

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_0 , кг/м³;

удельный вес, γ_0 , Н/м³;

объемная масса (плотность), ρ , кг/м³;

объемный вес, γ , Н/м³;

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, порфиоровые, 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, пузырьчатые, каналовидные, щелевидные, ветвистые и т.д.);

по размерам (субкапиллярные $< 0,2$ 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

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

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

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

$$K_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{т}}}$$

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

$$K_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{т}}}$$

Эффективная пористость – отношение объема открытых пор к объему породы

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

Трещиноватость – совокупность трещин в горной породе.

Трещина – плоский разрыв сплошности среды, величина которого на порядок и более превосходит межатомные расстояния в кристаллической решетке минералов ($\sim 10^{-10}$ 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 ($10^{-9} - 10^5$ 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

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

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

$$\gamma_0 = \frac{G_T}{V_T}$$

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

$$\rho = \frac{m_{\text{т}} + m_{\text{ж}} + m_{\text{г}}}{V_{\text{т}} + V_{\text{ж}} + V_{\text{г}}} \text{ или просто } \rho = \frac{m}{V}$$

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

$$\gamma = \frac{G_{\text{т}} + G_{\text{ж}} + G_{\text{г}}}{V_{\text{т}} + V_{\text{ж}} + V_{\text{г}}} \text{ или просто } \gamma = \frac{G}{V}$$

Пределы изменения плотностных параметров скальных и связных пород следующие:

- ρ_0 зависит от плотности слагающих минералов и изменяется от 2000 до 5100 кг/м³;
- ρ 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 – $P=6\div 12\%$, для вмещающих пород – $P=4\div 30\%$); K_{Π} от 0,0001 до 9.

Плотностные параметры взаимосвязаны между собой следующими зависимостями

$$\rho = \rho_0 (1 - P) ; \quad \rho = \frac{\rho_0}{1 + K_{II}} ;$$

$$P = \frac{K_{II}}{1 + K_{II}} ; \quad P = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \cdot 100\% .$$

2. Плотностные свойства рыхлых и разрыхленных горных пород

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

- насыпная масса, $\rho_{\text{н}}$, кг/м³;
- насыпной вес, $\gamma_{\text{н}}$, Н/м³;
- коэффициент разрыхления, $K_{\text{р}}$, ед.;
- пустотность, M , 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*

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

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

2. В виде графика – чаще всего через *график кумулятивной крупности* породы, $\Pi_i = f(d_i/D_{\text{max}})$. В данном случае Π_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

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

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

$$\rho_{\text{н}} = \frac{m_{\text{п}}}{V_{\text{п}}}$$

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

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{G_{\text{п}}}{V_{\text{п}}}$$

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

$$K_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V}$$

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

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

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

$$K_p = \frac{\rho}{\rho_n} ; \quad M = 1 - \frac{\rho_n}{\rho} \cdot 100 \%$$

Пределы изменения плотностных параметров рыхлых и разрыхленных пород следующие:

– ρ_n зависит от гранулометрического состава, влажности и условий образования и состояния разрыхленной породы и изменяется от 1500 до 4000 кг/м³.

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 ρ_n .

Дальнейшее увлажнение породы наоборот уменьшает силы молекулярного сцепления между частицами породы и в конечном итоге увеличивает ρ_n . Вибрация вызывает эффект уплотнения, а значит и увеличения ρ_n , 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_p 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.

– M 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 | цилиндрическая, $d = h$ | 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.