



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛ-  
НЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Специальность</b>                | <u>21.05.04 Горное дело</u>   |
| <b>Направленность<br/>(профиль)</b> | <u>Подземная разработка рудных месторождений</u>                      |
| <b>Уровень высшего образования</b>  | <u>Специалитет</u><br><i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i> |

Автор - разработчик: Казак О. О., канд. техн. наук, доцент

Рассмотрено на заседании кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

## ВВЕДЕНИЕ

Технологию горного производства структурно можно представить, как комплекс следующих элементов: проектирование горного предприятия, его строительство, разработка месторождения, обогащение полезных ископаемых. Реализация каждого из указанных этапов горного дела неизбежно требует изучения свойств объекта воздействия – горной породы. Действительно, свойства горных пород, т.е. их специфическая реакция на различные способы и средства внешнего воздействия, определяют технику и технологию ведения горных работ, производительность труда и стоимость готовой продукции. Более того, само предприятие (шахта, рудник, карьер, метрополитен и др.) расположено в массиве горных пород и потому зависит от его поведения.

В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования в результате изучения данной дисциплины студент должен:

**Знать:**

- ✓ физико-механические свойства массивов и их структурно-механические особенности;
- ✓ методы испытаний горных пород;
- ✓ физико-механические, физико-технические свойства горных пород и техногенных отложений.

**Уметь:**

- ✓ производить испытания горных пород при исследовании физико-механических, физико-технических свойств.

**Владеть:**

- ✓ методами работы на основных физических приборах при оценке физико-механических и физико-технических характеристик горных пород.

Требования образовательного стандарта определяют содержание данного учебника.

Основные задачи исследования физики горных пород: изучение свойств горных пород; прогнозирование изменчивости свойств пород в зависимости от их состава, строения и влияния физических полей; установление взаимосвязи свойств пород и их влияния на процессы горной технологии; исследование физических процессов горной технологии, связанных с воздействием на породный массив.

Изучение физики горных пород опирается на освоенный студентом материал геологического и физико-математического цикла дисциплин. В свою очередь, данная учебная дисциплина является базой для изучения специальных курсов подготовки горного инженера.

## 1. Методические указания к самостоятельной работе студента

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Физика горных пород». Она содержит названия 45 основных тем с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов в экзаменационном билете. Основным объемом информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины на кафедре шахтного строительства имеется тестовая обучающая программа и мультимедийные средства обучения [3].

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.
2. По учебнику [1] освоите каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны разделы и страницы учебника, содержащие данный материал.
3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.
4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.
5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.
6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

## 2. Содержание курса

### **Тема №1. Горные породы как объект разработки**

Структура и текстура пород, их минеральный состав. Неоднородность состава и строения горных пород. Оценка изменчивости свойств пород. Типы горных массивов. (§ 1.1, С. 6-10).

*Дополнительная литература:* [4, 5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Как связаны состав и строение горных пород с их генезисом?
2. Что понимается под структурой и текстурой горных пород, и какие их типы можно выделить для горных пород?
3. Чем обусловлена изменчивость свойств горных пород?
4. Опишите статистические характеристики изменчивости свойств горных пород.

### **Тема №2. Классификация физических свойств горных пород**

Физические поля, действующие на горные породы. Классы и группы свойств горных пород. (§ 1.2, С. 10-12).

*Дополнительная литература:* [4].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Назовите основные виды энергии, используемые при разработке горных пород.
2. Укажите классы физических свойств горных пород.
3. Какие группы характеристик включает класс механических свойств горных пород?

### **Тема №3. Силы связи и внутренняя структура горных пород**

Кристаллическая решетка и анизотропия свойств горных пород. Ионные, атомные (ковалентные), металлические и молекулярные кристаллы. Взаимодействие между минеральными зернами. (§ 1.3, 1.4, С. 12-20).

*Дополнительная литература:* [4, 6].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Что понимают под анизотропией свойств горных пород?
2. Почему анизотропия свойств присуща любому типу кристаллов?
3. Какие силы удерживают частицы в узлах решетки ионного кристалла?
4. Поясните схему обменного взаимодействия атомов в ковалентном кристалле.
5. Чем обусловлено взаимодействие частиц в металлических и молекулярных кристаллах?
6. Охарактеризуйте типы взаимодействий между минеральными зернами, слагающими горную породу.

#### **Тема №4. Дефекты кристаллической структуры**

Тепловые колебания как дефекты структуры, флуктуация энергии. Точечные дефекты (вакансии, атомы внедрения), их образование и движение под действием нагрузки. Линейные дефекты – дислокации (краевая и винтовая), движение и размножение дислокаций. Поверхностные и объемные дефекты.

(§ 1.5, С. 20-24).

*Дополнительная литература:* [4, 6].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Почему тепловые колебания атомов вносят искажения в кристаллическую решетку кристаллов?
2. Что понимают по термической флуктуацией энергии?
3. Как образуются вакансии и атомы внедрения в кристаллах?
4. Что представляет собой краевая и винтовая дислокации?
5. Как реагируют точечные и линейные дефекты на приложение к горной породе внешней механической нагрузки?
6. Что понимают под поверхностными и объемными дефектами горных пород?

#### **Тема №5. Плотностные свойства горных пород**

Объемная масса и объемный вес. Удельная масса (плотность) и удельный вес. Пористость, виды пористости (общая, открытая, эффективная). Трещиноватость горных пород и ее характеристики. Методы определения плотностных свойств горных пород (§ 2.1, С. 24-27).

*Дополнительная литература:* [4, 9].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Дайте определения объемной и удельной массы горных пород.
2. Чем отличаются объемная масса и объемный вес горных пород?
3. Назовите и охарактеризуйте основные виды пористости горных пород.
4. Охарактеризуйте методы определения плотностных свойств горных пород.
5. Какими показателями может оцениваться трещиноватость горных пород?

*Задачи:* 1, 2, 11.

#### **Тема №6. Напряжения и деформации в горных породах**

Разложение сил в произвольной площадке (схема) – нормальные и касательные напряжения, их размерность. Зависимость величины напряжений от угла наклона площадки (аналитическое выражение и круг напряжений Мора). Деформации пород от действия нормальных и касательных напряжений. Графики упругой, пластичной и упруго-пластичной деформации. (§ 2.2, С. 27-30).

*Дополнительная литература:* [4, 7].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Изобразите схему разложения сил в произвольной площадке элементарного объема горной породы.
2. Что понимается под нормальными и касательными напряжениями? Укажите их размерность.
3. Выведите аналитические зависимости величины нормальных и касательных напряжений от угла наклона произвольной площадки.
4. Изобразите и поясните смысл круга напряжений Мора для одноосного напряженного состояния горной породы.
5. Какие по величине нормальные и касательные напряжения действуют в площадках под углом  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $90^\circ$  к линии действия нагрузки? Покажите эти характерные точки на круге напряжений Мора.
6. Что понимается под продольной, поперечной (абсолютной и относительной) и угловой (сдвиговой) деформацией?
7. Изобразите графики упругой, пластической, упруго-пластической деформации. Охарактеризуйте их основные особенности.

**Задачи:** 3, 4.

**Тема №7. Упругие свойства горных пород**

Работа деформирования горных пород и ее графическая интерпретация. Модули упругости, сдвига и объемного сжатия. Коэффициент Пуассона. (§ 2.3, С. 30-33).

**Дополнительная литература:** [4, 5].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Выведите формулы работы упругой деформации. Дайте их интерпретацию на графике упругой деформации горных пород.
2. Запишите закон Гука для нормальных и касательных напряжений. Укажите выражения для модуля упругости (Юнга) и модуля сдвига.
3. Что понимается под модулем объемного сжатия? Укажите размерность модулей.
4. Что выражает коэффициент Пуассона горной породы?

**Задачи:** 6, 7, 8, 37.

**Тема №8. Распространение упругих колебаний в горных породах**

Классификация упругих колебаний по частоте. Продольные волны и их характеристики (деформации среды, направление колебания атомов). Условия массива и стержня. Поперечные волны и их характеристики (деформации среды, направление колебания атомов). (§ 2.4, С. 33-36).

**Дополнительная литература:** [4, 7].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Дайте классификацию упругих колебаний по частоте и укажите, – по какому принципу она сформирована.
2. Как деформируется горная порода при распространении по ней продольных упругих волн?

3. Чем отличается распространение продольной волны в массиве и стержне?

4. Как деформируется горная порода при распространении по ней поперечных упругих волн?

*Задачи:* 18, 32, 45, 57.

### **Тема №9. Акустические свойства горных пород**

Скорость и характеристики распространения продольных волн. Скорость и характеристики распространения поперечных волн. Акустическое сопротивление. Физика затухания упругих волн, коэффициент и логарифмический декремент затухания. (§ 2.5, С. 36-39).

*Дополнительная литература:* [4, 7].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Опишите закономерности распространения продольных и поперечных упругих волн.

2. Дайте выражение акустического сопротивления (жесткости) горных пород. Укажите ее размерность.

3. В чем проявляется затухание упругих волн и какова физика этого процесса?

4. Выведите формулу коэффициента затухания амплитуды волны с расстоянием.

5. Дайте выражение логарифмического декремента затухания волны.

*Задачи:* 36, 53, 54.

### **Тема №10. Методы определения упругих свойств горных пород**

Схема измерений при реализации статического метода. График деформаций и определение модуля упругости, коэффициента Пуассона, модуля сдвига и модуля объемного сжатия. Сущность динамического метода и варианты его реализации – измерение  $C_m$  и  $C_{ст}$  (два варианта), измерение  $C_m$  и  $C_s$ , достоинства и недостатки способов. (§ 2.6, С. 39-44).

*Дополнительная литература:* [4, 7].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Опишите процедуру измерения упругих свойств горных пород статическим методом. Укажите достоинства и недостатки данного метода.

2. Укажите существо динамического метода определения упругих свойств горных пород.

3. Как обеспечить условия массива и стержня при измерении в горной породе скорости продольной волны? Какой вариант предпочтительней?

4. Укажите существо и преимущества способа определения упругих свойств пород путем измерения в них скорости продольной и поперечной волны в массиве.

*Задачи:* 23, 27, 56.

### **Тема №11. Прочность горных пород. Критерии прочности**

Понятие прочности, ее виды и размерность. Общая модель критериев прочности. Технические критерии прочности: наибольших нормальных напряжений; наибольших удлинений; наибольших касательных напряжений; энергетический критерий. Общее положение критерия Мора. (§ 2.7, С. 44-46).

*Дополнительная литература:* [4, 5].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что называется прочностью горной породы? Укажите виды прочности и их размерность.
2. Поясните смысл модели технических критериев прочности.
3. Укажите смысл и математическое выражение каждого из технических критериев прочности.

### **Тема №12. Теория прочности Мора**

Построение и использование круга напряжений для объемного сжатия. Типичные круги предельных напряжений и их огибающая. Физический смысл огибающей кругов напряжений Мора, следствия теории прочности Мора. (§ 2.8, С. 46-48).

*Дополнительная литература:* [4, 5].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Охарактеризуйте теорию Мора на примере построения и использования круга напряжений для объемного сжатия.
2. Произведите построение предельных кругов напряжений при объемном и одноосном растяжении, растяжении со сжатием, одноосном и всестороннем сжатии. Поясните их расположение на графике.
3. Что характеризует огибающая предельных кругов напряжений?
4. Какими напряжениями (в соответствии с теорией прочности Мора) обусловлено разрушение горной породы?

**Задачи:** 34.

### **Тема №13. Паспорт прочности горных пород**

Процедура построения паспорта прочности. Физический смысл и уравнение линейной огибающей. Сцепление и угол внутреннего трения, их физический смысл. (§ 2.9, С. 48-53).

*Дополнительная литература:* [4, 5].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Опишите процедуру построения паспорта прочности горных пород.
2. Запишите уравнение линейной огибающей предельных кругов напряжений. Укажите физический смысл этой огибающей.
3. Что называется сцеплением горной породы?
4. Что характеризует угол внутреннего трения горной породы?
5. Как оценить предельные значения угла и коэффициента внутреннего трения горных пород?

**Задачи:** 38, 39, 42.



#### **Тема №14. Теория хрупкого разрушения (теория трещин Гриффитса)**

Модель Гриффитса – растяжение пластины с трещиной. Механизм освобождения упругой энергии при возникновении трещины. Трещиноподвижная сила. Сопротивление росту трещины. Формирование критерия прочности Гриффитса, понятие критической трещины. (§ 2.11, С. 57-61)

*Дополнительная литература:* [5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Поясните механизм разрушения на примере растяжения пластины с трещиной.
2. Дайте вывод формулы упругой энергии, освобождающейся при росте трещины.
3. Что называется трещиноподвижной силой?
4. Что понимается под сопротивлением росту трещины?
4. Что характеризует удельная поверхностная энергия горной породы?
5. Запишите уравнение критерия прочности Гриффитса и поясните его смысл.

#### **Тема №15. Кинетическая концепция прочности**

Понятие и уравнение долговечности тела. Уравнение флуктуации тепловой энергии. Энергия активации процесса разрушения и ее смысл. Стадии разрушения тел в соответствии с кинетической концепцией прочности. (§ 2.12, С. 61-64)

*Дополнительная литература:* [5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Запишите и дайте физическую интерпретацию уравнению долговечности тела.
2. Опишите механизм разрушения горных пород с позиций кинетической концепции прочности.
3. Что называется активационным объемом и как его величина связана с коэффициентом перенапряжений?
4. Как соотносится кинетическая концепция прочности с теорией трещин Гриффитса?

#### **Тема №16. Пластическое деформирование и пластические свойства горных пород**

Механизмы межзеренного и внутризеренного скольжения. Модули упругости, пластичности и общей деформации, их графическая интерпретация. Коэффициенты пластичности и хрупкости как соотношение работ деформирования горной породы, их графическая интерпретация. (§ 2.13, 2.14, С. 64-69).

*Дополнительная литература:* [4, 5, 7].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Опишите механизм межзеренного скольжения как основного механизма пластической деформации горных пород.

2. Чем определяется внутризеренное скольжение при пластической деформации кристаллических горных пород?

3. Что называется пределом упругости горных пород?

4. Постройте график деформации упруго-пластичной горной породы и дайте геометрическую интерпретацию модулям упругости, пластичности и общей деформации.

5. Что характеризуют коэффициенты пластичности и хрупкости? Поясните их сущность на графике деформации горных пород.

**Задачи:** 21, 40, 41, 43, 49, 50, 60.

### **Тема №17. Ползучесть горных пород**

Механическая модель ползучести. Графики затухающей и незатухающей ползучести, их интерпретация. Механизмы ползучести (диффузионно-вязкое течение, движение дислокаций, межзеренное скольжение). Вывод основного уравнения реологии и его применимость к описанию ползучести, оценка затухающей ползучести. (§ 2.15, С. 69-72).

**Дополнительная литература:** [4, 5].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Опишите явление ползучести горных пород с помощью механической модели Максвелла.

2. Постройте типичные графики затухающей и незатухающей ползучести горных пород. Опишите характерные этапы ползучести.

3. Охарактеризуйте механизмы ползучести горных пород. Более детально проясните механизм межзеренного скольжения.

4. Выведите основное реологическое уравнение для модели Максвелла. Укажите, какой вид ползучести оно описывает.

### **Тема №18. Релаксация напряжений и длительная прочность горных пород**

Понятие релаксации напряжений и ее модель, физика явления (механизмы ползучести). Уравнение релаксации напряжений, период релаксации и его смысл. Понятие длительной прочности. Связь длительной прочности с ползучестью пород и метод оценки величины длительной прочности. (§ 2.15, С. 72-74).

**Дополнительная литература:** [4, 5].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что понимается под релаксацией напряжений и каков ее механизм?

2. Напишите уравнение релаксации напряжений и поясните смысл периода релаксации.

3. Что называется длительной прочностью горных пород?

4. Постройте график снижения прочности горных пород во времени и поясните, за счет чего происходит это снижение.

5. Как производится экспериментальное определение величины длительной прочности. Поясните на графиках ползучести горных пород.

*Задачи:* 12, 33.

### **Тема №19. Статические и динамические характеристики горных пород**

Предельные случаи деформирования горных пород. Явление упругого последствия. Влияние дефектов структуры. Влияние релаксации напряжений на прочность и упругость пород. (§ 2.17, С. 81-83).

*Дополнительная литература:* [4, 5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Как реагирует горная порода на ее деформирование?
2. Изобразите и прокомментируйте графики изменения деформации горных пород при статическом и динамическом нагружении.
3. Как влияют дефекты структуры на прочность и упругость пород при различной скорости ее нагружения?
4. Какова роль релаксации напряжений при статическом нагружении горной породы (покажите на графике).

### **Тема №20. Развитие исследований по механике горных пород**

Первый этап – критерии, рассматривающие горную породу как бесструктурную модель. Второй этап – теории хрупкого разрушения при наличии трещин. Третий этап – теории прочности с учетом термических флуктуаций энергии. Недостатки существующих теорий, требования к разработке обобщенной теории прочности. (§ 2.18, С. 83-92).

*Дополнительная литература:* [5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Какой принцип положен в основу формирования технических критериев прочности?
2. Опишите существо теории прочности Мора и диаграммы Двиденкова-Фридмана.
3. Укажите основные черты теорий хрупкого разрушения трещиноватых пород.
4. Какова роль термических флуктуаций энергии в формировании прочности горных пород?
5. Охарактеризуйте основные требования к созданию обобщенной теории прочности.

### **Тема №21. Тепловые свойства горных пород**

Удельная и объемная теплоемкость, ее зависимость от температуры. Тепло- и температуропроводность горных пород. Тепловое расширение пород (линейное и объемное). Термические напряжения в горных породах. (Гл. 3, С. 92-102).

*Дополнительная литература:* [4].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Дайте выражение и размерности удельной и объемной теплоемкости.
2. Постройте график зависимости теплоемкости от температуры горных пород. Дайте интерпретацию графика.
3. Дайте формулы и размерность теплопроводности и температуропроводности горных пород.
4. Опишите фононный (решеточный) механизм распространения тепла в горных породах. Поясните, какие факторы определяют изменение теплопроводности с нагревом горных пород.
5. Что называется коэффициентом теплового линейного и объемного расширения?
6. Чем определяются и как выражаются термические напряжения в горных породах?

**Задачи:** 9, 46, 47, 51, 52, 55.

**Тема №22. Электропроводность горных пород**

Электропроводность и электрическое сопротивление горных пород. Механизм электропроводности горных пород: проводников, полупроводников и диэлектриков. Влияние температуры на электропроводность данных типов пород. Методы измерения электрического сопротивления горных пород. (§ 4.1, С. 102-106).

**Дополнительная литература:** [4, 10].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Напишите формулу удельного электрического сопротивления горных пород.
2. Укажите механизм электропроводности проводников и ее зависимость от температуры горных пород.
3. Чем обусловлена электропроводность полупроводников и как она изменяется при нагреве горных пород?
4. Чем определяется электропроводность горных пород – диэлектриков и как она зависит от температуры?
5. Опишите процедуру измерения электрического сопротивления горных пород, используя схему опыта.

**Тема №23. Диэлектрическая проницаемость и поляризация горных пород**

Закон Кулона, диэлектрическая проницаемость и ее физический смысл. Понятие и механизмы поляризации (электронная, ионная, дипольная, макро-структурная, электрохимическая). (§ 4.2, С. 106-109).

**Дополнительная литература:** [4].

**Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что характеризует относительная диэлектрическая проницаемость горных пород и как она связана с силой взаимодействия зарядов (закон Кулона)?

2. Что понимается под поляризацией горной породы?
3. Опишите механизмы электронной, ионной и дипольной поляризации горных пород.
4. Как происходит (специфичная для горных пород) макроструктурная и электрохимическая поляризация?

#### **Тема №24. Диэлектрические потери в горных породах**

Зависимость поляризации от частоты электрического поля. Физика диэлектрических потерь. Эквивалентная схема горной породы и ее векторная диаграмма. Тангенс угла диэлектрических потерь и вывод уравнения удельной мощности диэлектрических потерь. (§ 4.3, С. 109-114).

*Дополнительная литература:* [4].

##### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что называется и чем обусловлены диэлектрические потери в горных породах?
2. С помощью эквивалентной схемы горной породы поясните смысл тангенса угла диэлектрических потерь.
3. Выведите формулу удельного количества теплоты, выделяемой в горной породе за счет диэлектрических потерь.
4. Опишите схему измерения диэлектрических характеристик горных пород.

*Задачи:* 24, 25.

#### **Тема №25. Магнитные свойства горных пород**

Магнитная проницаемость и ее смысл, связь с индукцией поля. Намагничивание горных пород диа- и парамагнетиков. Намагничивание ферромагнетиков (график), намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила. (§ 4.4, С. 114-117).

*Дополнительная литература:* [4, 6].

##### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что характеризует магнитная проницаемость горных пород и как она связана с индукцией и напряженностью магнитного поля?
2. В чем состоит различие в процессе намагничивания горных пород диамагнетиков парамагнетиков?
3. Постройте график намагничивания горной породы-ферромагнетика и поясните смысл показателей: намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила.

#### **Тема №26. Гранулометрический состав разрушенных пород**

Понятие гранулометрического состава, его табличное и графическое изображение (гистограмма, полигон, кумулята). Характеристики грансостава (средний размер куска, коэффициент неоднородности и степень дробления, удельная энергоемкость дробления). Коэффициент разрыхления, насыпная масса и угол естественного откоса разрушенных пород. (§ 5.2.1, С. 122-129).

*Дополнительная литература:* [5, 8].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Как определяется и выражается гранулометрический состав разрушенной породы?
2. Произведите построение и покажите смысл гистограммы, полигона и кумулятивной кривой распределения кусков разрушенной породы по размерам.
3. Что характеризуют и как определяются коэффициент неоднородности, степень и энергоемкость дробления?
4. Что называется коэффициентом разрыхления и как он связан с объемной и насыпной массой горных пород? Какие факторы определяют величину коэффициента разрыхления?
5. Что представляет собой угол естественного откоса разрушенной горной массы?

*Задачи:* 13, 14., 15, 19, 31.

### **Тема №27. Физико-механические свойства разрушенных пород**

Понятие идеально сыпучей и реально разрушенной горной массы. Построение паспорта прочности для данных типов пород. Деформационные характеристики разрушенных пород, модули деформации и спада. (§ 5.2.2, С. 130-132).

*Дополнительная литература:* [5, 8].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Чем отличаются идеально сыпучие от реально разрушенных горных пород?
2. Опишите схему экспериментального построения паспорта прочности разрушенных пород.
3. Постойте и дайте интерпретацию паспортам прочности идеально сыпучей и реально разрушенной горных пород.
4. Постройте графики деформации идеально сыпучей и реально разрушенной горной породы, охарактеризуйте модули деформации и спада.

### **Тема №28. Водно-физические свойства глинистых пород**

Глины, суглинки и супеси. Структура воды в глинистых породах, определение влажности. Сухое, пластичное и текучее состояние глинистых пород, связь с ползучестью пород. Набухание и усадка глин, осмотическая природа набухания. Липкость глин и методы борьбы с налипанием. (§ 5.3.1, С. 132-136).

*Дополнительная литература:* [4, 9].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Что понимается под глинистыми горными породами?
2. Какие виды воды содержатся в глинистых породах, и как определяется ее количество (влажность)?

3. Как зависит состояние глинистых пород от их влажности. Покажите типичные графики ползучести глинистых пород.

4. Что понимается под пределами пластичности и текучести глинистых пород?

5. Опишите физику явлений набухания и усадки глинистых пород. Какими показателями они характеризуются?

6. Как определяется липкость (адгезия) глинистых пород? Укажите методы борьбы с налипанием глин на рабочий инструмент.

**Задачи:** 22.

### **Тема №29. Механические свойства глинистых пород**

Построение паспорта прочности глинистых пород. Деформационные характеристики глин, коэффициенты сжимаемости и компрессии, область их применения. (§ 5.3.2, С. 136-139).

*Дополнительная литература:* [4, 9].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Опишите схему и процедуру построения паспорта прочности глинистых пород.

2. Опишите устройство экспериментальной установки для проведения компрессионных испытаний глинистых пород и поясните схему испытаний.

3. Как и для каких целей определяется коэффициент сжимаемости глинистых пород? Поясните на графике.

4. Что понимается под коэффициентом компрессии глинистых пород? Поясните на графике.

**Задачи:** 29, 30.

### **Тема №30. Мерзлые (криогенные) горные породы**

Структура воды в горных породах и ее характеристики. Изменение объемной массы, скорости волны, теплопроводности и теплоемкости при замораживании пород. Изменение прочности скальных и разрушенных пород при замораживании. Графики деформации скальных и разрушенных пород при положительных и отрицательных температурах. (§ 5.4, С. 140-143).

*Дополнительная литература:* [4, 9].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что понимается под физически связанной, капиллярной и свободной водой в горных породах? Укажите их температуру замерзания.

2. Укажите характер изменения объемной массы, скорости волны, теплопроводности и теплоемкости горных пород при их замораживании.

3. Покажите на графике и охарактеризуйте основные особенности изменения прочности скальных и разрушенных пород при их замораживании.

4. Постройте и опишите графики деформации скальных пород при положительных и отрицательных температурах.

5. Постройте и опишите графики деформации разрушенных (раздельнозернистых) пород при положительных и отрицательных температурах.

**Задачи:** 10.

### **Тема №31. Особенности массива горных пород**

Различие в свойствах массива и образца горных пород, факторы, определяющие это различие. Методы изучения свойств массива горных пород (натурные, косвенные, расчетные), их суть. Понятие и область применения свойств массива горных пород, горной породы в массиве, горной породы в куске (образце). (§ 5.5, С. 143-145).

*Дополнительная литература:* [4].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Какие факторы определяют различие в физических свойствах горных пород в массиве и в образце?
2. Какие методы могут использоваться для определения свойств массива горных пород?
3. Чем различаются следующие понятия: «массив горных пород», «горная порода в массиве» и «горная порода в образце (куске)»?

### **Тема №32. Физические поля в породном массиве**

Напряженно-деформированное состояние (НДС) массива и формирование горного давления. Влияние горного давления на прочность и упругость пород. Роль воды в горных породах. Влияние теплового и электромагнитного полей на свойства пород. (§ 5.6, С. 145-151).

*Дополнительная литература:* [4, 7].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Что понимается под напряженно-деформированным состоянием породного массива?
2. Как влияет горное давление различного по величине уровня на прочностные и упругие свойства горных пород?
3. Охарактеризуйте роль воды при деформации и разрушении горных пород.
4. Как изменяются свойства горных пород при их нагреве?

### **Тема №33. Трещинная структура породных массивов**

Выделение типов массива по слоистости. Слоистость горных пород и коэффициент анизотропии. Характеристики трещин и их особенности. Влияние трещиноватости на свойства горных пород. (§ 5.7, С. 151-153).

*Дополнительная литература:* [4, 7].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Как разделяются породные массивы по слоистости?
2. Как оценивается анизотропия свойств слоистого массива?
3. Укажите показатели, характеризующие трещиноватость породного массива;
4. Как оценивается блочность и трещинная пустотность породного массива?



### **Тема №34. Гидравлические характеристики породных массивов**

Классификация трещин по степени их раскрытия. Характеристики фильтрации жидкости в породный массив. Явление смачиваемости пород и капиллярное движение жидкости. Оценка водопоглощения горных пород. Коэффициент размокания горных пород. (§ 5.8, С. 153-160).

*Дополнительная литература:* [4, 9].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Что понимается под коэффициентом фильтрации и коэффициентом проницаемости породного массива? Как они соотносятся?
2. Опишите характер движения жидкости по капиллярным трещинам массива.
3. Охарактеризуйте механизм смачиваемости пород.
4. Как определяется влагоемкость и водопоглощение горных пород?
5. Как влияет влажность пород на их прочность? Что понимается под коэффициентом размокания?

### **Тема №35. Масштабный эффект в горных породах**

Определение и физика масштабного эффекта в горных породах. Уравнение масштабного эффекта. Физический смысл минимальной и теоретической прочности пород. Показатель масштабного эффекта и способ его определения. (§ 5.9, С. 161-162).

*Дополнительная литература:* [4, 5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Что называется и чем обусловлен масштабный эффект в горных породах?
2. Постройте график и опишите зависимость прочности горных пород от их объема.
3. Напишите уравнение масштабного эффекта и поясните смысл входящих в формулу показателей.
4. Опишите процедуру экспериментального определения показателя масштабного эффекта  $n$ .

*Задачи:* 17.

### **Тема №36. Горно-технологические характеристики пород и породных массивов**

Определение горно-технологических характеристик. Крепость и шкала крепости проф. М.М.Протоdjяконова. Твердость и контактная прочность горных пород. Абразивность пород и методы ее оценки. Другие горно-технологические характеристики и их определение. (§ 5.10, С. 163-167).

*Дополнительная литература:* [4, 5, 8].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Что понимается под горно-технологическими характеристиками пород?
2. Как определяется и в каких пределах изменяется коэффициент крепости горных пород по шкале проф. М.М.Протоdjяконова?

3. Как определяется твердость и чем она отличается от контактной прочности горных пород?
4. Что характеризует и как определяется абразивность горных пород?
5. Опишите методы определения дробимости горных пород.
6. Назовите наиболее употребительные горно-технологические характеристики пород.

**Задачи:** 44, 48.

### **Тема №37. Изучение строения породных массивов**

Классификация методов изучения трещиноватости породных массивов. Прямые методы и их реализация. Описание косвенных методов оценки трещиноватости (при бурении скважин, гидравлическом опробовании, по показателям производственных процессов, электрический и акустический методы). Оценка трещиноватости по извлеченному керну. Обработка результатов измерений трещиноватости. (§ 6.1, С. 168-174).

**Дополнительная литература:** [4, 8].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Охарактеризуйте прямые (непосредственные) методы изучения трещиноватости массива.
2. Назовите основные направления косвенных методов оценки трещиноватости массива.
3. Какими показателями можно оценить трещиноватость массива в ходе бурения разведочных скважин?
4. Охарактеризуйте этапы исследований при изучении трещиноватости массива на обнажениях.
5. Какие параметры характеризуют системы трещин породного массива?

### **Тема №38. Натурные методы изучения свойств массива**

Определение показателей, связанных с распространением энергии. Схема и последовательность определения прочности при сжатии и деформационных характеристик массива. Процедура построения паспорта прочности массива пород. Пенетрационные методы (определение контактной прочности). Скважинные исследования массива. (§ 6.2, С. 175-183).

**Дополнительная литература:** [4, 10].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Какие характеристики массива пород могут определяться в производственных условиях теми же методами, что и в лабораторных условиях?
2. Опишите схему и последовательность определения прочности при сжатии и деформационных характеристик массива горных пород.
3. Опишите схему и последовательность испытаний для построения паспорта прочности массива горных пород.
4. Какие показатели определяются при пенетрационных испытаниях массива?

5. Укажите существо скважинных испытаний при оценке деформационных свойств массива.

**Задачи:** 16.

### **Тема №39. Прогноз свойств горных пород и массивов**

Основы прогноза. Процедура установления взаимосвязей свойств пород. Использование взаимосвязей свойств. Достоинства и недостатки косвенного определения свойств массива. Введение поправок на действующие в массиве физические поля. (§ 6.3, 6.4, С. 183-193).

**Дополнительная литература:** [4, 5].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Укажите существо косвенного метода определения свойств горных пород и массивов.
2. Опишите процедуру корреляционного анализа взаимосвязей свойств горных пород.
3. Каким образом вводятся поправки в уравнения прогноза на действующие в породном массиве физические поля?
4. Укажите достоинства и недостатки методов прогноза свойств пород с помощью их взаимосвязей.

### **Тема №40. Геофизические методы исследования массива**

Классификация геофизических методов. Процедура скважинного каротажа. Использование данных акустического каротажа. Введение поправок на действующее в массиве горное давление. (§ 6.5, С. 194-198).

**Дополнительная литература:** [4, 10].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Опишите наиболее употребительные геофизические методы исследования породного массива.
2. Как осуществляется скважинный (в частности, акустический) каротаж массива?
3. Как можно использовать данные акустического каротажа?
4. Охарактеризуйте методику косвенного определения свойств массива по данным акустического каротажа.

### **Тема №41. Исследование технологических параметров массива**

Критерии эффективности технологических процессов. Формирование критериев буримости горных пород. Оценка взрываемости горных пород. Определение эффективности уборки породы (экскавируемости). (§ 6.6, С. 198-213).

**Дополнительная литература:** [4, 5].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Охарактеризуйте принципы формирования критериев эффективности процессов горного производства.

2. Укажите основные расчетные соотношения для описания процессов бурения шпуров и скважин.

3. Какие расчетные соотношения характеризуют процесс разрушения пород взрывом?

4. Как оценить эффективность погрузки горной породы?

#### **Тема №42. Прогноз устойчивости горных пород в выработках**

Общее условие устойчивости горных пород в выработке. Коэффициент структурного ослабления. Коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки. Вероятностная характеристика безопасности выработки. Вероятностный прогноз устойчивости горных пород в выработке. (§ 6.7, С. 213-219).

*Дополнительная литература:* [5, 7].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Поясните физический смысл уравнения устойчивости горных пород в выработке.

2. Что характеризует и как определяется коэффициент структурного ослабления массива?

3. От каких факторов зависит коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки?

4. Поясните вероятностный смысл характеристики безопасности выработки.

#### **Тема №43. Методы изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива**

Факторы, влияющие на величину горного давления. Метод разгрузки и его реализация. Скважинные методы. Метод компенсационной нагрузки. Достоинства и недостатки методов. Косвенные методы исследования НДС массива. (§ 6.7, С. 219-238).

*Дополнительная литература:* [5, 7, 10].

#### **Контрольные вопросы и упражнения:**

1. Какие факторы нарушают линейное распределение давления по глубине массива?

2. Дайте схему и опишите существо метода разгрузки.

3. Каким образом реализуются скважинные методы изучения НДС массива?

4. На каком принципе основан метод компенсационной нагрузки и поясните схемой.

5. Как реализуется акустический метод исследования НДС массива?

#### **Тема №44. Горные удары и выбросы**

Понятие горных ударов и выбросов. Уравнение энергетического баланса горного удара. Математическое выражение составляющих уравнения

энергетического баланса. Условие внезапных выбросов угля и газа. Запредельное деформирование горных пород и его характеристики. (§ 6.8.3, С. 252-255).

*Дополнительная литература:* [5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Опишите физику возникновения горных ударов и выбросов.
2. Запишите уравнение энергетического баланса горного удара и поясните смысл входящих в него слагаемых.
3. Изобразите график запредельного деформирования горных пород и дайте его интерпретацию.
4. Что называется дилатансией горных пород?
5. Дайте определение модуля спада.

#### **Тема №45. Прогноз и предотвращение горных ударов**

Этапы прогнозирования горных ударов. Определение потенциальной удароопасности горных пород. Локальный прогноз горных ударов: методы дискования керна, вдавливания пуансона и др. Методы предотвращения горных ударов. (§ 6.8.5, 6.8.6, С. 260-272).

*Дополнительная литература:* [5].

*Контрольные вопросы и упражнения:*

1. Опишите последовательность прогноза горных ударов.
2. Укажите два критерия удароопасности горных пород с пояснениями на графике деформации.
3. Охарактеризуйте метод дискования керна как средство прогноза горного удара.
4. Как определяется коэффициент удароопасности при использовании метода вдавливания пуансона?
5. Опишите особенности бурения разгрузочных щелей и камуфлетного взрывания как меры борьбы с горными ударами.

### 3. Контрольные вопросы и задачи

1. Что понимается под структурой и текстурой горных пород и какие их типы можно выделить для горных пород? Кубический образец со стороной 5 см имеет массу 320 г. Определить объемную массу и объемный вес горной породы.

2. Как можно оценить строение массива горных пород по результатам бурения скважин? Горная порода плотностью  $2,8 \text{ г/см}^3$  имеет общую пористость 5%. Определить ее объемную массу, удельный и объемный вес.

3. Опишите основные методы укрепления массива горных пород. На кубический образец со стороной 2 м действует сжимающая нагрузка 5 тонн. Построить круг напряжений Мора и определить нормальные и касательные напряжения в площадке, ориентированной под углом  $30^\circ$  к плоскости нагружения.

4. Опишите классификацию кристаллов по типам сил связи. Для условий предыдущей задачи (№3) определить минимальные и максимальные нормальные и касательные напряжения. Указать, каким площадкам они соответствуют.

5. Опишите основные виды дефектов структуры кристаллов. В массиве горных пород действуют главные напряжения величиной 50, 30 и 15 МПа. Построить круги напряжений, характеризующие объемное напряженное состояние горной породы и определить величину нормальных и касательных напряжений, действующих в площадке, ориентированной под углом  $45^\circ$  к соответствующим осям.

6. Какие типы дислокаций определяют линейные дефекты кристаллов? Опишите механизм их движения и размножения. Определить работу деформирования целлика горной породы сечением  $1,5 \times 1,5 \text{ м}$  и высотой 3 м, если при вертикальном напряжении 25 МПа опускание кровли выработки (деформация целлика) составило 30 мм.

7. Какие показатели характеризуют плотностные свойства горных пород? Определить модуль упругости горной породы для условий предыдущей задачи (№6).

8. Опишите различные виды пористости горных пород. Модуль упругости горной породы составляет 35 ГПа и коэффициент Пуассона – 0,25. Вычислить модуль сдвига и модуль объемного сжатия горной породы в Паскалях и  $\text{кгс/см}^2$ .

9. Охарактеризуйте взаимосвязь нормальных и касательных напряжений в горной породе. Кубический образец горной породы со стороной 5 м при нагревании на  $40^\circ$  расширился во всех направлениях на 20 мм. Вычислить коэффициенты теплового линейного и объемного расширения данной породы.

10. Какие деформации соответствуют нормальным и касательным напряжениям в горной породе? Кубический образец горной породы со сто-

роной 5 см имеет прочность при сжатии 120 МПа. После 25 циклов замораживания и оттаивания образец разрушился при нагрузке 22 тонны. Является ли данная порода морозостойкой?

11. Как разделяются горные породы по характеру их деформирования? Покажите типичные графики деформации. Определить объем пор в кубическом образце горной породы, если ее общая пористость составляет 4 %, а сторона куба 5 см.

12. Опишите физические основы действия поверхностно-активных веществ на горные породы. Целик высотой 3 м, поддерживающий кровлю выработки, под действием вертикального давления в 30 МПа перешел в стадию незатухающей ползучести. Определить, на сколько миллиметров опустится кровля выработки за первые сутки, если модуль упругости породы – 4 ГПа, период релаксации -  $5 \cdot 10^4$ с.

13. Как определить работу деформирования горных пород? При разрушении горных пород взрывом получен следующий гранулометрический состав разрушенной породы

|                   |        |       |       |       |       |       |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Размер кусков, см | 0 - 10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 |
| Масса фракции, т  | 2      | 5     | 15    | 12    | 4     | 2     |

Построить гистограмму и полигон распределения кусков по размерам.

14. Опишите упругие свойства горных пород и их взаимосвязь. По данным задачи №13 построить кумулятивную кривую грансостава разрушенной породы, определить средний размер куска, коэффициент неоднородности дробления и степень дробления, если объемная масса взорванной породы составляет  $2,8 \text{ г/см}^3$ .

15. Как распределяются напряжения в горных породах вокруг выработки? Покажите эпюры напряжений. Транспортировка руды осуществляется думпкарами вместимостью  $20 \text{ м}^3$ . Какова должна быть их минимальная грузоподъемность, если объемная масса руды  $3,5 \text{ г/см}^3$  и коэффициент разрыхления – 1,8?

16. Укажите зависимость скорости распространения продольных и поперечных волн от упругих свойств горных пород и размеров образца. При испытаниях горной породы на срез со сжатием в шахтных условиях получены следующие результаты: при углах среза 60; 45; 30 градусов прочность на срез составила, соответственно, 10; 25; 35 МПа. Построить паспорт прочности и определить величину сцепления массива горных пород.

17. Чем определяется и как оценивается затухание упругих колебаний в горных породах? Определить показатель масштабного эффекта, если при испытании кубических образцов горной породы размерами 2 и 4 см их прочность составила соответственно 54 и 38 МПа.

18. Опишите физическую сущность горных ударов и выбросов пород. Определить динамический модуль сдвига горной породы с объемной массой

2,7 г/см<sup>3</sup>, если скорость распространения в ней поперечных упругих волн составляет 3800 м/с.

19. Дайте сравнительную оценку статического и динамического методов определения упругих свойств горных пород. При проходке горной выработки сечением 8 м<sup>2</sup> продвижение забоя за цикл составляет 2 м. Сколько вагонеток вместимостью 1,5 м<sup>3</sup> потребуется для уборки взорванной породы, если ее коэффициент разрыхления – 1,8?

20. Как влияет скорость приложения нагрузки на упругие свойства горных пород и чем определяется различие в величине статических и динамических показателей? Определить величину вертикальных и горизонтальных напряжений в массиве на глубине 800 м, если средний объемный вес пород составляет 2,5 г/см<sup>3</sup> и коэффициент Пуассона – 0,25.

21. Укажите основные критерии прочности горных пород и условия их применения. Построить график деформации упруго-пластичной породы, если ее прочность при сжатии составляет 150 МПа, предел упругости – 100 МПа, а упругая продольная деформация – 0,002 составляет половину от полной (разрушающей). Показать на графике и вычислить величины модуля упругости, модуля пластичности и модуля полной деформации.

22. Опишите существо теории прочности Мора и укажите физическую сущность огибающей предельных кругов напряжений. Глинистая порода с массой минерального скелета 2 кг переходит в пластичное состояние при увлажнении до увеличения массы в 2,3 кг и в текучее – до 2,8 кг. Определить пределы пластичности, текучести и число пластичности данной породы.

23. Опишите процедуру построения паспорта прочности горных пород с его графической иллюстрацией. Вычислить величину основных упругих характеристик горной породы (модули упругости, сдвига, объемного сжатия, коэффициент Пуассона), если известны скорость распространения продольной – 5000 м/с и поперечной – 2800 м/с волны в массиве; объемная масса породы – 2,8 г/см<sup>3</sup>.

24. Что называется сцеплением и углом внутреннего трения горных пород? Укажите их положение на графике паспорта прочности. Определить количество теплоты, которое выделится в образце породы размерами 50x50x50 см в переменном электрическом поле напряженностью 2000 В/м и частотой 1 МГц, если относительная диэлектрическая проницаемость горной породы – 3,5 и тангенс угла потерь – 0,25.

25. Опишите механизмы пластичности горных пород. Какое количество тепла выделится в кубическом образце горной породы со стороной 20 см в переменном электрическом поле напряженностью 5000 В/м и частотой 15 кГц, если относительная диэлектрическая проницаемость пород составляет 5,6 и тангенс угла диэлектрических потерь – 0,3?

26. Дайте определение предела упругости и модулей упругости, пластичности, полной деформации. Укажите их положение на графике деформации. Вычислить электрическое сопротивление кубического образца горной



породы со стороной 20 см, если ее удельное электросопротивление составляет 600 Ом·м.

27. Что называется коэффициентом пластичности и коэффициентом хрупкости, как они связаны с работой разрушения горных пород? Определить максимальный размер горной породы, при котором еще выполняется условие стержня, если скорость продольной волны в ней составляет 4500 м/с и частота колебаний 25 кГц.

28. На основании модели упруго-пластичного тела (модель Максвелла) опишите характерные этапы затухающей и незатухающей ползучести горных пород. Определить величину напряжений на контуре горной выработки, пройденной на глубине 420 м, если средний объемный вес вышележащих пород составляет 2,8 г/см<sup>3</sup>, коэффициент Пуассона – 0,3 и коэффициент концентрации напряжений – 2,2.

29. Дайте вывод основного уравнения реологии и укажите его применимость к процессу ползучести горных пород. При испытании глинистой породы на срез со сжатием при нормальных сжимающих напряжениях  $\sigma = 0; 5; 10; 15$  МПа получены следующие значения прочности породы на срез, соответственно,  $\tau_c = 3; 10; 15; 16$  МПа. Построить паспорт прочности глинистой породы.

30. Что называется релаксацией напряжений и чем она обусловлена в горных породах? При компрессионных испытаниях кубического образца глинистой породы размером 5 см получены следующие данные: при напряжениях 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 кгс/см<sup>2</sup> образец показал продольную деформацию, соответственно, 2; 4; 8; 16 мм. Построить график деформации и определить величину коэффициента сжимаемости глинистой породы.

31. Что понимается под длительной прочностью горных пород? Как она соотносится с ползучестью? Определить нагрузку на прицепное устройство скипа вместимостью 11 м<sup>3</sup> при подъеме полезного ископаемого с объемной массой 3,2 г/см<sup>3</sup>, если коэффициент разрыхления составляет 1,8 и собственная масса скипа 11 тонн.

32. Опишите основные горнотехнологические характеристики пород. При динамическом нагружении горной породы ее относительная продольная деформация в 4 раза превышает поперечную. Во сколько раз скорость продольной волны в массиве этих пород больше скорости поперечной волны?

33. Охарактеризуйте методы локального прогноза горных ударов. До какого значения снизятся за двое суток напряжения на контуре жестко закрепленной горной выработки, если начальное напряжение составляет 80 МПа, период релаксации -  $4 \cdot 10^5$  с.

34. Дайте определение теплоемкости горных пород. Как она зависит от температуры и влажности пород? Разрушение кубического образца горной породы со стороной 5 см произошло при вертикальной нагрузке 8 тонн и боковой – 5 тонн. Определить предельное касательное напряжение, действовавшее в площадке под углом 30° к горизонтальной плоскости.

34. Охарактеризуйте механизм передачи тепла в горных породах, дайте определения теплопроводности и температуропроводности. Определить критическую глубину разработки, на которой возникает возможность горных ударов, если прочность при растяжении горных пород составляет 25 МПа, коэффициент структурного ослабления – 0,8, коэффициент концентрации напряжений – 1,8, средний объемный вес пород – 2,5 гс/см<sup>3</sup>, а тектонические напряжения в массиве пренебрежимо малы.

36. Опишите тепловое расширение и возникновение термических напряжений в горных породах. На расстоянии 20 м от источника энергия (амплитуда) упругой волны уменьшилась в 5 раз. Определить коэффициент затухания волны для данных условий.

37. Опишите механизм электропроводности горных пород проводников, полупроводников и диэлектриков. Определить удельную работу хрупкого разрушения горной породы, если ее прочность составляет 150 МПа, а модуль упругости – 60 ГПа.

38. Что называется относительной диэлектрической проницаемостью? Как она характеризует поляризацию горных пород? Определить прочность горной породы при одноосном растяжении, если огибающая кругов предельных напряжений принята в виде прямой с углом внутреннего трения 35° и величиной сцепления – 40 МПа. Построить паспорт прочности.

39. Опишите основные механизмы поляризации горных пород. Прочность горной породы при одноосном растяжении составила 25 МПа, при одноосном сжатии – 150 МПа. Построить паспорт прочности и определить величину сцепления и угла внутреннего трения данной породы.

40. Что представляют собой диэлектрические потери в горных породах? Модуль пластичности горной породы составляет 25 ГПа, предел упругости – 40 МПа. Определить прочность при сжатии данной породы, если при ее разрушении общая относительная продольная деформация составила 0,0015, а упругая – 0,0005. Построить график деформации.

41. Выведите формулу для расчета процесса нагревания горных пород в переменном электрическом поле. Определить удельную работу разрушения горной породы, если ее прочность составляет 60 МПа, модуль упругости – 4 ГПа, коэффициент пластичности – 2,2.

42. Укажите особенности намагничивания горных пород диа-, пара- и ферромагнетиков. Определить величину сцепления горной породы при линейной огибающей кругов напряжений Мора, если угол внутреннего трения породы 45° и разрушение произошло при нормальных и касательных напряжениях, соответственно, 25 и 60 МПа. Построить паспорт прочности.

43. Что называется гранулометрическим составом разрушенных горных пород? Дайте графическое изображение гистограммы и полигона распределения кусков горной породы по размерам. Определить предел упругости горной породы, если ее разрушение произошло при напряжении 35 МПа и относительной пластической деформации 0,002. Модуль пластичности горной породы – 5 ГПа.

44. Укажите основные характеристики гранулометрического состава разрушенных пород. Построить графики зависимости коэффициентов крепости (основного и модернизированного) от прочности горных пород при сжатии в интервале от 0 до 400 МПа. Оценить разницу в коэффициентах при  $\sigma_{сж} = 50$  и 150 МПа.

45. Что называется коэффициентом разрыхления горных пород, от каких факторов зависит его величина? Рассчитать и показать на графике изменение отношения скоростей продольной и поперечной волн ( $C_M/C_S$ ) при изменении коэффициента Пуассона от 0,1 до 0,5, если все прочие показатели остаются неизменными.

46. Опишите процедуру построения паспорта прочности разрушенных горных пород. Какое количество тепла получит кубический образец горной породы со стороной 4 см нагретый на  $20^0$ , если объемная теплоемкость породы  $1,8 \text{ кДж/м}^3\text{К}$ ?

47. Как определяются деформационные характеристики разрушенных пород? Какое количество тепла проходит через стержень горной породы сечением  $10 \times 10$  см за 5 минут при градиенте температур 3 град/м, если коэффициент теплопроводности породы составляет  $5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ?

48. Укажите основные принципы и методы борьбы с горными ударами и выбросами. Определить контактную прочность горной породы, если при внедрении штампа диаметром 3 мм разрушающая нагрузка составила 8 кН.

49. Как изменяется состояние глинистых пород в зависимости от их влажности? Вычислить коэффициент хрупкости горной породы с модулем упругости 50 ГПа, если ее общая работа разрушения составила  $20 \text{ кДж/м}^3$ , а предел упругости – 30 МПа.

50. Опишите механизмы набухания и липкости (адгезии) глинистых пород. Целик горной породы высотой 2,5 м разрушился при напряжении 150 МПа и продольной деформации 8 мм. Вычислить модуль общей (полной) деформации горной породы.

51. Опишите процедуру построения паспорта прочности глинистых пород. Определить объемную теплоемкость горной породы, если на цилиндрическом образце диаметром 6 см, высотой 15 см и массой 1,2 кг определена удельная теплоемкость  $700 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ .

52. Укажите существо компрессионных испытаний глинистых пород и деформационные характеристики глин. Определить удельный тепловой поток в горной породе, если перепад температур на 1 м составляет  $5^0$  и коэффициент теплопроводности –  $1,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ .

53. Как изменяются деформационные характеристики скальных и раздельнозернистых пород при замораживании? Построить график зависимости коэффициента Пуассона от отношения скоростей распространения в горной породе продольной волны в массиве и стержне ( $C_M/C_{ст}$ ) в диапазоне от 1 до 3.

54. Как изменяется прочность влажных горных пород в области отрицательных температур? Определить скорость распространения в массиве пород поперечной волны, если скорость продольной волны составляет 5500 м/с и коэффициент Пуассона – 0,3.

55. Почему свойства массива отличаются от свойств слагающих его горных пород (в образце)? На сколько градусов следует нагреть горную породу для ее разрушения, если прочность ее составляет 25 МПа, модуль упругости – 40 ГПа и коэффициент теплового линейного расширения -  $5 \cdot 10^{-5}$  1/К?

56. Опишите процедуру построения паспорта прочности массива горных пород по результатам натурных испытаний. Продольная упругая волна в тонком стержне длиной 25 см распространяется за  $4 \cdot 10^{-5}$  с. Вычислить динамический модуль упругости горной породы, если ее плотность –  $2,5 \text{ г/см}^3$ .

57. Что называется масштабным эффектом? Чем он обусловлен в горных породах? Объемная масса горной породы  $2,7 \text{ г/см}^3$ , модуль упругости – 50 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,25. Вычислить скорость распространения продольной волны в массиве и стержне данной породы. На образцах какого размера могут быть получены эти данные, если частота упругих колебаний составляет 60 кГц?

58. Укажите общие принципы косвенных методов оценки свойств массива горных пород. Вычислить электрическую емкость  $1 \text{ м}^3$  горной породы, если ее относительная диэлектрическая проницаемость составляет 4,5.

59. Как влияет горное давление и влажность на свойства горных пород? При нагружении горной породы до 80% ее прочности ( $\sigma_{сж} = 150 \text{ МПа}$ ) относительная продольная деформация составила 0,005. Является ли данная порода потенциально удароопасной, если ее модуль упругости – 40 ГПа и предел упругости – 70 МПа? Проиллюстрировать вывод графиком деформации горной породы.

60. Как оценивается трещиноватость массива горных пород? Горная порода с модулем упругости 16 ГПа разрушилась при напряжении 50 МПа. Определить удельную работу разрушения породы, если ее коэффициент пластичности составляет 1,8.

## Рекомендуемая литература

1. Латышев О. Г., Казак О. О. Физика горных пород: Учебник. – Екатеринбург, Изд УГГУ, 2014. – 277 с.
2. Латышев О. Г., Анохина О. О., Азанов М.А. Физика горных пород. Учебно-методическое пособие к лабораторным работам для студентов всех специальностей направления 130400 «Горное дело». – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2010. – 60 с.
3. Латышев О. Г. Физика горных пород. Мультимедийные средства обучения: Учебно-методическое пособие для студентов всех специальностей направления 130400 «Горное дело». – Екатеринбург: УГГУ, 2010.
4. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород: Учебник. – М.: Кн. дом «ЛИБЕРКОМ», 2010. – 360 с.
5. Латышев О. Г. Разрушение горных пород. – М.: Теплотехник, 2007. – 672 с.
6. Бушманов Б. Н., Хромов Ю. А. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 1971. – 224с.
7. Баклашов И. В. Геомеханика: - Т.1. Основы геомеханики. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 208 с.
8. Барон Л. И. Горнотехнологическое породоведение. Предмет и способы исследований. – М.: Наука, 1977. – 324 с.
9. Панюков П. Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 296 с.
10. Ямщиков В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982. – 296 с.