т}$$

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

$$\gamma_0 = \frac{G_т}{V_т}$$

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

В общем случае горная порода состоит из твердой, жидкой и газообразной фазы, тогда объемная масса

$$\rho = \frac{\mathbf{m_т + m_ж + m_г}}{\mathbf{V_т + V_ж + V_г}} \text{ или просто } \rho = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{V}}$$

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

$$\gamma = \frac{\mathbf{G_т + G_ж + G_г}}{\mathbf{V_т + V_ж + V_Г}} \text{ или просто } \gamma = \frac{\mathbf{G}}{\mathbf{V}}$$

Пределы изменения плотностных параметров скальных и связных пород следующие:

– ρ_o зависит от плотности слагающих минералов и изменяется от 2000 до 5100 кг/м^3;

– ρ зависит от пористости и изменяется от 1000 до 4500 кг/м^3 (для угольных месторождений, например, бурый уголь – 1060 ÷ 1410 кг/м^3; каменный уголь – 1220 ÷ 1580 кг/м^3; антрацит – 1420 ÷ 1880 кг/м^3; вмещающие породы – 2400 ÷ 2890 кг/м^3);

– **P** зависит от строения и изменяется от 0,01 до 90 % (для углей – P=6÷12%, для вмещающих пород – P=4÷30%); $K_п$ от 0,0001 до 9.

Плотностные параметры взаимосвязаны между собой следующими зависимостями

$$\rho = \rho_o (1 - P); \qquad \rho = \frac{\rho_o}{1 + K_п};$$

$$P = \frac{K_п}{1 + K_п}; \qquad P = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} \cdot 100\%.$$

2. Плотностные свойства рыхлых и разрыхленных горных пород

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

- насыпная масса, $\rho_н$, кг/м^3;
- насыпной вес, $\gamma_н$, Н/м^3;
- коэффициент разрыхления, $K_р$, 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 куска*

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

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

2. В виде графика – чаще всего через *график кумулятивной крупности* породы, $П_i=f(d_i/D_{max})$. В данном случае $П_i$ – процентное массовое содержание в данном объеме породы кусков с размерами от 0 до d_i, 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

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

где n = 0,4 ÷ 0,5 для шаровидных зерен и n = 0,3 для острогранных).

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

$$\rho_н = \frac{m_р}{V_р}$$

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

$$\gamma_н = \frac{G_р}{V_р}$$

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

$$K_р = \frac{V_р}{V}$$

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

$$K_р = \frac{V_р}{V}$$

Пустотность – отношение объема пустот к объему разрыхленной породы

$$M = \frac{V_{пуст}}{V_р} \text{ или } M = \frac{V_{пуст}}{V_р} \cdot 100 \ \%$$

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

$$K_р = \frac{\rho}{\rho_н}; \qquad M = 1 - \frac{\rho_н}{\rho} \cdot 100 \ \%.$$

Пределы изменения плотностных параметров рыхлых и разрыхленных пород следующие:

– $\rho_н$ зависит от гранулометрического состава, влажности и условий образования и состояния разрыхленной породы и изменяется от 1500 до 4000 кг/м^3.

Влажность, например, в пределах от 0 до 8÷11% играет роль своеобразного «клея» в разрыхленной породе, не позволяя ей компактно заполнить данный объем и, тем самым, уменьшая $\rho_н$.

Дальнейшее увлажнение породы наоборот уменьшает силы молекулярного сцепления между частицами породы и в конечном итоге увеличивает $\rho_н$. Вибрация вызывает эффект уплотнения, а значит и увеличения $\rho_н$, 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%;

– $K_Р$ 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_{max}, 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 вагонетках 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.