

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b>	6
<b>1. ГОРНАЯ ПОРОДА, ПОРОДНЫЙ МАССИВ И ЕГО СВОЙСТВА</b>	8
1.1. Геологическая характеристика горных пород	10
1.2. Отбор и изготовление образцов горных пород	13
1.3. Основные физико-механические свойства горных пород	15
1.4. Физико-технические свойства горных пород	27
1.5. Свойства мерзлых (криогенных) горных пород	32
1.6. Механические свойства массивов горных пород	36
1.7. Трещиноватость массива горных пород	42
1.8. Методы изучения трещиноватости горных пород	44
1.9. Физические методы определения степени трещиноватости	47
1.10. Обоснование величины структурного ослабления пород	51
1.11. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород	55
1.12. Определение напряжений в нетронутом массиве горных пород при равнинном рельефе поверхности	58
1.13. Определение напряжений в нетронутом массиве горных пород при гористом рельефе поверхности	61
1.14. Изменение свойств массива горных пород с глубиной, влияющее на напряженно-деформированное состояние массива	65
1.15. Изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород от влияния горных работ	66
1.16. Изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород от влияния температурных условий	73
1.17. Изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород от влияния гидравлических условий	75
1.18. Изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород от влияния газодинамических условий	77
1.19. Способы управления состоянием массива горных пород	79
<b>2. ПОДДЕРЖАНИЕ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ЦЕЛИКАМИ</b>	83
2.1. Взаимодействие целиков с вмещающими породами	83
2.2. Напряженное состояние и несущая способность целиков	85
2.3. Запас прочности целиков	88

2.4. Определение размеров целиков по методу Турнера — Шевякова	91
2.5. Определение размеров целиков при наклонном залегании рудных тел	94
2.6. Определение размеров целиков при крутом падении рудных тел	97
2.7. Определение размеров целиков на основании гипотезы свода давления	98
2.8. Особенности определения параметров целиков при слоистом строении налегающих пород	101
2.9. Особенности определения параметров высоких целиков	104
2.10. Определение параметров междуэтажных целиков	105
2.11. Основные положения определения устойчивых пролетов камер	107
2.12. Определение пролета камеры на основании гипотезы свода	108
2.13. Определение пролетов камер при слоистом строении кровли	111
2.14. Расчет устойчивости обнажений при разработке наклонных и крутых залежей	114
2.15. Повышение устойчивости кровли камер анкерным креплением	116
2.16. Отработка целиков и погашения пустот	120
2.17. Соблюдение правил безопасности при применении систем разработки с открытым очистным пространством	122
<b>3. ИСКУССТВЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА</b>	125
3.1. Поддержание замагазинированной рудой	125
3.2. Поддержание выработанного пространства закладочным материалом	128
3.3. Поддержание выработанного пространства твердеющей монолитной закладкой	132
3.4. Состав и механические свойства массивов из твердеющих закладочных материалов	134
3.5. Формирование искусственных массивов из твердеющих смесей	136
3.6. Создание искусственного массива инъекционным методом	138

3.7. Распределение напряжений в искусственном и рудном массивах при применении твердеющей закладки	140
3.8. Нормативная прочность закладочного материала	145
3.9. Охрана искусственного массива от влияния взрывных работ	148
3.10. Поддержание крепью очистного пространства	149
3.11. Упрочнение массива горных пород химическими составами	155

#### **4. ПОДДЕРЖАНИЕ ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА ПОСРЕДСТВОМ ОБРУШЕНИЯ ПОРОД**

4.1. Сдвигение и обрушение пород и определяющие их факторы	159
4.2. Сохранение устойчивого состояния земной поверхности при разработке месторождений	161
4.3. Закономерности сдвижения горных пород	164
4.4. Характер последовательного обрушения пород	167
4.5. Обоснование шага обрушения пород	171
4.6. Оценка опорного давления при обрушении пород	174
4.7. Предотвращение вредного влияния опорного давления	179
4.8. Защита объектов от влияния сдвижения пород при их подработке	188

#### **5. УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ**

5.1. Горные удары и условия их возникновения	194
5.2. Систематизации проявления горных ударов	198
5.3. Гипотеза механизма горного удара	201
5.4. Прогнозная оценка горных ударов	204
5.5. Способы борьбы с горными ударами на различных стадиях разработки месторождения	215
5.6. Способы борьбы с внезапными выбросами породы и газа	225
5.7. Борьба с внезапными прорывами вод	230

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

237

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие составлено по программе профессионального модуля, которая разработана на основе ФГОС по направлению подготовки 130400 «Горное дело» и специализации 130404 — «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

Учебное пособие «Управление состоянием массива пород при подземной геотехнологии» является продолжением курса «Геомеханика», читаемого студентам горных специальностей. В нем в сжатой форме излагаются общие сведения об управлении состоянием массива пород при различных технологиях разработки месторождений подземным способом, включающие сложные и специфические технологические процессы.

Массив горных пород в процессе подземных горных работ представляет собой ту окружающую среду, от состояния которой зависят безопасность работающих, эффективность отработки месторождения и полнота извлечения полезного ископаемого. Состояние массива в этот период определяется совокупным влиянием физико-механических свойств горных пород, геологических и горнотехнических факторов, характеризующих данный массив.

Из геологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на состояние массива в период отработки месторождения, необходимо отметить условия образования, состав и строение слагающих его пород, наличие геологических нарушений. Из физико-механических характеристик — плотностные, прочностные и деформационные свойства распределения гравитационных и тектонических напряжений, изменение температурных полей, газоносность и водообильность пород.

Горнотехнические факторы, влияющие на состояние массива горных пород, формируются в результате выполнения разного рода технологических процессов, связанных со вскрытием, подготовкой месторождения и, особенно, с очистной выемкой.

При проведении горных работ нарушается первоначальное состояние массива. Вокруг горных выработок изменяются напряжения и деформации, возникают зоны повышенных и пониженных напряжений, упругих или пластичных деформаций, постепенных или мгновенных разрушений. Деформации и нарушения подрабатываемого массива пород могут быть причиной сдвижений и обрушений зем-

ной поверхности. Таким образом, в результате воздействия горных работ, массив претерпевает значительные механические и физические изменения. Из сплошной упругой среды горные породы могут стать похожими на дискретную (сыпучую) массу.

Безопасность и эффективность подземной добычи руды будет обеспечиваться только в случае правильного выбора способа управления состоянием окружающего выработки массива горных пород, когда возникающие в нем напряжения и деформации не превышают допустимых величин. При применении камерной выемки в течение установленного срока должна сохраняться устойчивость кровли камер и междуканальных целиков, при закладке отработанных пустот — обеспечиваться равновесие окружающих пород при деформациях ниже допустимых пределов, а в случае систем с обрушением — осуществляться своевременная посадка подрабатываемых пород.

Целью освоения дисциплины является получение обучающимися знаний по закономерностям проявлений геомеханических, газодинамических, теплофизических и гидравлических процессов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых и приобретение умений реализации технологий управления состоянием массива горных пород как главного предмета труда, необходимых для обеспечения эффективной и безопасной отработки запасов полезного ископаемого.

Основные теоретические и практические положения, применяемые при выборе и обосновании способов управления состоянием массива горных пород, базируются на знании фундаментальных, общетехнических, прикладных и специальных дисциплин. Особо важную роль играет знание геомеханики горных пород и массивов.

Необходимость в пополнении оскудевающего библиотечного фонда в вузах и колледжах по вопросам разработки месторождений твердых полезных ископаемых натолкнуло автора на написание этого труда с учетом новых требований в программах профессионального высшего образования и с использованием предыдущего опыта авторов, создавших учебную литературу по управлению состоянием массива горных пород при подземной разработке месторождений.

## 1. ГОРНАЯ ПОРОДА, ПОРОДНЫЙ МАССИВ И ЕГО СВОЙСТВА

**ГОРНЫЕ ПОРОДЫ** (a. rocks) — минеральные агрегаты определенного состава и строения, сформировавшиеся в результате геологических процессов и залегающие в виде самостоятельных тел, образующих литосферу Земли, планет земной группы, Луны и астероидов. Термин ввел русский геолог В. М. Севергин в 1798 г. Горные породы могут слагаться как одним минералом, так и их ассоциацией. Из 4000 известных минералов лишь 100–150 являются породообразующими (петрогенными). В природе сочетания минералов определяются физико-химическими процессами породообразования и геохимическими законами распространения породообразующих элементов.

**МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД** (от *франц.* massif — мощный, сплошной; a. rock mass) — участок недр, выделяемый для целей изучения и освоения. Характеризуется составом горных пород, циркулирующих подземных газов и вод; физическими полями; строением; свойствами; состоянием; масштабом; формой; положением в пространстве и эволюцией. Массив горных пород состоит из множества элементов: блоков и ограничивающих блоки ослабленных зон. Взаимодействие блоков разного масштаба определяется параметрами волновых энерго-массообменных процессов, идущих в обстановке объемного напряженного состояния, обусловленных естественными (гравитационными, тектоническими) и техногенными полями напряжений. В массиве горных пород деформации распределяются преимущественно в ослабленных зонах (по трещинам и др.), в меньшей мере деформируются сами блоки горных пород. Разрушение блоков происходит, как правило, с образованием по направлениям максимальных значений касательных напряжений поверхностей скольжения примыкающих друг к другу призмобразных более мелких блоков горных пород.

В условиях высоких трехосно сжимающих нагрузок (на больших глубинах в удалении от обнажений) механическое состояние массива с достаточной мерой приближения оценивается законами механики сплошной среды. Условием корректного применения этих законов является их приложение к квазиоднородным («квази» — *лат.* якобы, мнимый) участкам массива горных пород с размерами в 15–20 раз большими, чем отдельные блоки. При расчетах сопротивлений и деформаций массив горных пород определяется показателями мо-

нолитных горных пород с учетом коэффициента структурного ослабления, зависящим от нарушенности массива (частоты и связности трещин), вида и уровня напряженного состояния. В условиях высоких трехосно сжимающих напряжений и при значительном превышении размеров нагруженных участков массива по сравнению с размерами отдельных элементов значения коэффициента структурного ослабления массива близки к единице. В условиях, близких к одноосному или двухосному напряженному состоянию (например, в нешироких целиках и вблизи выработок), значимость структурных ослаблений (трещин, контактов) существенна и значения коэффициента структурного ослабления значительно меньше единицы. Массив горных пород в этом случае рассматривается как дискретно-блочная среда, устойчивость которой оценивается расчетом сцепления и трения контактов взаимодействующих монолитных блоков горных пород.

Для количественной оценки влияния структурных ослаблений массив горных пород на его устойчивость, деформации, перемещения и взаимодействие с инженерными сооружениями в различных условиях используют различные методы. Среди них — механические испытания образцов горных пород с естественными ослаблениями или системой искусственно созданных поверхностей нарушения сплошности на прессах и специальных установках (стабилометрах) с определением при различных видах и уровне напряженного состояния показателей сцепления и трения по поверхностям либо по паспорту прочности породы. Проводятся также испытания горных пород без извлечения из массива путем нагружения оконтуренного в массиве блока с помощью домкратов, гидроподушек, прессиометров и др.

Состояние массива горных пород при разработке месторождений во многом зависит от свойств, слагающих его горных пород, распределения напряжений и деформаций, температуры, способности аккумулировать и отдавать энергию.

До проведения горных выработок массив горных пород обычно называют нетронутым (ненарушенным).

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ** — наука, изучающая способы и процессы освоения недр; создающая теоретические основы и инженерные решения эффективной, экономически целесообразной и экологически допустимой разработки месторождений, строительства и эксплуатации горнодобывающих предприятий, а также освоения подземного пространства в целях, не связанных с извлечением полезного ископаемого.

Основная особенность геотехнологии заключается в том, что составляющие ее элементы — технологические приемы, процессы, технические средства, способы организации их выполнения — предназначены для использования в земной толще, для которой характерна неоднородность свойств — отсутствие сплошности, анизотропность, изменчивость физических и других свойств в пространстве, наличие внутри ее веществ в жидком и газообразном состоянии.

Геотехнология — также комплекс горных наук, выявляющих предпосылки и формирующих научные знания для обоснования и разработки технологических, технических и организационных решений по освоению недр, расширяющих и углубляющих функциональные возможности горных предприятий и техногенного преобразования недр.

Предмет геотехнологии как комплекса горных наук составляют взаимосвязи технологий ведения горных работ, производственных процессов, технических средств, технологических конструкций техногенных сооружений и природно-минеральной среды и физических процессов, происходящих в недрах при извлечении полезных ископаемых. Цель изучения этих взаимосвязей — изыскание наиболее безопасных, экологически приемлемых и экономически выгодных способов использования минеральных и иных ресурсов недр. Различают подземные и открытые физико-технические, физико-химические и строительные геотехнологии. Эти направления формируются на базе соответствующих производств, различий в условиях залегания полезных ископаемых и свойствах среды, технологий и отдельных процессов освоения ресурсов недр.

### **1.1. Геологическая характеристика горных пород**

Горные породы разделяются на отдельные классы по следующим признакам:

- условиям образования (магматические, осадочные, метаморфические);
- петрографическому составу (кислые, основные, ультраосновные, щелочные);
- степени кристаллизации (полнокристаллические, неполнокристаллические, стекловидные, порфировые, обломочные);
- крупности кристаллических зерен (крупно-, средне-, мелко- и микрокристаллические);



- текстуре или сложению (массивные, пористые, слоистые);
- физическому состоянию (твердые или скальные, пластичные, рыхлые (сыпучие), текучие).

Сложение и строение пород (а также их свойства) определяются, главным образом, условиями их образования.

**Магматические (изверженные) породы** характеризуются сплошным кристаллическим строением (размеры кристаллов зависят от скорости затвердения магмы, температуры и давления). Эти породы более или менее изотропны по своим свойствам. Изотропность свойств магматических горных пород определяется условиями затвердения расплавленной силикатной массы — магмы. Из магмы, излившейся на поверхность, образуются эффузивные, а из застывшей на глубине — интрузивные породы.

Эффузивные породы обычно весьма неоднородны по составу, могут быть высокопористыми и рыхлыми (туфы), в некоторых случаях обладают скрытокристаллической стекловидной структурой (обсидиан). Для большинства эффузивных пород характерна порфировая структура (порфирит).

В интрузивных породах в результате медленного и равномерного охлаждения расплава магмы происходит кристаллизация минералов в определенной последовательности, и, таким образом, образуется зернистая структура. В больших интрузивных телах при медленном остывании магмы образуются породы крупнокристаллической структуры. Интрузивные горные породы характеризуются сравнительно грубой зернистостью, низкой пористостью и малой проницаемостью.

В зависимости от содержания кварца, полевых шпатов, слюды и амфибол изверженные породы разделяются на кислые, средние, основные, ультраосновные и щелочные. Около 35% всех магматических пород представлены гранитами и гранодиоритами. Они покрывают площадь в 20 раз большую, чем все остальные вместе взятые интрузивные породы.

Из эффузивных (излившихся) пород наиболее распространены базальты. Они занимают объем в 5 раз больший, чем все остальные эффузивные породы. Щелочные породы составляют менее 1% общего объема изверженных пород.

**Осадочные горные породы** представляют собой отложения в водных бассейнах или на поверхности суши продуктов механического или химического разрушения ранее существовавших магматиче-

ских, осадочных или метаморфических пород. Иногда осадочные породы образуются в результате жизнедеятельности растительных или животных организмов. На поверхности земли осадочные породы занимают 75% площади, доля их в составе литосферы — 5%. Остальную часть (95%) занимают изверженные породы. 98–99% от общего объема осадочных пород составляют глинистые сланцы, песчаники и известняки.

Образованные в условиях низких температур и малого давления, в результате механического осаждения, они характеризуются слоистым строением и значительной пористостью. По условиям образования осадочные породы разделяются на три группы: обломочные (или механические осадки), химические и органогенные.

Излом (или разрушение) осадочных пород определяется соотношением прочности зерен и цемента и может проходить по зернам пород или скрепляющему их цементирующему веществу.

В практике разработки рудных месторождений часто приходится иметь дело с осадочными породами, которые в отличие от магматических имеют меньшую прочность и устойчивость, обладают значительной пористостью, часто бывают газо- и водонасыщены.

В природе широко распространены породы, представляющие собою смесь песка, глины и пыли.

Глинистые породы, обладая высокой пористостью 25–40%, при обводнении способны удерживать воду в связанном состоянии, что приводит к резкому увеличению их пластических свойств. Поэтому имеющиеся слои и пропластки глин могут быть причиной потери устойчивости массива.

Сухие глины при давлении вышележащих слоев уплотняются и приобретают способность раскалываться на тонкие пластинки, т. е. становятся сланцеватыми. Наибольшая плотность и твердость у глинистых сланцев, которые кроме глинистых частиц включают кварцевую пыль и чешуйки хлорита и серицита. Глинистые сланцы, обладая значительной твердостью (по шкале проф. М. М. Протодяконова) до 4, не размокают от воды.

Химические и органогенные осадочные породы образовались путем выпадения осадков из растворов или в результате участия живых организмов (животных, растений, бактерий). К числу таких пород относятся осадочные железные и марганцевые руды, бокситы, фосфориты, соли, известняки, гипс, мел, доломиты и др.

**Метаморфические горные породы** образовались из изверженных или осадочных пород под воздействием высоких температур и давления, горячих газов и растворов. Вследствие этого изменились минералогический состав, структура (иногда и первоначальный химический состав) первичных пород. Механические свойства метаморфических пород зависят от степени перекристаллизации, сланцеватости, пористости, взаимного расположения зерен. Эти породы обычно имеют ясно выраженную кристаллическую зернистую структуру. Во многих случаях при массивной текстуре (например, мраморы, кварциты) они почти не отличаются от изверженных пород. При слабой метаморфизации осадочных пород приобретает сланцеватая структура (сланцы, филлиты, плотные роговики). К сланцевой текстуре близка гнейсовая, выражающаяся в линейном расположении кристаллов биотита, мусковита, роговой обманки.

Метаморфические породы, как правило, обладают малой пористостью и проницаемостью. Их физические свойства определяются слагающими минералами. Сланцеватость метаморфических пород, определяемая упорядоченным расположением пластинок слюды и кристаллов роговой обманки, обуславливает **анизотропность** (изменения свойств в различных направлениях) свойств массива горных пород.

## **1.2. Отбор и изготовление образцов горных пород**

Образцы горных пород для испытаний их механических свойств отбираются из кернов разведочного бурения или в виде блоков при разработке месторождений. Выбуривание кернов производится, как правило, сухим способом. Блоки породы предпочтительны в виде куба или параллелепипеда с размерами сторон не менее 30 см. Пробы должны отбираться таким образом, чтобы они представляли исследуемое месторождение как по площади, так и по глубине.

Для сохранения естественной влажности отобранные образцы парафинируются с обертыванием их марлей. Но парафинирование образцов не гарантирует их полной сохранности от изменения влажности во время транспортирования и хранения. В образце под парафином происходит миграция части влаги из его центра под парафиную оболочку, и после вскрытия влага быстро испаряется. Поэтому желательно определять влажность горной породы непосредственно после отделения ее от массива. Для горных пород с выраженной тек-

стурой необходимо изготавливать образцы по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Места взятия проб и их ориентировка в пространстве должны учитываться при интерпретации результатов опытов, поэтому каждая проба снабжается описанием, где отмечаются наименование породы, дата извлечения, место взятия пробы.

Изготовление образцов в виде кубиков или пластин производится на специальных камнерезных и шлифовальных машинах. Образцы цилиндрической формы изготавливаются из кернов разведочного бурения и из кернов, высверленных или выбуренных в лабораторных условиях из блоков пород.

Приготовление образцов к испытаниям также включает шлифовку их сторон. Особенно тщательно шлифуются стороны, которые при испытаниях контактируют с поверхностями плит прессов. Для образцов, подготавливаемых для испытаний на сжатие, рекомендуются следующие требования по чистоте обработки рабочих поверхностей:

а) отклонение от параллельности не должно превышать 0,05 мм по диаметру образца;

б) отклонение от перпендикулярности торцов к образующим цилиндра не должно превышать 0,05 мм;

в) выпуклость торцов должна быть не более 0,03 мм. Также рекомендуется для испытаний на сжатие использовать цилиндрические образцы диаметром 42 мм (допустимые колебания 40–45 мм) с отношением высоты к диаметру равным единице (отклонение не более 5%).

В силу различия свойств пород даже для одной и той же литологической разницы рекомендуется проводить испытания нескольких образцов. Оценка представительности испытаний может производиться по следующей методике.

Среднее арифметическое значений прочности:

$$X = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (1.1)$$

где  $x_i$  — значение отдельных испытаний;  $n$  — количество испытанных образцов.

Дисперсия определения величины прочности:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n - 1}}. \quad (1.2)$$

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{x} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

Исходя из величины коэффициента вариации, необходимое количество образцов может быть определено из таблицы 1.1.

Таблица 1.1

Соотношение между коэффициентом вариации  
и количеством образцов, необходимых для испытаний

Коэффициент вариации, %	Необходимое количество образцов, $n$
30	9
25	6
20	4
15	3

### 1.3. Основные физико-механические свойства горных пород

Знание физико-механических свойств горных пород позволяет оценить эффективность различных способов разрушения пород, устойчивость выработок, правильно выбрать тип крепи, обосновать целесообразность применения того или иного способа проходки в целом, правильно планировать горные работы.

Свойства горных пород главным образом зависят от минерального состава, структуры и текстуры.

Под **текстурой горных пород** понимается ориентировка и пространственное расположение отдельных минеральных зерен или агрегатов минеральных зерен.

В зависимости от характера связей между отдельными зернами и минеральными агрегатами можно выделить следующие типы пород:

- твердые породы, отличающиеся жесткой, упругой связью (скальные) или упругой и пластичной связью (полускальные); скальные породы имеют наиболее прочные связи между минеральными зернами;
- связные породы, для которых свойственны преимущественно водно-коллоидные связи между частицами;

■ несвязные (рыхлые) породы, характеризующиеся отсутствием каких-либо связей между частицами, находящимися в соприкосновении друг с другом. Разновидностью несвязных пород являются плывучие породы, которым в определенных условиях свойственна подвижность; они состоят из твердой и жидкой фаз.

К физико-механическим свойствам пород относятся: плотностные, прочностные, упругие и пластические характеристики горных пород и массивов.

**Плотностные свойства.** **Плотность минералогическая  $\rho$**  — отношение массы твердых частиц  $m_T$ , слагающих горную породу, к их объему  $V_T$ , т. е.

$$\rho = m_T / V_T. \quad (1.4)$$

Величина  $\rho$  зависит от плотности входящих в породу минералов, которые условно в зависимости от ее величины разделяют на тяжелые  $\rho > 4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, средней плотности  $4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho > > 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и легкие  $\rho < 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Для характеристики плотности пород в условиях естественного залегания часто пользуются таким свойством, как **средняя (объёмная плотность)  $\rho_0$** , которая учитывает пористость породы:

$$\rho_0 = m_m / V \quad \text{или} \quad \rho_0 = \rho (1 - p), \text{ кг/м}^3, \quad (1.5)$$

где  $V$  — объем породы, включая поры;  $p$  — пористость в долях единицы.

Сравнивая выражения (1.4) и (1.5), очевидно, что  $\rho > \rho_0$ . Объёмная плотность большинства пород изменяется от  $1,5 \cdot 10^3$  до  $3,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, причем меньшие ее значения свойственны осадочным, а более высокие — изверженным и метаморфическим породам.

В расчетах часто используют **удельный вес  $\gamma$  породы**, который определяется через плотность  $\rho$  и объёмную плотность  $\rho_0$ :

$$\gamma = \rho g; \quad \gamma_0 = \rho_0 g, \text{ МН/м}^3, \quad (1.6)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения.

Особенно это необходимо в расчетах горного давления.

**Пористость  $p$**  — отношение объема  $V_n$  имеющихся в породе пор (%) к ее общему объему  $V$ , т. е.

$$p = \frac{V_n}{V} = \left(1 - \frac{V_T}{V}\right) \cdot 100\%. \quad (1.7)$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)