

Основы горного дела

Основы разрушения горных пород

ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

1. Способы и приемы разрушения горных пород

Способы разрушения горной породы:

1. Ручной
2. Механический
3. Взрывной
4. Специальный (гидравлический, термический, морозный, электрофизический и пр.)
5. Комбинированный

Приемы разрушения горных пород.

Отбойка – отделение куска горной породы от массива.

Разделение негабаритов – разделение кусков имеющих неудобный размер для транспортировки.

Дробление – уменьшение размеров кусков горной массы раскалыванием или раздавливанием.

Измельчение – уменьшение размеров кусков горной массы раскалыванием, раздавливанием и истиранием на более мелкие кусочки, чем при дроблении.

Разборка – раскоп, разработка и выемка горной породы из массива.

2. Основные свойства горных пород

Горные породы подразделяются на твердые, пластичные, сыпучие и плавучие. Твердые горные породы состоят из минеральных частиц, связанных между собой силами молекулярного сцепления и трения. Механическая характеристика горных пород выражается формулой

$$\tau = C + \varphi N ,$$

где τ — касательные напряжения на площадке сдвига; C — сила сцепления между отдельными частицами; φ — коэффициент трения ($\varphi = \operatorname{tg} \rho$); ρ — угол внутреннего трения; N — нормальная сила.

Плотность (ρ) - физическая величина, определяемая для однородного вещества его массой в единице объёма:

$$\rho = m/V,$$

где m – масса, V – объем.

Единицей плотности в СИ является кг/м^3 , в СГС системе единиц г/см^3 ; для горных пород – кг/м^3 .

Наиболее часто встречаемая плотность 1200-4700 кг/м^3 .
Более высокие значения (до 5000 кг/м^3) характерны для магматических пород

Объемная масса (ρ_0) (объемный вес) — это масса единицы объема высушенного камня с порами в природном состоянии. Выражается объемная масса в граммах на кубический сантиметр (г/см^3) или в тоннах на кубометр (т/м^3) и вычисляется по формуле:

$$\rho_0 = m / V.$$

Объемная масса горных пород изменяется от 1,3 до 4,5 т/м^3 .

Объемная масса гранита примерно равна 2,6 г/см^3 , а плотность его 2,7 г/см^3 ; объемная масса туфа 0,75—1,4 г/см^3 , а его плотность — 2,7—2,8 т/см^3 .

Удельный вес горной породы (γ) — вес единицы объема твердых частиц (минерального скелета) или - отношение веса тела к занимаемому им объему:

$$\gamma = P/V,$$

где P – вес.

Удельный вес горных пород равен отношению массы твердой фазы к ее объему. Удельный вес минералов — отношение их веса к объему. Единица измерения в СГС — дин/см³, в СИ — Н/м³.

Удельный вес горной породы зависит от удельного веса породообразующих, акцессорных и рудных минералов и их процентного содержания. Он изменяется от 2,0 до 3,4; при обогащении пород рудными минералами достигает 5. Удельный вес отдельных минералов изменяется от 0,9 до 23; главных породообразующих — от 2 до 3,4. Для многих минералов наблюдаются колебания в пределах 5% (реже 10%), что связано с непостоянством их химических составов.

Удельный вес горной породы (γ) может быть рассчитан по иной формуле:

$$\gamma = g \rho ,$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Объемный вес горной породы (γ_0) – вес единицы объема породы в естественном состоянии (Н/м³):

$$\gamma_0 = g \rho_0$$

где ρ_0 – объемная масса или объемный вес.

Насыпная объемная масса горных пород (ρ_n) — это масса разрыхленного материала в единице объема вместе с пустотами. Выражается насыпная масса в килограммах на кубический метр (кг/м^3) или в тоннах на кубический метр (т/м^3) и вычисляется по формуле

$$\rho_n = m/V.$$

Массу m определяют взвешиванием, объем V определяют в сосуде (ящике), свободно заполненном сыпучим материалом.

Насыпная масса — величина непостоянная, изменяющаяся от многих факторов (степени уплотнения, влажности, формы зерен и др.). Свободно высыпанный щебень имеет меньшую насыпную массу, чем уплотненный. Песок сухой и слегка увлажненный имеют разные насыпные массы. В данных случаях на насыпную массу оказывает влияние пустотность сыпучего материала. Чем выше пустотность, тем меньше насыпная масса.

Насыпная объемная масса связана с плотностью через коэффициент разрыхления:

$$\rho_n = \rho / K_p ,$$

где K_p – коэффициент разрыхления. Коэффициент разрыхления некоторых пород: песок 1,05-1,2, уголь бурый 1,02-1,4, скальные породы 1,4-2,5.

ρ_n - *насыпная объемная масса*

ρ – *плотность.*

Пористость горной породы (%) – отношение объема пустот в породе к ее полному объему.

Различают пористость **общую (или абсолютную, физическую, полную)** — совокупность всех пор, заключённых в горных породах; **открытую (насыщения)** — объём связанных (сообщающихся) между собой пор; **закрытую** — совокупность замкнутых, взаимно не сообщающихся пор. В нефтяной геологии выделяют также **эффективную пористость**, т. е. совокупность пор, занятых нефтью, газом, и **динамическую пористость** — объём пор, через которые при определённых давлении и температуре происходит движение насыщающих жидкостей или газов; она всегда меньше общей пористости.

Влажность горной породы (%) – количество воды, содержащееся в порах, трещинах и других пустотах пород в естественных условиях. Определяется разностью веса образца влажной породы и веса того же образца после высушивания при 105-110°.

Различают **весовую влажность** — процентное отношение веса воды к весу образца породы после его высушивания, **объемную влажность** — отношение объема воды к объему породы, **приведенную влажность** — процентное отношение объема воды, заключенной в породе, к объему всей породы и другие формы выражения влажности.

Водопоглощение – способность горной породы поглощать воду или способность впитывать воду при погружении в нее в обычных условиях, т. е. при давлении в 1 атм. и $t\ 20^{\circ}\text{C}$, выражают в долях единицы или в процентах от веса абсолютно сухой породы. Водопоглощение скальных горных пород – 0,3-6%, рыхлых, слабосцементированных – 10-25%.

Размокаемость – способность породы при поглощении воды терять связность и превращается в рыхлую массу. Большинство скальных пород не размокают. Хорошо размокают слабосцементированные рыхлые породы – глина, аргиллиты.

Размягчаемость – снижение прочности породы под влиянием воды.

Коэффициент размягчаемости ($K_{\text{рзм.}}$) – отношение предела прочности породы при сжатии после насыщения ее водой и до насыщения.

Набухание – способность увеличения объема породы при поглощении воды. Оно в основном проявляется у глинистых рыхлых пород.

Количественно набухание определяется показателями объемного или линейного набухания:

$$U_n = (V_H - V_0) / V_0,$$

где V_0 – объем образца породы в сухом состоянии, см^3 ;
 V_H – объем образца породы после набухания, см^3 ;

$$\delta = (h' - h) / h ,$$

где h – начальная высота грунта природной влажности; h' – высота образца после его набухания.

Если δ (дельта) $< 0,04$, то грунт набухающий.

При набухании глин развивается давление 3-5 кг/см² (так здания на грунт передают давление только 2-3 кг/см²). За счет набухания может происходить обрушение стенок горных выработок.

Набухание свойственно для глинистых пород.

Прочность горных пород – свойство горной породы воспринимать внешние воздействия не разрушаясь. Критериями прочности являются сопротивление образца горной породы одноосному сжатию, сдвигу и растяжению ($\sigma_{сж.}$, $\sigma_{сд.}$, σ_p).

В основе теории прочности лежат эмпирические формулы Гриффитса, которые подтвердились на практике.

По ГОСТ 21153.3-85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении определены методы и формулы определения прочности.

Предел прочности при одноосном растяжении в МПа для образца вычисляют по формуле

$$\sigma_{\text{р}} = \frac{P}{S} \cdot 10$$

где P - разрушающая сила, кН; S - площадь поперечного сечения образца, см².

Предел прочности при одноосном растяжении в заданном относительно строения породы направлении в МПа для каждого образца выборки вычисляют по формуле:

$$\sigma_{\text{р}}^{\text{н}} = \frac{P}{S} \cdot 10$$

Наибольшая прочностью у пород наблюдается на сжатие, наименьшая – на растяжение (наиболее опасная деформация). Прочность на сдвиг занимает промежуточное значение.

Предел прочности на сжатие в 5-30 раз больше предела прочности на растяжение.

Наиболее прочны скальные магматические породы – базальты, наименее глины и аргиллиты.

Прочностные характеристики горных пород

Горные породы	Предел прочности, МПа	
	на сжатие	на растяжение
Базальт	260—400	22—30
Гранит	80—250	7—23
Кварцит	180—260	14—22
Диабаз	240—300	20—25
Мрамор	60—80	5—8
Известняк	46—75	4—8
Песчаник	30—200	4—18
Алевролит	30—120	3—16
Аргиллит	12—80	1—6
Уголь каменный	11—30	0,8—2,5
Уголь бурый	10—15	0,5—1,2
Сланец горючий	12—19	0,8—1,6
Мергель	25—40	2—3,5
Каменная соль	20—38	0,3—4
Глина	3—10	0,2—0,8
Алевролит и аргиллит углистый	5—25	0,3—2

Крепость горных пород – способность горных пород выдерживать разрушение. Количество крепости оценивается коэффициентом крепости (f), предложенным горным инженером, проф. Михаилом Михайловичем Пртодьяконовым (теория давления горных пород). Коэффициент крепости пород по М. М. Пртодьяконову в системе СИ рассчитывается по формуле:

$$f = 0,1 \sigma_{\text{сж.}} ,$$

где $\sigma_{\text{сж.}}$ — предел прочности на одноосное сжатие [МПа].

Шкала Протодяконова – классификация горных пород по крепости

Категория породы	Степень крепости	Породы	Коэффициент крепости, f
I	в высшей степени крепкие породы	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	очень крепкие породы	Очень крепкие гранитные породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец. Менее крепкие, нежели указанные выше кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	крепкие породы	Гранит (плотный) и гранитные породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
IIIa	крепкие породы	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчеданы	8
IV	довольно крепкие породы	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IVa	довольно крепкие породы	Песчанистые сланцы. Сланцеватые песчаники	5
V	довольно крепкие породы	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
Va	средние породы	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	3
VI	довольно мягкие породы	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, сцементированная галька, каменистый грунт	2
VIa	довольно мягкие породы	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень. Крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	мягкие породы	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь. Крепкий нанос, глинистый грунт	1
VIIa	мягкие породы	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8
VIII	землистые породы	Растительная земля. Торф. Легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	сыпучие породы	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	плавучие породы	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные грунты	0,3

Классификация горных пород

Породы	Коэффициент крепости	Категория крепости породы по	
		шкале проф. М.М. Протодьяконова	строительным нормам и правилам (СНиП)
Вязкие кварциты и базальты	20	I	XI
Крепкий гранит, самые крепкие песчаники и известняки	15	II	X
Очень крепкие песчаники и известняки	10	III	IX
Колчедан, крепкий известняк	8	IIIa	VIII
Обыкновенный песчаник, песчанистые сланцы	5—6	IV—IVa	VIII
Крепкий глинистый сланец, некрепкий песчаник и известняк	3—4	V—Va	VI—VII
Антрацит, мягкий сланец, мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, разрушенный песчаник	2	VI	VI
Крепкий каменный уголь, разрушенный сланец, отвердевшая глина	1,5	VIa	VI—V
Каменный уголь средней крепости, прочные наносы, плотная глина	1	VII	III
Мягкий уголь, мягкая песчаная глина	0,8	VIIa	II
Торф, влажный песок	0,6	VIII	I
Добытый уголь, песок, насыпной грунт, гравий	0,5	IX	I
Плывуны	0,3	X	I

Класс буримости	Буримость пород	Взрываемость пород	Скорость бурения, мм/мин	Расход аммонита № 6ЖВ на 1 м³ породы в массиве, кг	Коэффициент рыхления	Средняя плотность (в массиве), т/м³	Категория пород по СНиП	Категория пород по шкале М. М. Протодьяконова	Коэффициент крепости по шкале М. М. Протодьяконова	Категория пород по Мингео СССР и АН СССР	Категория пород по Союзу взрывному	Категория пород Главшахтостроя	Категория пород по ЕНВ-85
0	В высшей степени труднобуримые	В высшей степени трудновзрываемые	25	8,7	2,2	3,3	XI	Все категории I	>20 20	I II III	— XIII XII 6 XII a	— Вне категории	XX XIX XVIII
1			31	8,3									
2			40	6,7									
3			50	5,3									
4	Очень труднобуримые	Очень трудновзрываемые	60	4,2	2,1	3,2	X	II	18 15 12	IV V VI	XI 6 XI a X 6	Вне категории	XVII XVI XV
5			75	3,8									
6			90	3									
7	Труднобуримые	Трудновзрываемые	110	2,4	2	2,9	IX XIII	III III a	10 8	VII VIII	X a IX 6	I II	XIV XIII
8			130	2									
9	Выше средней буримости	Выше средней взрываемости	160	1,5	2	2,7	VII	IV IV a	6 5	IX X	IX a VIII 6	II III	XII XI
10			200	1,25									
11	Средней буримости	Средней взрываемости	250	1	1,8	2,5	VI V	V V a	4 3	XI XII	VIII 6 VIII a	III IV	X VIII
12			300	0,8									
13	Ниже средней буримости	Ниже средней взрываемости	350	0,6	1,7	2,4	VI IV	VI VI a	2 1,5	XIII XIV	VII VI	V	VII VI
14			400	0,5									
15	Легкобуримые	Легковзрываемые	500	0,4	1,6	1,95	VII	VII	1	XV	V	VI	V
16			600	0,3	1,6	1,5	VII a VIII IX X	VII a VIII IX X	0,8 0,6 0,5 0,3	XVI	IV III II I		IV III II I

Распределение типичных представителей пород по категориям в зависимости от способа их разработки по единым нормам времени (ЕНВ), принятыми для Сборников сметных норм (ССН-4,1992-2000)для ГРР

	н е м е р з л ы е					м е р з л ы е	
Наименование	К а т е г о р и и п о р о д п р и и х р а з р а б о т к е						
и характеристика	экскаваторами			Буровыми		Одноковшовым	
пород	Одно ковш о- выми	Многоковш овыми цепными и ротационными	Буль- дозе- рами	шурфопрохо- дческими установкам	Вруч- ную	и экскаваторам и, бульдозерами и скреперами	Вруч- ную
1	2	3	4	5	6	7	8
Алевролиты слабые	IY	-	III	III	-	-	-
Глина мягкая без примесей	II	II	II	II	II	IIIm	IIIm
Глина мягкая с примесью щебня, гравия и гальки до 10	II	II	III	II	II	IIIm	IIIm
Глина мягкая с примесью щебня, гравия и гальки более 10	III	II	III	III	III	IIIm	IY м
Глина сухая, рыхлая в отвалах	I	I	II	II	I	II м	II м
Глина тяжелая жирная	IY	-	III	IY	IY	IIIm	IY м
Гравийно- галечные отложения, сцементированные мелкозернистым песком и гравием	IY	-	IY	III	IY	Im	-
Гравийно - галечные грунты не сцементированные с размером частиц до 80 мм	I	II	II	II	II	Im	IIм
То же, с размером частиц более 80 мм	II	II	III	III	III	Im	IIIm
Дресва	II	II	III	III	III	-	-
Лед	-	-	-	-	IIIm	-	-
Лесс мягкий без примесей	I	II	I	II	I	IIм	Im
То же с примесью щебня, гравия и гальки	I	II	I	II	II	IIм	IIм

Абразивность горных пород – способность пород к изнашиванию контактирующей поверхности с абразивным материалом. Измеряется, как потери массы в миллиграммах за единицу времени истирания. Горные породы по абразивности разделены на 8 классов.

Твердость горных пород – сопротивление породы в проникновение в нее горного инструмента.

Упругость – свойство породы возвращаться в исходное состояние, форме и размерам после снятия нагрузки.

Пластичность – свойство изменять свою форму при сохранении объема.

Хрупкость – способность разрушаться при незначительной деформации.

Разрыхляемость – увеличение объема породы при выемке ее из массива, оценивается коэффициентом разрыхления:

$$K_p = V_p / V_{т.} ,$$

где V_p объем породы в рыхлой массе, вынутой из массива, $V_{т.}$ – объем породы в твердом теле или в массиве (в целике).

Взрываемость горных пород – сопротивляемость пород к разрушению под действием взрыва заряда взрывчатого вещества (ВВ). Взрываемость оценивается удельным расходом ВВ на 1 м³ горной породы.

Легковзрываемые породы: суглинок, глина, уголь, гипс, мергель, мягкий известняк; **средневзрываемые**: песчаник, сланец, мрамор, доломит; **трудновзрываемые**: гранит, базальт, диорит; весьма трудновзрываемые: роговик, андезит, габбро, дунит.

Буримость горных пород – сопротивляемость пород буровому разрушающему инструменту.

Угол естественного откоса - угол наклона образующей конуса или угол наклона, образуемый поверхностью сыпучего (рыхлого) сухого грунта (например, песка), свободно насыпанного на горизонтальную плоскость, с этой последней. Между углом естественного откоса грунта и **коэффициентом сыпучести грунта** существует зависимость: чем больше коэффициент сыпучести, тем меньше угол естественного откоса. Величина угла естественного откоса зависит от формы и крупности частиц грунта, а также от влажности и определяется как в воздухе, так и под водой.