

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

\_\_\_\_\_  
Руководитель ОПОП ВО  
профессор А.Г. Протосеня

\_\_\_\_\_  
Проректор по образовательной  
деятельности  
Д.Г. Петраков

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

***МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОМ ДЕЛЕ***

<b>Уровень высшего образования:</b>	Специалитет
<b>Специальность:</b>	21.05.04 Горное дело
<b>Направленность (профиль):</b>	Строительство горных предприятий и подземных сооружений
<b>Квалификация выпускника:</b>	горный инженер (специалист)
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Составитель:</b>	доцент Карасев М.А.

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Моделирование физических процессов в горном деле»**  
разработана:

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО – специалитет по специальности «21.05.04 Горное дело», утвержденного приказом Минобрнауки России № 987 от 12 августа 2020 г.;

- на основании учебного плана специалитета по специальности «21.05.04 Горное дело» направленность (профиль) «Строительство горных предприятий и подземных сооружений».

Составитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Карасев М.А.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена** на заседании кафедры Строительства горных предприятий и подземных сооружений от 26.01.2021 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Протосеня А.Г.

**Рабочая программа согласована:**

Начальник отдела лицензирования, аккредитации и контроля качества образования \_\_\_\_\_ к.п.н. Дубровская Ю.А.

Начальник отдела методического обеспечения учебного процесса \_\_\_\_\_ к.т.н. Романчиков А.Ю.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель дисциплины** «Моделирование физических процессов в горном деле»: освоение основ прикладной информатики и навыков работы с ПЭВМ при практических расчетах напряженно-деформированного состояния массива пород вокруг горных выработок и подземных сооружений методом конечных элементов (МКЭ).

**Основные задачи дисциплины** «Моделирование физических процессов в горном деле»:

- изучение численных методов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород, их сущности и области применения;
- овладение навыками расчета смещений и напряжений в массиве методом МКЭ и интерпретирование полученных результатов;
- формирование представления о математическом моделировании физических процессов, происходящих в массиве при строительстве подземных и открытых выработок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Моделирование физических процессов в горном деле» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы по специальности «21.05.04 Горное дело», направленность (профиль) «Строительство горных предприятий и подземных сооружений» и изучается в 6, 7 семестрах.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Моделирование физических процессов в горном деле» являются: «Введение в специальность», «Физика», «Введение в информационные технологии», «Геомеханика».

Дисциплина «Моделирование физических процессов в горном деле» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Инженерная геология и механика грунтов», «Механика подземных сооружений», «Аэрология подземных сооружений».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование физических процессов в горном деле» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способность производить анализ инженерных изысканий и технико-экономическую оценку условий строительства сооружений; выбирать объемно-планировочные решения и основные параметры инженерных конструкций подземных объектов, производить их расчет на прочность, устойчивость и деформируемость, выбирать материалы для инженерных конструкций подземных и горно-технических зданий и сооружений на поверхности	ПКС-3	ПКС-3.1. Знать методы анализа инженерных изысканий для и технико-экономической оценки условий строительства сооружений; способы выбора объемно-планировочных решений, материалов и методы расчета инженерных конструкций подземных объектов. ПКС-3.2. Уметь анализировать результаты инженерных изысканий; производить технико-экономическую оценку условий строительства сооружений; выбирать объемно-планировочные решения, материалы и основные параметры инженерных конструкций подземных объектов. ПКС-3.3. Владеть методами оценки результатов инженерных изысканий, условий строительства сооружений; владеть навыками выбора объемно-планировочных решений подземных сооружений и методами расчета конструкций подземных объектов.

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способность применять модели упругого и неупругого деформирования горных пород и массивов для прогноза оседания земной поверхности и оценки несущей способности конструкций подземных сооружений, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований	ПКС-6	<p>ПКС-6.1. Знать современные представления о физических полях и процессах, формирующих напряженно-деформированное состояние природных и техногенных массивов; модели упругого и неупругого деформирования сред.</p> <p>ПКС-6.2. Уметь применять современные методики прогноза оседания земной поверхности и напряженно-деформированного состояния массива вокруг горной выработки, в том числе использовать современные программные комплексы.</p> <p>ПКС-6.3. Владеть методами и средствами определения физико-механических свойств горных пород в лабораторных и полевых условиях; методиками геомеханического обоснования параметров строительства, эксплуатации подземных сооружений, крепей горных выработок и подземных сооружений с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования.</p>

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 5 зачётных единиц, 180 ак. часов.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам	
		6	7
<b>Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>100</b>	<b>32</b>	<b>68</b>
Лекции (Л)	50	16	34
Практические занятия (ПЗ)	50	16	34
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:</b>	<b>80</b>	<b>22</b>	<b>58</b>
Подготовка к лекциям	25	8	17
Подготовка к практическим занятиям	34	8	26
Подготовка к зачету / дифф. зачету	21	6	15
<b>Промежуточная аттестация – зачет (З), дифф. зачет (ДЗ)</b>	<b>3, ДЗ</b>	<b>3</b>	<b>ДЗ</b>
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>			
<b>ак. час.</b>	<b>180</b>	<b>54</b>	<b>126</b>
<b>зач. ед.</b>	<b>5</b>	<b>1,5</b>	<b>3,5</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия и самостоятельная работа.

#### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента
Раздел 1 «МКЭ – как один из численных методов решения задач механики сплошной среды»	27	8	8	-	11
Раздел 2 «Математическая основа МКЭ на примере треугольного элемента в двумерных (плоских) задачах»	27	8	8	-	11
Раздел 3 «Практическое применение МКЭ»	8	2	-	-	6
Раздел 4 «Математическое моделирование механического поведения грунтов и горных пород»	31	8	10	-	13
Раздел 5 «Моделирование развития геомеханических процессов при строительстве тоннелей и подземных сооружений глубокого заложения»	29	8	8	-	13
Раздел 6 «Моделирование развития геомеханических процессов при строительстве глубоких котлованов»	25	4	8	-	13
Раздел 7 «Моделирование развития геомеханических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых»	33	12	8	-	13
<b>Итого:</b>	<b>180</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>-</b>	<b>80</b>

#### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	МКЭ – как один из численных методов решения задач механики сплошной среды.	<b>Тема 1.</b> Геомеханические модели массива горных пород. Приближенные численные методы решения задач. Понятие о методе конечных элементов (МКЭ). Численные модели подземных сооружений.	2
2		<b>Тема 2.</b> Условия равновесия и сплошности материала в каждой рассматриваемой точке массива. Уравнения равновесия и совместности деформаций. Замена бесконечной области массива горных пород конечной, дискретизация рассматриваемой области (разбиение ее на конечное количество элементов). Сеть конечных элементов (элементы, узлы элементов). Граничные условия, граничные узлы.	2
3		<b>Тема 3.</b> Конечно-элементная модель, "кусочное" решение описывающих уравнений. Типы конечных элементов, двух- и трехмерные (пространственные) задачи механики сплошной среды, порядок элемента. Область применения и особенности рассмотренных типов элементов, особые типы элементов для решения специфических задач.	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
4		<b>Тема 4.</b> Связь между напряжениями внутри элемента и узловыми силами. Виртуальное перемещение. Принцип виртуальных перемещений.	2
5	Математическая основа МКЭ на примере треугольного элемента в двумерных (плоских) задачах.	<b>Тема 1.</b> Понятия матрица, матрица-вектор, элементы матрицы. Единичная матрица, квадратная матрица. Определитель, решение систем линейных уравнений с помощью определителей. Некоторые правила действий над матрицами: сложение матриц, умножение матриц, транспонирование матриц. Понятия минор, алгебраическое дополнение, матрица союзная исходной, обратная матрица.	2
6		<b>Тема 2.</b> Основные уравнения теории упругости: уравнения равновесия и уравнения (условия) совместности деформаций. Компоненты узловых сил, компоненты узловых перемещений. Основные уравнения теории упругости в условиях плоской деформации. Закон Гука в матричной форме.	3
7		<b>Тема 3.</b> Вектор узловых сил, вектор узловых перемещений, их взаимосвязь посредством матрицы жесткости элемента (МЖЭ). Матрица жесткости системы треугольных элементов (МЖС).	3
<b>Итого 6 семестр:</b>			<b>16</b>
8	Практическое применение МКЭ.	<b>Тема 1.</b> Примеры из практики расчета конструкций подземных сооружений определение параметров напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего подземные сооружения, расчет напряженно-деформированного состояния массива вокруг параллельных выработок, моделирование конструкций крепей горных выработок.	2
9	Математическое моделирование механического поведения грунтов и горных пород	<b>Тема 1.</b> Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Основные уравнения теории упругости, пластичности, ползучести. Условия пластичности и пластического течения. Реологические модели материалов.	2
10		<b>Тема 2.</b> Математические основы моделирования механического поведения грунтов и горных пород. Классификация моделей деформирования грунтов и горных пород. Особенности разработки моделей деформирования грунтов и горных пород. Теория пластического течения и деформационная теория пластичности применительно к моделям деформирования грунтов и горных пород.	2
11		<b>Тема 3.</b> Модели деформирования грунтов. Модель Кулона-Мора. Шатровые модели деформирования грунтов. Модели упрочняющихся сред. Продвинутое моделирование механического поведения грунтов.	2
		<b>Тема 4.</b> Модели деформирования горных пород. Модель, основанная на условии пластичности Хока-	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		Брауна. Модель трещиноватой среды с заданным направлением ослабления. Дискретно-сплошное представление горных пород.	
12	Моделирование развития геомеханических процессов при строительстве тоннелей и подземных сооружений	<b>Тема 5.</b> Принципы построения численных моделей прогноза строительства тоннелей горным способом. Компоненты численной модели. Граничные и начальные условия. Особенности моделирования изменения НДС в окрестности тоннеля в плоско-деформационной и пространственной постановках. Оценка устойчивости тоннеля на основании численных методов анализа.	4
13	глубокого заложения	<b>Тема 6.</b> Принципы построения численных моделей прогноза строительства тоннелей щитовым способом. Компоненты численной модели. Граничные и начальные условия. Особенности моделирования изменения НДС в окрестности тоннеля, сооружаемого щитовым способом, в плоско-деформационной и пространственной постановках. Особенности прогноза оседания земной поверхности при строительстве тоннелей щитовым комплексом.	4
14	Моделирование развития геомеханических процессов при строительстве глубоких котлованов	<b>Тема 7.</b> Принципы построения численных моделей и прогноз деформаций при строительстве глубоких котлованов. Компоненты численной модели. Граничные и начальные условия. Особенности моделирования изменения НДС в окрестности глубокого котлована в плоско-деформационной и пространственной постановках. Идеализация несущих конструкций глубоких котлованов при численном моделировании. Оценка устойчивости котлована на основании численных методов анализа.	4
15	Моделирование развития геомеханических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых	<b>Тема 8.</b> Принципы построения численных моделей прогноза зон хрупкого разрушения в окрестности горных выработок и камер большого поперечного сечения. Механизм хрупкого разрушения пород в окрестности горной выработки. Численное моделирование процесса хрупкого разрушения пород в окрестности горной выработки в рамках механики сплошной среды. Численное моделирование хрупкого разрушения пород в окрестности горной выработки в рамках механики дискретной среды.	3
16		<b>Тема 9.</b> Принципы построения численных моделей для прогноза развития геомеханических процессов при разработке рудных месторождений. Формирование крупномасштабных моделей. Принцип перехода от большего масштаба к меньшему. Прогноз развития НДС породного	3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		массива при разработке месторождений полезных ископаемых с применением численных методов анализа.	
17		<b>Тема 10.</b> Принципы построения численных моделей для прогноза развития геомеханических процессов при разработке пластовых месторождений. Формирование начального поля напряженного состояния. Принципы формирования контактного взаимодействия между отдельными геологическими элементами пластового месторождения. Моделирования развития НДС породного массива при разработке пластовых месторождений.	3
<b>Итого 7 семестр:</b>			<b>34</b>
<b>Итого:</b>			<b>50</b>

#### 4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Разделы	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 1	Программа PLAXIS для расчета напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов методом конечных элементов. Постановка ознакомительной задачи, подготовка данных, расчет и интерпретация результатов.	8
2	Раздел 2	Оценка устойчивости породного откоса. Постановка ознакомительной задачи, подготовка данных, расчет и интерпретация результатов.	8
<b>Итого 6 семестр:</b>			<b>16</b>
3	Раздел 4	Расчет напряженно-деформированного состояния элементарного объема на основании изотропной и трансверсально-изотропной моделей среды	2
4		Построение поверхности пластического течения Мизеса и Друкера-Прагера	2
5		Прогноз развития напряженно-деформированного состояния грунта на основании продвинутых моделей деформирования среды	2
6		Особенности применение математических моделей деформирования для решения практических задач механики грунтов и горных пород	4
7	Раздел 5	Расчет напряженно-деформированного состояния грунтового массива при строительстве тоннеля мелкого заложения. Постановка ознакомительной задачи, подготовка данных, расчет и интерпретация результатов	4
8		Расчет напряженного состояния обделки тоннеля, сооружаемого горным способом	2
9		Прогноз оседания земной поверхности при строительстве тоннеля щитовым способом	2
10	Раздел 6	Расчет напряженно-деформированного состояния грунтового массива при поэтапном строительстве котлована с применением технологии "стена в грунте". Постановка ознакомительной задачи, подготовка данных, расчет и	4



№ п/п	Разделы	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
		интерпретация результатов.	
11		Оценка устойчивости породного обнажения по допустимым деформациям	2
12		Оценка устойчивости породного обнажения по фактору напряженности	2
13	Раздел 7	Прогноз хрупкого разрушения в окрестности горной выработки	4
14		Прогноз устойчивости потолочины при разработке месторождений полезных ископаемых	4
<b>Итого 7 семестр:</b>			<b>34</b>
<b>Итого:</b>			<b>50</b>

#### 4.2.4. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены.

#### 4.2.5. Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся. Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

- с овладеть умениями и навыками решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне зачета, дифф.зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

**Раздел 1. МКЭ – как один из численных методов решения задач механики сплошной среды**

1. На чем основаны аналитические методы решения задач?
2. На чем основаны численные методы решения задач?
3. Что отражает название "Метод конечных элементов" (МКЭ)?

4. Что в методе конечных элементов подразумевают под "элементами"?
5. Что означает термин "дискретизация области"?
6. Как организовано взаимодействие элементов в МКЭ?
7. Определите понятие "граничные условия" в МКЭ.
8. Что такое порядок элемента?
9. От чего в МКЭ зависит точность искомых величин?
10. Имеет ли физический смысл разбиение рассматриваемой области на элементы в МКЭ?

**Раздел 2. Математическая основа МКЭ на примере треугольного элемента в двумерных (плоских) задачах.**

1. В чем отличие "матрицы" от "вектора"?
2. Как организовано взаимодействие элементов в МКЭ?
3. В каком случае матрицу называют симметричной относительно главной диагонали?
4. Какое условие должно выполняться при умножении матриц?
5. Какой смысл в теории упругости имеют уравнения равновесия?
6. Могут ли узловые силы элемента являться внутренними силами системы?
7. Чем определяется число различных матриц жесткости элемента в одной задаче?
8. Влияет ли количество элементов в элементной сетке на размер матрицы жесткости системы?
9. Как связаны между собой матрица жесткости элемента и матрица жесткости системы?
10. Сколько компонент перемещений имеет узел плоского треугольного элемента?

**Раздел 3. Практическое применение МКЭ.**

1. Какова размерность напряжений?
2. Каков ранг матрицы жесткости элемента для плоского треугольного элемента, если система состоит из 100 элементов?
3. Что такое интенсивность напряжений?
4. Какую взаимосвязь устанавливает закон Гука?
5. Как называется графическое изображение прочности горных пород при всевозможных видах напряженного состояния?
6. Что понимается под термином траектория нагружения?
7. Влияет ли количество элементов в элементной сетке на размер матрицы жесткости системы?
8. Какие виды нелинейности встречаются при решении задач геомеханики?
9. Для чего используются модели поведения (деформирования) материала, сформулированные в рамках механики сплошной среды?
10. Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Кулона-Мора (классическая постановка)?

**Раздел 4. Математическое моделирование механического поведения грунтов и горных пород**

1. Какой вид нелинейности возникает при решении фильтрационных задач с неустановившимся режимом фильтрации?
2. К какому виду нелинейности относиться расчет, если перемещения конструкции вызывают значительные изменения ее геометрии, так что уравнения равновесия приходится составлять с учетом изменения формы и размеров рассматриваемого объекта?
3. Какой вид нелинейности наиболее важен при решении задач геомеханики?
4. При проведении трехосных стабилметрических испытаний в каких осях чаще всего представляют результаты деформирования породы?
5. Что понимается под термином траектория нагружения?
6. При проведении сдвиговых испытаний в каких осях чаще всего представляют результаты деформирования породы?
7. Какой вид испытаний используется для изучения изменения объема (уменьшения) материала при сжатии?

8. Для чего используются модели поведения (деформирования) материала, сформулированные в рамках механики сплошной среды?
9. Какая последовательность должна быть выбрана при обосновании параметров модели поведения материалов?
10. В каких случаях грунты принято рассматривать как однофазную среду?

**Раздел 5. Моделирование развития геомеханических процессов при строительстве тоннелей и подземных сооружений глубокого заложения**

1. Как называется графическое изображение прочности горных пород при всевозможных видах напряженного состояния?
2. Как называется аналитическое выражение прочности горных пород при всевозможных видах напряженного состояния?
3. Как называется увеличение объема материала при пластическом сдвиге?
4. Какой вид испытаний используется для изучения изменения объема (уменьшения) материала при сжатии?
5. Для чего используются модели поведения (деформирования) материала, сформулированные в рамках механики сплошной среды?
6. Как называется увеличение объема материала при пластическом сдвиге?
7. Какой вид испытаний используется для изучения изменения объема (уменьшения) материала при сжатии?
8. В каких случаях необходимо проводить циклические испытания материала?
9. При каком условии процесс нагружения водонасыщенных грунтов не сопровождается формированием избыточного порового давления?
10. При каком условии процесс нагружения водонасыщенных грунтов сопровождается формированием избыточного порового давления?

**Раздел 6. Моделирование развития геомеханических процессов при строительстве глубоких котлованов**

1. В каких горных породах при статическом монотонном нагружении формируется избыточное поровое давление?
2. Какой показатель влияет на форму поверхности пластического течения в девиаторной плоскости?
3. Как называется функция, которая ограничивает область допустимых напряжений от области недопустимых?
4. Как называется функция, которая определяет направление развития пластических деформаций?
5. Как называется показатель, который определяет величину приращения пластических деформаций?
6. Что представляет собой (геометрически) условие пластичности Друкера-Прагера в пространстве главных напряжений?
7. Что представляет собой (геометрически) условие пластичности Кулона-Мора в пространстве главных напряжений?
8. Приведите уравнение, которое соответствует условию пластичности Кулона-Мора.
9. Приведите уравнение, которое соответствует условию пластичности Друкера-Прагера.
10. Каковы параметры модели поведения среды, основанной на условии пластичности Кулона-Мора?

**Раздел 7. Моделирование развития геомеханических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых**

1. Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Кулона-Мора (классическая постановка)?
2. Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Друкера-Прагера (классическая постановка)?
3. Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Мизеса (классическая постановка)?

4. Как определяется модуль деформации породы?
5. Как определяется коэффициент поперечной деформации породы?
6. Каков показатель, определяющий величину приращения пластических деформаций?
7. Что понимается под ассоциированным законом пластического течения?
8. Каково соотношение между углом дилатансии и углом внутреннего трения приводит к ассоциированному закону пластического течения для модели среды основанной на условии пластичности Кулон-Мора?
9. Что такое «средние напряжения»?
10. Что подразумевают под одометрическим сжатием?

**6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (зачета, дифф.зачета)**

**6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к зачету, дифф.зачету (по дисциплине):**

1. Что отражает название "Метод конечных элементов" (МКЭ)?
2. Что в методе конечных элементов подразумевают под "элементами"?
3. Что означает термин "дискретизация области"?
4. Как организовано взаимодействие элементов в МКЭ?
5. Определите понятие "граничные условия" в МКЭ.
6. Что такое порядок элемента?
7. Имеет ли физический смысл разбиение рассматриваемой области на элементы в МКЭ?
8. Какой смысл в теории упругости имеют уравнения равновесия?
9. Как связаны между собой матрица жесткости элемента и матрица жесткости системы?
10. Сколько компонент перемещений имеет узел плоского треугольного элемента?
11. Что такое интенсивность напряжений?
12. Как называется графическое изображение прочности горных пород при всевозможных видах напряженного состояния?
13. Какой вид нелинейности возникает при решении фильтрационных задач с неустановившимся режимом фильтрации?
14. Что понимается под термином траектория нагружения?
15. Какой вид испытаний используется для изучения изменения объема (уменьшения) материала при сжатии?
16. Какая последовательность должна быть выбрана при обосновании параметров модели поведения материалов?
17. В каких случаях грунты принято рассматривать как однофазную среду?
18. Для чего используются модели поведения (деформирования) материала, сформулированные в рамках механики сплошной среды?
19. Как называется увеличение объема материала при пластическом сдвиге?
20. Какой вид испытаний используется для изучения изменения объема (уменьшения) материала при сжатии?
21. В каких случаях необходимо проводить циклические испытания материала?
22. Приведите уравнение, которое соответствует условию пластичности Кулона-Мора.

**6.2.4. Примерные тестовые задания к зачету, дифф. зачету**

Вариант 1

№ пп	Вопрос	Варианты ответов
1	К какому виду нелинейности относиться расчет, обусловленный учетом нелинейной зависимости между компонентами обобщенных напряжений и деформаций $\sigma=f(\varepsilon)$ и характеризует работу материала в нелиней-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическая нелинейность</li> <li>2. Геометрическая нелинейность</li> <li>3. Конструктивная нелинейность</li> <li>4. Общая нелинейность</li> </ol>

№ пп	Вопрос	Варианты ответов
	но-упругой области, упругопластической области или вязкопластической области?	
2	К какому виду нелинейности относится расчет, если перемещения конструкции вызывают значительные изменения ее геометрии, так что уравнения равновесия приходится составлять с учетом изменения формы и размеров рассматриваемого объекта?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическая нелинейность</li> <li>2. Геометрическая нелинейность</li> <li>3. Конструктивная нелинейность</li> <li>4. Общая нелинейность</li> </ol>
3	К какому виду нелинейности относится расчет когда нелинейность возникает вследствие конструктивных особенностей системы, вызывающих изменение расчетной схемы в процессе ее деформирования (изменяются условия закрепления, выпадают или образуются новые связи, включаются или выключаются элементы системы, изменяется условие на контакте тел)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическая нелинейность</li> <li>2. Геометрическая нелинейность</li> <li>3. Конструктивная нелинейность</li> <li>4. Общая нелинейность</li> </ol>
4	Какой вид нелинейности наиболее важен при решении задач геомеханики?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическая нелинейность</li> <li>2. Геометрическая нелинейность</li> <li>3. Конструктивная нелинейность</li> <li>4. Общая нелинейность</li> </ol>
5	Какой вид нелинейности наиболее важен при решении задач, связанных с потерей устойчивости (формы) рассматриваемой системы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическая нелинейность</li> <li>2. Геометрическая нелинейность</li> <li>3. Конструктивная нелинейность</li> <li>4. Общая нелинейность</li> </ol>
6	Какой вид нелинейности возникает при решении фильтрационных задач с неустановившимся режимом фильтрации	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физическая нелинейность</li> <li>2. Геометрическая нелинейность</li> <li>3. Конструктивная нелинейность</li> <li>4. Общая нелинейность</li> </ol>
7	Интенсивность касательных напряжений обозначается символом	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>q</math></li> <li>2. <math>p</math></li> <li>3. <math>\tau</math></li> <li>4. <math>s</math></li> </ol>
8	Средние напряжения обозначаются символом	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>q</math></li> <li>2. <math>p</math></li> <li>3. <math>\tau</math></li> <li>4. <math>s</math></li> </ol>
9	Испытания породы, при котором при $\sigma_1$ и $\varepsilon_1$ не равны нулю, $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$ , а величина $\sigma_2 = \sigma_3$ определяются особенностью деформирования породы называется	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изотропное сжатие</li> <li>2. Одометрическое сжатие</li> <li>3. Трехосное сжатие</li> <li>4. Одноосное сжатие</li> </ol>
10	Испытания породы, при котором $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ называется	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изотропное сжатие</li> <li>2. Одометрическое сжатие</li> <li>3. Трехосное сжатие</li> <li>4. Одноосное сжатие</li> </ol>
11	Испытание, при котором $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ называется	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изотропное сжатие</li> <li>2. Одометрическое сжатие</li> <li>3. Трехосное сжатие</li> <li>4. Одноосное сжатие</li> </ol>
12	При выполнении истинных трехосных ис-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3</math></li> </ol>

№ пп	Вопрос	Варианты ответов
	пытаний пород какое соотношение между главными напряжениями должно выполняться	2. $\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$ 3. $\sigma_1 = \sigma_2 \geq \sigma_3$ 4. $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$
13	При проведении трехосных стабилметрических испытаний в каких осях чаще всего представляют результаты деформирования породы	1. $q - \gamma$ 2. $\sigma - \tau$ 3. $q - p$ 4. $\varepsilon - \gamma$
14	При проведении сдвиговых испытаний в каких осях чаще всего представляют результаты деформирования породы	1. $q - \sigma$ 2. $\sigma - \tau$ 3. $\tau - \gamma$ 4. $\varepsilon - \gamma$
15	Что понимается под термином траектория нагружения	1. Изменение напряженного состояния в точке 2. Уплотнение породы под нагрузкой 3. Нагружение породы по определенной траектории 4. Траектория описывающая процесс
16	В девиаторной плоскости соблюдается следующее условия напряженного состояния	1. $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ 2. $\sigma_1 < \sigma_2 = \sigma_3$ 3. $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ 4. $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$
17	Меридиональная плоскость проходит через оси	1. $I_1 - q$ 2. $I_2 - p$ 3. $p - q$ 4. $I_1 - I_2$
18	Условию плоской деформации соответствует следующее напряженно-деформированное состояние	1. $\sigma_1 = 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 \neq 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 \neq 0$ 2. $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 \neq 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 = 0$ 3. $\sigma_1 = 0, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 = 0$ 4. $\sigma_1 = 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 = 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 = 0$
19	Условию плоской деформации соответствует следующее напряженно-деформированное состояние	1. $\sigma_1 = 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 \neq 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 \neq 0$ 2. $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 \neq 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 = 0$ 3. $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 = 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 = 0$ 4. $\sigma_1 = 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 = 0, \varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 \neq 0, \varepsilon_3 = 0$
20	В каких случаях необходимо проводить циклические испытания материала	1. Если необходимо решать задачу где формируется знакопеременное воздействие 2. Если необходимо решать задачу где формируется динамическое воздействие 3. Если необходимо решать задачу где формируется только статическое монотонное воздействие 4. Верны варианты (1) и (2)

Вариант № 2

№ пп	Вопрос	Варианты ответов
1	Графическое изображение прочности горных пород при всевозможных видах напряженного состояния называется	1. Диаграмма деформирования 2. Критерий (условие) прочности 3. Паспорт прочности 4. Круги Мора

№ пп	Вопрос	Варианты ответов
2	Аналитическое выражение прочности горных пород при всевозможных видах напряженного состояния называется	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Диаграмма деформирования</li> <li>2. Критерий (условие) прочности</li> <li>3. Паспорт прочности</li> <li>4. Круги Мора</li> </ol>
3	Увеличенные объема материала при пластическом сдвиге называется	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Контракция</li> <li>2. Ползучесть</li> <li>3. Дилатансия</li> <li>4. Адгезия</li> </ol>
4	Какой вид испытаний используется для изучения изменения объема (уменьшения) материала при сжатии	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Трехосное сжатие</li> <li>2. Одноосное сжатие</li> <li>3. Одноосное растяжение</li> <li>4. Изотропное сжатие</li> </ol>
5	Для чего используются модели поведения (деформирования) материала, сформулированные в рамках механики сплошной среды	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Для получения новых знаний о работе данного материал</li> <li>2. Для прогноза развития напряженно-деформированного состояния конструкций/породного массив состоящего из данного материала</li> <li>3. Для определения эквивалентных механических свойств для других моделей поведения материалов</li> <li>4. Используются только в академических целях для изучения разделов механики сплошной среды</li> </ol>
6	Какая последовательность должна быть выбрана при обосновании параметров модели поведения материалов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Лабораторные испытания – Выбор модели материалов – Подбор параметров модели поведения материалов – Численное моделирование – Сравнение результатов с натурными наблюдениями</li> <li>2. Выбор модели материалов – Подбор параметров модели поведения материалов – Численное моделирование – Сравнение результатов с натурными наблюдениями – Лабораторное моделирование</li> <li>3. Численное моделирование – Сравнение результатов с натурными наблюдениями – Выбор модели материалов – Подбор параметров модели поведения материалов – Лабораторное моделирование</li> <li>4. Ни одна из выше перечисленных</li> </ol>
7	В каких случаях грунты принято рассматривать как однофазную среду	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. При их полном водонасыщении водой</li> <li>2. При их частичном водонасыщении водой</li> <li>3. Если вода в пористом пространстве отсутствует</li> <li>4. Если нет необходимости решать задачи фильтрации</li> </ol>

№ пп	Вопрос	Варианты ответов
8	Условие при котором процесс нагружения водонасыщенных грунтов не сопровождается формированием избыточного порового давления называется	1. Консолидированное 2. Дренированное 3. Недренированное 4. Антидренированное
9	Условие при котором процесс нагружения водонасыщенных грунтов сопровождается формированием избыточного порового давления называется	1. Консолидированное 2. Дренированное 3. Недренированное 4. Антидренированное
10	Указать в каких горных породах при статическом монотонном нагружении формируется избыточное поровое давления	1. Глинистые породы 2. Каменная соль 3. Песок 4. Гравий
11	Какой показатель влияет на форму поверхности пластического течения в девиаторной плоскости	1. Угол дилатансии 2. Сцепление 3. Модуль деформации 4. Угол Лоде
12	Функция, которая ограничивает область допустимых напряжений от недопустимых называется	1. Функцией дилатансии 2. Функция пластического течения 3. Функция пластического потенциала 4. Функция Мизеса
13	Функция, которая определяет направление развития пластических деформаций называется	1. Функцией дилатансии 2. Функция пластического течения 3. Функция пластического потенциала 4. Функция Мизеса
14	Показатель, который определяет величину приращения пластических деформаций	1. Коэффициент Пуассона 2. Модуль сдвига 3. Сцепление 4. Пластический множитель
15	Каким образом задается направление вектора пластического течения $f$ – функция поверхности пластического течения; $g$ – функция пластического потенциала; $\sigma$ – вектор напряжений; $h$ – закон упрочнения; $\lambda$ – пластический множитель	1. $\frac{\partial g}{\partial \sigma}$ 2. $\frac{\partial f}{\partial \sigma}$ 3. $\frac{\partial h}{\partial \sigma}$ 4. $\frac{\partial \lambda}{\partial \sigma}$
16	Под ассоциированным законом пластического течения понимается	1. Когда угол дилатансии равен 0 2. Когда угол внутреннего трения равен 90 3. Когда угол дилатансии равен углу внутреннего трения 4. Когда функция поверхности пластического течения совпадает с функцией поверхности пластического потенциала
17	Какой соотношение между углом дилатансии и углом внутреннего трения приводит к ассоциированному закону пластического течения для модели среды основанной на условии пластичности Кулон-Мора	1. Угол дилатансии равен углу внутреннего трения 2. Угол дилатансии больше угла внутреннего трения 3. Угол дилатансии меньше угла внутреннего трения 4. Угол дилатансии не равен углу внутреннего трения



№ пп	Вопрос	Варианты ответов
18	Какая матрица используется для связи между векторами напряжений и деформаций для упругой среды	1. Матрица податливости 2. Матрица когезионности 3. Упругопластическая матрица 4. Упругая матрица
19	Какая матрица используется для связи между векторами напряжений и деформаций для упругопластической среды	1. Матрица податливости 2. Матрица когезионности 3. Упругопластическая матрица 4. Упругая матрица
20	Какое состояние соответствует упругому поведению среды	1. $f(\sigma, \varepsilon) < 0$ 2. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) < 0$ 3. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) = 0$ 4. $f(\sigma, \varepsilon) > 0$

### Вариант № 3

№ пп	Вопросы	Варианты ответов
1	Какое состояние соответствует упругопластической разгрузке	1. $f(\sigma, \varepsilon) < 0$ 2. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) < 0$ 3. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) = 0$ 4. $f(\sigma, \varepsilon) > 0$
2	Какое состояние соответствует упругопластическому нагружению	1. $f(\sigma, \varepsilon) < 0$ 2. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) < 0$ 3. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) = 0$ 4. $f(\sigma, \varepsilon) > 0$
3	Какое состояние не возможно	1. $f(\sigma, \varepsilon) < 0$ 2. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) < 0$ 3. $f(\sigma, \varepsilon) = 0$ и $df(\sigma, \varepsilon) = 0$ 4. $f(\sigma, \varepsilon) > 0$
4	Что из себя представляет поверхность пластического течения полученная на основании условия пластичности Мизеса в девиаторной плоскости	1. Окружность 2. Квадрат 3. Шестигранник 4. Треугольник
5	Что из себя представляет поверхность пластического течения полученная на основании условия пластичности Друкера-Прагера в девиаторной плоскости	1. Окружность 2. Квадрат 3. Шестигранник 4. Треугольник
6	Что из себя представляет поверхность пластического течения полученная на основании условия пластичности Кулона-Мора в девиаторной плоскости	1. Окружность 2. Квадрат 3. Шестигранник 4. Треугольник
7	Что из себя представляет поверхность пластического течения полученная на основании условия пластичности Ранки в девиаторной плоскости	1. Окружность 2. Квадрат 3. Шестигранник 4. Треугольник
8	Указать при каком условии пластичности поверхность пластического течения не расширяется в девиаторной плоскости с увеличением средних напряжений	1. Мизеса 2. Друкера-Прагера 3. Кулона-Мора 4. Хока-Брауна

№ пп	Вопросы	Варианты ответов
9	Указать при каком условии пластичности поверхность пластического течения расширяется в девиаторной плоскости с увеличением средних напряжений	1. Треска 2. Мизеса 3. Друкера-Прагера 4. Ни одним из выше перечисленных
10	Что из себя геометрически представляет условие пластичности Мизеса в пространстве главных напряжений	1. Цилиндр 2. Пирамида, в основании которой шестигранник 3. Вытянутый шестигранник 4. Конус
11	Что из себя геометрически представляет условие пластичности Друкера-Прагера в пространстве главных напряжений	1. Цилиндр 2. Пирамида, в основании которой шестигранник 3. Вытянутый шестигранник 4. Конус
12	Что из себя геометрически представляет условие пластичности Кулона-Мора в пространстве главных напряжений	1. Цилиндр 2. Пирамида, в основании которой шестигранник 3. Вытянутый шестигранник 4. Конус
13	Укажите уравнение которое соответствует условию пластичности Кулона-Мора	1. $\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$ 2. $q = d + p \tan \beta$ 3. $q = R_t/2$ 4. $\tau = c$
14	Укажите уравнение которое соответствует условию пластичности Друкера-Прагера	1. $\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$ 2. $q = d + p \tan \beta$ 3. $q = R_t/2$ 4. $\tau = c$
15	Какой параметр модели поведения среды основанной на условии пластичности Кулона-Мора лишний	1. Модуль деформации 2. Коэффициент поперечной деформации 3. Сцепление 4. Показатель пластического уплотнения
16	Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Кулона-Мора (классическая постановка)	1. 3 2. 4 3. 5 4. 6
17	Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Друкера-Прагера (классическая постановка)	1. 3 2. 4 3. 5 4. 6
18	Какое количество параметров необходимо для задания модели деформирования материала основанной на условии пластичности Мизеса (классическая постановка)	1. 3 2. 4 3. 5 4. 6
19	Модуль деформации породы определяется как	1. Отношение приращения продольных напряжений к приращению продольных деформаций 2. Отношение поперечных деформаций к продольным деформациям

№ пп	Вопросы	Варианты ответов
		3. Производство поперечных деформаций и продольных деформаций 4. Отношение объемных деформаций в деформациям формоизменения
20	Коэффициент поперечной деформации породы определяется как	1. Отношение приращения продольных напряжений к приращению продольных деформаций 2. Отношение поперечных деформаций к продольным деформациям 3. Производство поперечных деформаций и продольных деформаций 4. Отношение объемных деформаций в деформациям формоизменения

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (дифференцированного зачета)

*Примерная шкала оценивания знаний по вопросам/выполнению заданий дифференцированного зачета:*

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения «3» (удовлетворительно)	Углубленный уровень освоения «4» (хорошо)	Продвинутый уровень освоения «5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных и практических занятий
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения, предусмотренные программой обучения заданий	Уверенно находит решения, предусмотренные программой обучения заданий	Безошибочно находит решения, предусмотренные программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

#### *Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:*

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Неудовлетворительно
50-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

### 6.3.2. Критерии оценок промежуточной аттестации (зачет)

Оценка	Описание
Зачтено	Посещение более 50 % лекционных и практических занятий; студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение семестра выполнил творческую работу.
Не зачтено	Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий; студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

#### *Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:*

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Не зачтено
50-65	Зачтено
66-85	Зачтено
86-100	Зачтено

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

1. Введение в механику подземных сооружений: Учебное пособие / Зерцалов М.Г., Никишкин М.В., - 2-е изд., (эл.) - М.:МИСИ-МГСУ, 2017. - 117 с. — Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/970257>
2. Вознесенский, А. С. Моделирование физических процессов в горном деле. Компьютерное моделирование : учебное пособие / А. С. Вознесенский, М. Н. Красилов, Я. О. Куткин. — Москва : МИСИС, 2018. — 97 с. — ISBN 978-5-906953-08-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/108042> (дата обращения: 29.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Прикладная теория пластичности [Электронный ресурс] : монография / Ф.М. Митенков [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2015. — 284 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71993>.
4. Молотников, В.Я. Теория упругости и пластичности [Электронный ресурс] / В.Я. Молотников, А.А. Молотникова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 532 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94741>. — Загл. с экрана.
5. Боровков, Ю. А. Геомеханика : учебник / Ю. А. Боровков. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 356 с. — ISBN 978-5-8114-4124-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133896> (дата обращения: 25.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей..
6. Вознесенский, А. С. Моделирование физических процессов горного производства : учебное пособие / А. С. Вознесенский. — Москва : МИСИС, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-907061-46-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/128999> (дата обращения: 29.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Борщ-Компониец В.И. Практическая механика горных пород [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — М.: Горная книга, 2013. — 328 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=66426](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=66426) — Загл. с экрана.

### **7.1.2. Дополнительная литература**

1. Певзнер, М.Е. Геомеханика [Электронный ресурс] : учеб. / М.Е. Певзнер, М.А. Иофис, В.Н. Попов. — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2008. — 438 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3289>.

2. Мартыянов, В. Л. Геомеханика. Управление состоянием массива горных пород при открытой геотехнологии : учебное пособие / В. Л. Мартыянов, О. И. Литвин, С. О. Марков. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2019. — 260 с. — ISBN 978-5-00137-112-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/145126> (дата обращения: 25.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Шведов, И. М. Физика горных пород: механические свойства горных пород : учебное пособие / И. М. Шведов. — Москва : МИСИС, 2019. — 122 с. — ISBN 978-5-907061-27-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116928> (дата обращения: 29.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **7.1.3. Учебно-методическое обеспечение**

1. Прикладная информатика. Моделирование физических процессов в горном деле. [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Д.А. Потемкин, О.В. Трушко СПб, 2017. 160с. Режим доступа: <http://ior.spmi.ru>.

2. Моделирование физических процессов в горном деле. [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторным занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: Д.А. Потемкин, О.В. Трушко. СПб, 2018. 27 с. Режим доступа: <http://ior.spmi.ru>.

### **7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>

2. Консультант Плюс: справочно - поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/).

3. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>

4. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>

5. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>

6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>

7. Поисковые системы Yandex, Google, Rambler, Yahoo и др.

8. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] [www.garant.ru/](http://www.garant.ru/).

9. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com/books>.

10. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ):

11. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>

12. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).

13. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>

14. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, практических занятий, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Для проведения практических занятий используются компьютерные классы, оборудованные техникой, из расчета один компьютер на одного обучающегося, с обустроенным рабочим местом преподавателя и мультимедийным оборудованием, объединенные локальной сетью и возможностью подключения к сети Интернет.

### **Аудитории для проведения лекционных занятий.**

Основная лекционная аудитория включает 36 посадочных мест и имеет:

Мебель:

Стол аудиторный – 18 шт., стол преподавательский – 1 шт., стул – 40 шт., трибуна – 1 шт., шкаф преподавателя ArtM – 1 шт.

Компьютерная техника:

Видеопрезентер Elmo P-30S – 1 шт., доска интерактивная Polyvision eno 2610A – 1 шт., источник бесперебойного питания Poverware 5115 750i – 1 шт., коммутатор Kramer VP-201 – 1 шт., компьютер CompuMir – 1 шт. с возможностью подключения к сети «Интернет», масштабатор Kramer VP-720x1 – 1 шт., микшер-усилитель Dynacord MV 506 – 1 шт., монитор ЖК «17» Dell – 2 шт., мультимедиа проектор Mitsubischi XD221-ST – 1 шт., пульт управления презентацией Interlink Remote Point Global Presenter – 1 шт., рекордер DVDLGHDR899 – 1 шт., усилитель-распределитель Kramer VP-200xln – 1 шт., устройство светозащитное – 3 шт., крепление SMS Projector – 1 шт.

В учебном процессе используется комплект демонстрационных стендовых материалов по строительной физике и климатологии.

### **Аудитории для проведения практических занятий.**

Аудитория 1 (16 посадочных мест):

Мебель:

Стол пристенный – 14 шт., стол аудиторный – 4 шт., стол для компьютера ЛАБ-1200 – 1 шт., стол лабораторный рабочий – 2 шт., стол конференц - 200×100×75– 1 шт., стол SS 16 NF 160×80 – 1 шт., кресло для преподавателя – 1 шт., стул – 40 шт., стеллаж к пристенному столу 1500\*230\*1240 – 14 шт., стеллаж закрытый КД-152 – 2 шт., шкаф для лабораторной посуды 800\*565\*2100 стекл.двери – 1 шт., доска магнитная (фломастер) – 1 шт.

Компьютерная техника:

Системный блок Ramec Storm – 1 шт. с возможностью подключения к сети «Интернет», монитор ЖК 17// Dell E177FP – 1 шт., колонки Creative I-Trigue L3800 – 1 шт., экран проекционный настенный – 1 шт., экран с пультом настенный выдвижной Draper с ИК пультом управления с электроприводом – 1 шт., доска под маркер мобильная флипчарт 90\*120 – 1 шт., устройство светозащитное – 2 шт.

Аудитория 2 (16 посадочных мест):

Мебель:

Стол преподавательский – 8 шт., стол – 1 шт., стол пристенный – 6 шт., кресло для преподавателя – 1 шт., стул – 16 шт., стеллаж закрытый КД-152 – 2 шт., доска магнитная 100\*200 (фломастер) – 1 шт., стеллаж к пристенному столу 1500\*230\*1240 – 6 шт., устройство светозащитное – 2 шт.

Компьютерная техника:

Экран для проектора тип 2 Screen Media Economy – 1 шт.

### **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть Университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Перечень лицензионного программного обеспечения: Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

### **8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows 7 Professional.
2. Microsoft Windows 8 Professional.
3. Microsoft Office 2007 Professional Plus.