

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**

Антрацитовский институт геосистем и технологий

Кафедра строительства и геоконтроля



УТВЕРЖДАЮ

Директор

**Антрацитовского института
геосистем и технологий**

доц. Крохмалёва Е.Г.

«26 03» 3 2025 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине**

«ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРОЦЕССОВ»

2.8.8 Геотехнология, горные машины

Разработчик:

доцент

Н.Н. Палейчук

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры строительства и геоконтроля

от «27 03» 26 03 3 2025 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой

строительства и геоконтроля

И.В. Савченко

И.В. Савченко

Антрацит 2025 г.

**Паспорт
фонда оценочных средств по учебной дисциплине
«Основы моделирования горных процессов»**

Перечень знаний, умений и навыков, формируемых в результате освоения учебной дисциплины

№ п/п	Знания, умения, навыки		Контролируемые темы учебной дисциплин	Этапы формирования (семестр изучения)
1	<u>Знания:</u> принципы, методы и этапы научного моделирования применительно к широкому кругу геотехнологических задач; классификацию и специфику различных типов моделей геотехнологии; возможности и ограничения современных программных комплексов для моделирования в геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	- принципы, методы и этапы научного моделирования применительно к широкому кругу геотехнологических задач; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 1. Методологические основы моделирования. Понятие и классификация моделей в горном деле. Определение модели, моделирования и их роль в геотехнологии. Основные принципы: адекватность, подобие, гомоморфность, изоморфизм. Классификация моделей по природе, способу представления, назначению (аналитические, численные, физические, математические, информационные, имитационные, графические, цифровые двойники). Специфика моделирования для открытых, подземных и строительных разделов геотехнологии. Цикл моделирования: от постановки задачи и сбора данных до интерпретации результатов и принятия решений. Проблема качества исходных данных и неопределенности. Основные подходы: детерминированный, стохастический. Цифровые двойники в горной отрасли: концепция, применение, перспективы.	Продвинутый (4)
		- классификация и специфика различных типов моделей геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 2. Математическое моделирование. Типы математических моделей (аналитические, имитационные, статистические, оптимизационные). Применение дифференциальных уравнений, линейной алгебры, теории вероятностей, математической статистики, оптимизационных методов для решения горно-	продвинутый (4)

			геотехнических задач.	
		- классификация и специфика различных типов моделей геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 3. Физическое моделирование. Понятие физической модели и физического моделирования. Роль физического моделирования в науке и практике горного дела и строительства. Преимущества и ограничения физических моделей. Области применения физического моделирования в геотехнологии (открытые, подземные горные работы, строительство подземных сооружений). Критерии подобия (безразмерные комплексы). Законы подобия для различных физических процессов (механических, тепловых, гидродинамических и др.). Требования к материалам-аналогам. Основные типы материалов-аналогов: песок, глина, гипс, парафин, воск, полимеры, композиты, гелеобразные материалы. Методы подбора и приготовления материалов-аналогов с требуемыми физико-механическими свойствами. Проведение эксперимента, сбор и фиксация данных. Обработка и анализ результатов. Обзор датчиков и измерительных систем, используемых в физическом моделировании (тензодатчики, датчики перемещений, давления, температуры, расхода). Методы регистрации деформаций, разрушений, смещений (фотограмметрия, лазерное сканирование, цифровой анализ изображений, рентгенография). Использование высокоскоростной съемки и видеоанализа. Установки для моделирования горного давления, обрушений (пресс-камеры, стенды). Исследование устойчивости горных выработок (камер, целиков, лав), влияние	продвинутый (4)

			крепи. Моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.	
		- классификация и специфику различных типов моделей геотехнологии; возможности и ограничения современных программных комплексов для моделирования в геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 4. Численное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ для решения задач геомеханики: анализ напряженно-деформированного состояния массива, устойчивости бортов карьеров, откосов, подземных выработок, влияния крепи. Программные комплексы (Phase2, Abaqus, ANSYS, COMSOL, ZSoil). Метод дискретных элементов (МДЭ). Теоретические основы, моделирование взаимодействия дискретных элементов (частиц, блоков). Применение МДЭ для моделирования обрушений, движения горной массы, деформаций трещиноватых массивов. Метод граничных элементов (МГЭ). Принципы, преимущества для задач с большими объемами и сложной геометрией границ. Применение в геомеханике и гидрогеологии. Другие численные методы. Использование искусственного интеллекта при решении задач моделирования в сфере геотехнологии.	продвинутый (4)
2	<u>Умения:</u> формулировать задачи моделирования для решения конкретных научно-исследовательских и практических проблем в геотехнологии; выбирать адекватный тип модели и программное обеспечение для решения поставленной	- формулирование задач моделирования для решения конкретных научно-исследовательских и практических проблем в геотехнологии; выбор адекватного типа модели и программного обеспечения для решения поставленной задачи;	Тема 1. Методологические основы моделирования. Понятие и классификация моделей в горном деле. Определение модели, моделирования и их роль в геотехнологии. Основные принципы: адекватность, подобие, гомоморфность, изоморфизм. Классификация моделей по природе, способу представления, назначению (аналитические, численные, физические, математические, информационные, имитационные, графические, цифровые двойники). Специфика моделирования для открытых,	продвинутый (4)

	задачи; работать с исходными данными, подготавливать их для моделирования, учитывая неопределенность; проводить моделирование процессов в геотехнологии с использованием специализированн ого ПО; анализировать, интерпретировать и визуализировать результаты моделирования, а также оценивать их достоверность.	работа с исходными данными, подготовка для моделирования, учитывая неопределенность .	подземных и строительных разделов геотехнологии. Цикл моделирования: от постановки задачи и сбора данных до интерпретации результатов и принятия решений. Проблема качества исходных данных и неопределенности. Основные подходы: детерминированный, стохастический. Цифровые двойники в горной отрасли: концепция, применение, перспективы.	
		- выбор адекватного типа модели и программного обеспечения для решения поставленной задачи; работа с исходными данными, подготовка для моделирования, учитывая неопределенность .	Тема 2. Математическое моделирование. Типы математических моделей (аналитические, имитационные, статистические, оптимизационные). Применение дифференциальных уравнений, линейной алгебры, теории вероятностей, математической статистики, оптимизационных методов для решения горно- геотехнических задач.	продвинутый (4)
		- выбор адекватного типа модели и программного обеспечения для решения поставленной задачи; работа с исходными данными, подготовка для моделирования, учитывая	Тема 3. Физическое моделирование. Понятие физической модели и физического моделирования. Роль физического моделирования в науке и практике горного дела и строительства. Преимущества и ограничения физических моделей. Области применения физического моделирования в геотехнологии (открытые, подземные горные работы, строительство подземных	продвинутый (4)

		неопределенность ; анализ, интерпретация и визуализация результатов моделирования, а также оценка их достоверности.	сооружений). Критерии подобия (безразмерные комплексы). Законы подобия для различных физических процессов (механических, тепловых, гидродинамических и др.). Требования к материалам-аналогам. Основные типы материалов-аналогов: песок, глина, гипс, парафин, воск, полимеры, композиты, гелеобразные материалы. Методы подбора и приготовления материалов-аналогов с требуемыми физико-механическими свойствами. Проведение эксперимента, сбор и фиксация данных. Обработка и анализ результатов. Обзор датчиков и измерительных систем, используемых в физическом моделировании (тензодатчики, датчики перемещений, давления, температуры, расхода). Методы регистрации деформаций, разрушений, смещений (фотограмметрия, лазерное сканирование, цифровой анализ изображений, рентгенография). Использование высокоскоростной съемки и видеоанализа. Установки для моделирования горного давления, обрушений (пресс-камеры, стенды). Исследование устойчивости горных выработок (камер, целиков, лав), влияние крепи. Моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.	
		- проведение моделирования процессов в геотехнологии с использованием специализированного ПО; анализ, интерпретация и визуализация результатов моделирования, а	Тема 4. Численное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ для решения задач геомеханики: анализ напряженно-деформированного состояния массива, устойчивости бортов карьеров, откосов, подземных выработок, влияния крепи. Программные комплексы (Phase2, Abaqus, ANSYS,	продвинутый (4)

		также оценка их достоверности.	COMSOL, ZSoil). Метод дискретных элементов (МДЭ). Теоретические основы, моделирование взаимодействия дискретных элементов (частиц, блоков). Применение МДЭ для моделирования обрушений, движения горной массы, деформаций трещиноватых массивов. Метод граничных элементов (МГЭ). Принципы, преимущества для задач с большими объемами и сложной геометрией границ. Применение в геомеханике и гидрогеологии. Другие численные методы. Использование искусственного интеллекта при решении задач моделирования в сфере геотехнологии.	
3	<u>Навыки:</u> построения и использования моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли; работы с современным программным обеспечением для комплексного геотехнологического моделирования; методологии оценки и управления неопределенностью в моделях; критического анализа результатов моделирования и их применимости в реальных условиях.	- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли.	Тема 1. Методологические основы моделирования. Понятие и классификация моделей в горном деле. Определение модели, моделирования и их роль в геотехнологии. Основные принципы: адекватность, подобие, гомоморфность, изоморфизм. Классификация моделей по природе, способу представления, назначению (аналитические, численные, физические, математические, информационные, имитационные, графические, цифровые двойники). Специфика моделирования для открытых, подземных и строительных разделов геотехнологии. Цикл моделирования: от постановки задачи и сбора данных до интерпретации результатов и принятия решений. Проблема качества исходных данных и неопределенности. Основные подходы: детерминированный, стохастический. Цифровые двойники в горной отрасли: концепция, применение, перспективы.	начальный (4)
		- построение и использование	Тема 2. Математическое моделирование.	начальный (4)

		моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли.	Типы математических моделей (аналитические, имитационные, статистические, оптимизационные). Применение дифференциальных уравнений, линейной алгебры, теории вероятностей, математической статистики, оптимизационных методов для решения горно-геотехнических задач.	
		- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли; методология оценки и управления неопределенностью в моделях; критический анализ результатов моделирования и их применимость в реальных условиях.	Тема 3. Физическое моделирование. Понятие физической модели и физического моделирования. Роль физического моделирования в науке и практике горного дела и строительства. Преимущества и ограничения физических моделей. Области применения физического моделирования в геотехнологии (открытые, подземные горные работы, строительство подземных сооружений). Критерии подобия (безразмерные комплексы). Законы подобия для различных физических процессов (механических, тепловых, гидродинамических и др.). Требования к материалам-аналогам. Основные типы материалов-аналогов: песок, глина, гипс, парафин, воск, полимеры, композиты, гелеобразные материалы. Методы подбора и приготовления материалов-аналогов с требуемыми физико-механическими свойствами. Проведение эксперимента, сбор и фиксация данных. Обработка и анализ результатов. Обзор датчиков и измерительных систем, используемых в физическом моделировании (тензодатчики, датчики перемещений, давления, температуры, расхода). Методы регистрации деформаций, разрушений, смещений (фотограмметрия, лазерное сканирование, цифровой анализ	начальный (4)

			изображений, рентгенография). Использование высокоскоростной съемки и видеоанализа. Установки для моделирования горного давления, обрушений (пресс-камеры, стенды). Исследование устойчивости горных выработок (камер, целиков, лав), влияние крепи. Моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.	
		- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли; работа с современным программным обеспечением для комплексного геотехнологического моделирования; методология оценки и управления неопределенностью в моделях; критический анализ результатов моделирования и их применимость в реальных условиях.	Тема 4. Численное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ для решения задач геомеханики: анализ напряженно-деформированного состояния массива, устойчивости бортов карьеров, откосов, подземных выработок, влияния крепи. Программные комплексы (Phase2, Abaqus, ANSYS, COMSOL, ZSoil). Метод дискретных элементов (МДЭ). Теоретические основы, моделирование взаимодействия дискретных элементов (частиц, блоков). Применение МДЭ для моделирования обрушений, движения горной массы, деформаций трещиноватых массивов. Метод граничных элементов (МГЭ). Принципы, преимущества для задач с большими объемами и сложной геометрией границ. Применение в геомеханике и гидрогеологии. Другие численные методы. Использование искусственного интеллекта при решении задач моделирования в сфере геотехнологии.	начальный (4)

**Показатели и критерии оценивания знаний, умений и навыков, описание
шкал оценивания**

№ п/п	Знания, умения, навыки		Контролируемые темы учебной дисциплин	Этапы формирования (семестр изучения)
1	<u>Знания:</u> принципы, методы и этапы научного моделирования применительно к широкому кругу геотехнологических задач; классификацию и специфику различных типов моделей геотехнологии; возможности и ограничения современных программных комплексов для моделирования в геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	- принципы, методы и этапы научного моделирования применительно к широкому кругу геотехнологических задач; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 1. Методологические основы моделирования. Понятие и классификация моделей в горном деле. Определение модели, моделирования и их роль в геотехнологии. Основные принципы: адекватность, подобие, гомоморфность, изоморфизм. Классификация моделей по природе, способу представления, назначению (аналитические, численные, физические, математические, информационные, имитационные, графические, цифровые двойники). Специфика моделирования для открытых, подземных и строительных разделов геотехнологии. Цикл моделирования: от постановки задачи и сбора данных до интерпретации результатов и принятия решений. Проблема качества исходных данных и неопределенности. Основные подходы: детерминированный, стохастический. Цифровые двойники в горной отрасли: концепция, применение, перспективы.	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля
		- классификация и специфика различных типов моделей геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 2. Математическое моделирование. Типы математических моделей (аналитические, имитационные, статистические, оптимизационные). Применение дифференциальных уравнений, линейной алгебры, теории вероятностей, математической статистики, оптимизационных методов для решения горно-геотехнических задач.	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля

		- классификация и специфика различных типов моделей геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 3. Физическое моделирование. Понятие физической модели и физического моделирования. Роль физического моделирования в науке и практике горного дела и строительства. Преимущества и ограничения физических моделей. Области применения физического моделирования в геотехнологии (открытые, подземные горные работы, строительство подземных сооружений). Критерии подобия (безразмерные комплексы). Законы подобия для различных физических процессов (механических, тепловых, гидродинамических и др.). Требования к материалам-аналогам. Основные типы материалов-аналогов: песок, глина, гипс, парафин, воск, полимеры, композиты, гелеобразные материалы. Методы подбора и приготовления материалов-аналогов с требуемыми физико-механическими свойствами. Проведение эксперимента, сбор и фиксация данных. Обработка и анализ результатов. Обзор датчиков и измерительных систем, используемых в физическом моделировании (тензодатчики, датчики перемещений, давления, температуры, расхода). Методы регистрации деформаций, разрушений, смещений (фотограмметрия, лазерное сканирование, цифровой анализ изображений, рентгенография). Использование высокоскоростной съемки и видеоанализа. Установки для моделирования горного давления, обрушений (пресс-камеры, стенды).	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля
--	--	--	---	---

			Исследование устойчивости горных выработок (камер, целиков, лав), влияние крепи. Моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.	
		- классификация и специфику различных типов моделей геотехнологии; возможности и ограничения современных программных комплексов для моделирования в геотехнологии; методы верификации, валидации и интерпретации результатов моделирования.	Тема 4. Численное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ для решения задач геомеханики: анализ напряженно-деформированного состояния массива, устойчивости бортов карьеров, откосов, подземных выработок, влияния крепи. Программные комплексы (Phase2, Abaqus, ANSYS, COMSOL, ZSoil). Метод дискретных элементов (МДЭ). Теоретические основы, моделирование взаимодействия дискретных элементов (частиц, блоков). Применение МДЭ для моделирования обрушений, движения горной массы, деформаций трещиноватых массивов. Метод граничных элементов (МГЭ). Принципы, преимущества для задач с большими объемами и сложной геометрией границ. Применение в геомеханике и гидрогеологии. Другие численные методы. Использование искусственного интеллекта при решении задач моделирования в сфере геотехнологии.	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля
2	Умения: формулировать задачи моделирования для решения конкретных научно-исследовательских и практических проблем в геотехнологии;	- формулирование задач моделирования для решения конкретных научно-исследовательских и практических проблем в геотехнологии; выбор	Тема 1. Методологические основы моделирования. Понятие и классификация моделей в горном деле. Определение модели, моделирования и их роль в геотехнологии. Основные принципы: адекватность, подобие, гомоморфность, изоморфизм. Классификация моделей по природе, способу	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и

	выбирать адекватный тип модели и программное обеспечение для решения поставленной задачи; работать с исходными данными, подготавливать их для моделирования, учитывая неопределенность; проводить моделирование процессов в геотехнологии с использованием специализированного ПО; анализировать, интерпретировать и визуализировать результаты моделирования, а также оценивать их достоверность.	адекватного типа модели и программного обеспечения для решения поставленной задачи; работа с исходными данными, подготовка для моделирования, учитывая неопределенность .	представления, назначению (аналитические, численные, физические, математические, информационные, имитационные, графические, цифровые двойники). Специфика моделирования для открытых, подземных и строительных разделов геотехнологии. Цикл моделирования: от постановки задачи и сбора данных до интерпретации результатов и принятия решений. Проблема качества исходных данных и неопределенности. Основные подходы: детерминированный, стохастический. Цифровые двойники в горной отрасли: концепция, применение, перспективы.	практические задания для самоконтроля
		- выбор адекватного типа модели и программного обеспечения для решения поставленной задачи; работа с исходными данными, подготовка для моделирования, учитывая неопределенность .	Тема 2. Математическое моделирование. Типы математических моделей (аналитические, имитационные, статистические, оптимизационные). Применение дифференциальных уравнений, линейной алгебры, теории вероятностей, математической статистики, оптимизационных методов для решения горно-геотехнических задач.	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля
		- выбор адекватного типа модели и программного обеспечения для решения поставленной	Тема 3. Физическое моделирование. Понятие физической модели и физического моделирования. Роль физического моделирования в науке и практике горного дела и	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты,

		задачи; работа с исходными данными, подготовка для моделирования, учитывая неопределенность ; анализ, интерпретация и визуализация результатов моделирования, а также оценка их достоверности.	строительства. Преимущества и ограничения физических моделей. Области применения физического моделирования в геотехнологии (открытые, подземные горные работы, строительство подземных сооружений). Критерии подобия (безразмерные комплексы). Законы подобия для различных физических процессов (механических, тепловых, гидродинамических и др.). Требования к материалам-аналогам. Основные типы материалов-аналогов: песок, глина, гипс, парафин, воск, полимеры, композиты, гелеобразные материалы. Методы подбора и приготовления материалов-аналогов с требуемыми физико-механическими свойствами. Проведение эксперимента, сбор и фиксация данных. Обработка и анализ результатов. Обзор датчиков и измерительных систем, используемых в физическом моделировании (тензодатчики, датчики перемещений, давления, температуры, расхода). Методы регистрации деформаций, разрушений, смещений (фотограмметрия, лазерное сканирование, цифровой анализ изображений, рентгенография). Использование высокоскоростной съемки и видеоанализа. Установки для моделирования горного давления, обрушений (пресс-камеры, стенды). Исследование устойчивости горных выработок (камер, целиков, лав), влияние крепи. Моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.	творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля
--	--	---	--	--

		- проведение моделирования процессов в геотехнологии с использованием специализированного ПО; анализ, интерпретация и визуализация результатов моделирования, а также оценка их достоверности.	Тема 4. Численное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ для решения задач геомеханики: анализ напряженно-деформированного состояния массива, устойчивости бортов карьеров, откосов, подземных выработок, влияния крепи. Программные комплексы (Phase2, Abaqus, ANSYS, COMSOL, ZSoil). Метод дискретных элементов (МДЭ). Теоретические основы, моделирование взаимодействия дискретных элементов (частиц, блоков). Применение МДЭ для моделирования обрушений, движения горной массы, деформаций трещиноватых массивов. Метод граничных элементов (МГЭ). Принципы, преимущества для задач с большими объемами и сложной геометрией границ. Применение в геомеханике и гидрогеологии. Другие численные методы. Использование искусственного интеллекта при решении задач моделирования в сфере геотехнологии.	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля
3	<u>Навыки:</u> построения и использования моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли; работы с современным программным обеспечением для комплексного геотехнологического моделирования; методологии оценки и управления	- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли.	Тема 1. Методологические основы моделирования. Понятие и классификация моделей в горном деле. Определение модели, моделирования и их роль в геотехнологии. Основные принципы: адекватность, подобие, гомоморфность, изоморфизм. Классификация моделей по природе, способу представления, назначению (аналитические, численные, физические, математические, информационные, имитационные, графические, цифровые двойники). Специфика моделирования	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля

	неопределенность ю в моделях; критического анализа результатов моделирования и их применимости в реальных условиях.		для открытых, подземных и строительных разделов геотехнологии. Цикл моделирования: от постановки задачи и сбора данных до интерпретации результатов и принятия решений. Проблема качества исходных данных и неопределенности. Основные подходы: детерминированный, стохастический. Цифровые двойники в горной отрасли: концепция, применение, перспективы.	
		- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли.	Тема 2. Математическое моделирование. Типы математических моделей (аналитические, имитационные, статистические, оптимизационные). Применение дифференциальных уравнений, линейной алгебры, теории вероятностей, математической статистики, оптимизационных методов для решения горно- геотехнических задач.	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретически е вопросы и практические задания для самоконтроля
		- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли; методология оценки и управления неопределенность ю в моделях; критический анализ результатов моделирования и их применимость в реальных условиях.	Тема 3. Физическое моделирование. Понятие физической модели и физического моделирования. Роль физического моделирования в науке и практике горного дела и строительства. Преимущества и ограничения физических моделей. Области применения физического моделирования в геотехнологии (открытые, подземные горные работы, строительство подземных сооружений). Критерии подобия (безразмерные комплексы). Законы подобия для различных физических процессов (механических, тепловых, гидродинамических и др.). Требования к материалам-аналогам. Основные типы материалов- аналогов: песок, глина, гипс,	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретически е вопросы и практические задания для самоконтроля

			парафин, воск, полимеры, композиты, гелеобразные материалы. Методы подбора и приготовления материалов-аналогов с требуемыми физико-механическими свойствами. Проведение эксперимента, сбор и фиксация данных. Обработка и анализ результатов. Обзор датчиков и измерительных систем, используемых в физическом моделировании (тензодатчики, датчики перемещений, давления, температуры, расхода). Методы регистрации деформаций, разрушений, смещений (фотограмметрия, лазерное сканирование, цифровой анализ изображений, рентгенография). Использование высокоскоростной съемки и видеоанализа. Установки для моделирования горного давления, обрушений (пресс-камеры, стенды). Исследование устойчивости горных выработок (камер, целиков, лав), влияние крепи. Моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.	
		- построение и использование моделей для прогнозирования, оптимизации и принятия решений в горной отрасли; работа с современным программным обеспечением для комплексного геотехнологического моделирования; методология	Тема 4. Численное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ для решения задач геомеханики: анализ напряженно-деформированного состояния массива, устойчивости бортов карьеров, откосов, подземных выработок, влияния крепи. Программные комплексы (Phase2, Abaqus, ANSYS, COMSOL, ZSoil). Метод дискретных элементов (МДЭ). Теоретические основы, моделирование взаимодействия дискретных	Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений), тесты, рефераты, творческие задания, теоретические вопросы и практические задания для самоконтроля

		оценки и управления неопределенностью в моделях; критический анализ результатов моделирования и их применимость в реальных условиях.	элементов (частиц, блоков). Применение МДЭ для моделирования обрушений, движения горной массы, деформаций трещиноватых массивов. Метод граничных элементов (МГЭ). Принципы, преимущества для задач с большими объемами и сложной геометрией границ. Применение в геомеханике и гидрогеологии. Другие численные методы. Использование искусственного интеллекта при решении задач моделирования в сфере геотехнологии.	
--	--	--	---	--

**Фонды оценочных средств по дисциплине
«Основы моделирования горных процессов»**

Вопросы для обсуждения (в виде докладов и сообщений)

1. Роль моделирования в геотехнологии.
2. Принципы моделирования, типы моделей, цикл моделирования, цифровые двойники, неопределенность данных.
3. Детерминированные и стохастические подходы в моделировании горных процессов: сравнительный анализ и области применения.
4. Работа с неопределенностью, выбор подхода, примеры из геотехнологии.
5. Концепция "цифровых двойников" в горной отрасли: текущее состояние и перспективы развития.
6. Применение дифференциальных уравнений и линейной алгебры для моделирования геомеханических процессов.
7. Конкретные примеры применения математических моделей в геотехнологии.
8. Оптимизационные методы в горно-геотехнических задачах: от теории до практического применения.
9. Линейное программирование, нелинейная оптимизация.
10. Критерии подобия и законы подобия в физическом моделировании горных процессов.
11. Теоретические основы, безразмерные комплексы, масштабирование, применимость.
12. Выбор и подготовка материалов-аналогов для физического моделирования: влияние свойств на результаты.
13. Свойства материалов и методы подбора.
14. Современные измерительные системы и методы регистрации данных в физическом моделировании горного давления.
15. Тензодатчики, фотограмметрия, лазерное сканирование, высокоскоростная съемка.
16. Физическое моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.
17. Методология, результаты, сравнение с натурными наблюдениями.
18. Метод конечных элементов (МКЭ) в анализе напряженно-деформированного состояния массива горных пород.
19. Принципы МКЭ.
20. Программные комплексы реализующие МКЭ.
21. Метод дискретных элементов (МДЭ) для моделирования обрушений и движения горной массы.
22. Теоретические основы МДЭ, особенности применения, примеры.
23. Применение метода граничных элементов (МГЭ) в геомеханике и гидрогеологии.
24. Принципы МГЭ, преимущества для сложных геометрий, области использования.
25. Использование искусственного интеллекта в задачах моделирования

геотехнологии: перспективы и вызовы.

26. Машинное обучение, нейронные сети, оптимизация, прогнозирование.

27. Сравнительный анализ различных типов моделей для решения конкретных геотехнологических задач.

28. Выбор оптимального подхода, преимущества и ограничения каждого метода.

29. Верификация и валидация результатов моделирования в горном деле: критерии достоверности и методы оценки.

30. Примеры ошибок и их предотвращения.

31. Моделирование как инструмент оптимизации процессов и принятия управленческих решений в горной отрасли.

32. Кейс-стади, влияние на экономическую эффективность, снижение рисков.

33. Интеграция различных методов моделирования для комплексного анализа устойчивости горных выработок.

34. Комбинирование МКЭ, МДЭ, физического моделирования для повышения точности прогнозов.

35. Примеры использования нейронных сетей для моделирования горных процессов.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «доклад, сообщение»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Доклад (сообщение) представлен(о) на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
4	Доклад (сообщение) представлен(о) на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
3	Доклад (сообщение) представлен(о) на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
2	Доклад (сообщение) представлен(о) на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Творческие задания

1. Проанализируйте различные классификации моделей применительно к конкретным геотехнологическим задачам. Представьте сравнительную таблицу с примерами, демонстрируя, как каждый тип модели может быть применен для решения специфических проблем в горном деле.

2. Выберите реальную или гипотетическую геотехнологическую проблему. Разработайте детальную схему полного цикла моделирования для этой задачи, начиная от постановки проблемы и сбора исходных данных до интерпретации результатов и принятия решений.

3. На примере гипотетического проекта проанализируйте, как качество исходных данных и их неопределенность могут повлиять на достоверность и надежность результатов моделирования. Предложите конкретные методы оценки и управления этой неопределенностью, такие как чувствительный анализ или использование стохастических подходов.

4. Разработайте концепцию цифрового двойника для выбранного типа горного предприятия. Опишите, какие типы данных будут интегрированы, какие основные процессы будут моделироваться в реальном времени, и каким образом этот цифровой двойник может быть использован для принятия оперативных и стратегических управленческих решений, а также для прогнозирования и оптимизации производственных показателей.

5. Сравните детерминированный и стохастический подходы к моделированию на примере задачи прогнозирования сдвижений земной поверхности над очистной выработкой или оценки устойчивости горного массива. Обоснуйте, в каких конкретных случаях каждый подход является более предпочтительным, учитывая доступность данных и требуемую точность прогноза. Укажите, какие типы исходных данных и математического аппарата необходимы для каждого из них.

6. Используя дифференциальные уравнения, постройте математическую модель для описания процесса фильтрации воды к горной выработке. Решите полученную модель аналитически или численно с использованием доступного программного обеспечения. Проанализируйте влияние различных параметров на объем водопритока.

7. Сформулируйте задачу оптимизации параметров буровзрывных работ для достижения максимального выхода кондиционной горной массы при минимальных затратах и соблюдении экологических норм. Используйте методы линейной или нелинейной оптимизации. Представьте математическую модель и предложите алгоритм ее решения.

8. Используя набор данных о факторах, влияющих на устойчивость горных выработок, проведите статистический анализ. Визуализируйте результаты и сделайте выводы о наиболее значимых факторах.

9. Разработайте простую имитационную модель для анализа транспортных потоков на открытом горном предприятии. Модель должна учитывать количество самосвалов и экскаваторов, расстояния транспортировки, время загрузки/разгрузки, возможные задержки. Оцените общую производительность

системы, время простоя оборудования и выявите "узкие места", предложив меры по их устранению.

10. Используя упрощенную модель горного массива, примените методы линейной алгебры для расчета распределения напряжений и деформаций вокруг простой горной выработки. Визуализируйте полученные поля напряжений.

11. Для задачи физического моделирования устойчивости откоса карьера высотой 100 м, выполненного в скальных породах с определенными физико-механическими свойствами, предложите подходящие материалы-аналоги из списка. Обоснуйте свой выбор, исходя из требуемых физико-механических свойств и необходимости соблюдения критериев подобия.

12. Для физической модели, предназначенной для исследования горного давления на крепь подземной выработки, определите необходимые критерии подобия, такие как критерий Коши, Фруда, Рейнольдса. Рассчитайте масштабы для геометрических размеров, плотности, прочности материалов, если масштаб по длине задан как 1:100. Объясните, как масштабы влияют на интерпретацию результатов.

13. Разработайте концепцию экспериментальной установки для физического моделирования процессов обрушения кровли в лаве или устойчивости целиков. Опишите основные элементы установки, принципы создания нагрузки, а также методы регистрации деформаций и разрушений.

14. Сравните различные методы регистрации деформаций, разрушений и смещений в физических моделях. Оцените преимущества и ограничения каждого метода для разных типов задач физического моделирования в геотехнологии.

15. Предложите схему физической модели для исследования процессов сдвижения земной поверхности над очистной выработкой или при отработке месторождения открытым способом. Опишите выбор масштаба, материалов-аналогов, а также методов измерения и фиксации смещений на поверхности модели.

16. Используя программный комплекс "Ли́ра" (или другой доступный ПК), создайте 2D или 3D геомеханическую модель для анализа напряженно-деформированного состояния массива вокруг одиночной подземной выработки. Проведите расчеты, визуализируйте поля напряжений и деформаций (перемещений) и проанализируйте их распределение.

17. Постройте численную модель борта карьера в программном комплексе, реализующем МКЭ. Проведите анализ устойчивости борта при различных углах откоса, физико-механических свойствах пород и гидрогеологических условиях. Оцените коэффициент запаса устойчивости, определите потенциальные поверхности скольжения и зоны разрушения.

18. Создайте модель подземной выработки с крепью в МКЭ-программе. Исследуйте, как различные типы крепи, их параметры и последовательность крепления влияют на напряженно-деформированное состояние массива и общую устойчивость выработки.

19. Проведите обзор актуальных научных публикаций, отраслевых отчетов и кейсов по применению искусственного интеллекта для решения различных задач моделирования в сфере геотехнологии. Примеры включают прогнозирование свойств пород, оптимизацию добычи, мониторинг

устойчивости, автоматизацию процессов. Представьте краткий аналитический отчет, выделяя основные тенденции и вызовы.

20. Исследуйте, как методы искусственного интеллекта могут быть использованы для динамической оптимизации режимов вентиляции в подземных рудниках. Целью оптимизации может быть минимизация энергопотребления при обеспечении нормативных условий труда и безопасности. Предложите концепцию системы интеллектуального управления вентиляцией.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «творческое задание»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Творческое задание представлено на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений и т.п.). Оформлено в соответствии с требованиями предъявляемыми к данному виду работ.
4	Творческое задание представлено на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений и т.п.). В оформлении допущены некоторые неточности в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
3	Творческое задание представлено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками и т.п.). В оформлении допущены ошибки в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
2	Творческое задание представлено на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Темы рефератов

1. Роль моделирования в геотехнологии.
2. Принципы моделирования, типы моделей, цикл моделирования, цифровые двойники, неопределенность данных.
3. Детерминированные и стохастические подходы в моделировании горных процессов: сравнительный анализ и области применения.
4. Работа с неопределенностью, выбор подхода, примеры из геотехнологии.
5. Концепция "цифровых двойников" в горной отрасли: текущее состояние и перспективы развития.
6. Применение дифференциальных уравнений и линейной алгебры для моделирования геомеханических процессов.
7. Конкретные примеры применения математических моделей в геотехнологии.
8. Оптимизационные методы в горно-геотехнических задачах: от теории до практического применения.
9. Линейное программирование, нелинейная оптимизация.
10. Критерии подобия и законы подобия в физическом моделировании горных процессов.
11. Теоретические основы, безразмерные комплексы, масштабирование, применимость.
12. Выбор и подготовка материалов-аналогов для физического моделирования: влияние свойств на результаты.
13. Свойства материалов и методы подбора.
14. Современные измерительные системы и методы регистрации данных в физическом моделировании горного давления.
15. Тензодатчики, фотограмметрия, лазерное сканирование, высокоскоростная съемка.
16. Физическое моделирование процессов сдвижения земной поверхности под влиянием горных работ.
17. Методология, результаты, сравнение с натурными наблюдениями.
18. Метод конечных элементов (МКЭ) в анализе напряженно-деформированного состояния массива горных пород.
19. Принципы МКЭ.
20. Программные комплексы реализующие МКЭ.
21. Метод дискретных элементов (МДЭ) для моделирования обрушений и движения горной массы.
22. Теоретические основы МДЭ, особенности применения, примеры.
23. Применение метода граничных элементов (МГЭ) в геомеханике и гидрогеологии.
24. Принципы МГЭ, преимущества для сложных геометрий, области использования.
25. Использование искусственного интеллекта в задачах моделирования геотехнологии: перспективы и вызовы.
26. Машинное обучение, нейронные сети, оптимизация, прогнозирование.
27. Сравнительный анализ различных типов моделей для решения

конкретных геотехнологических задач.

28. Выбор оптимального подхода, преимущества и ограничения каждого метода.

29. Верификация и валидация результатов моделирования в горном деле: критерии достоверности и методы оценки.

30. Примеры ошибок и их предотвращения.

31. Моделирование как инструмент оптимизации процессов и принятия управленческих решений в горной отрасли.

32. Кейс-стади, влияние на экономическую эффективность, снижение рисков.

33. Интеграция различных методов моделирования для комплексного анализа устойчивости горных выработок.

34. Комбинирование МКЭ, МДЭ, физического моделирования для повышения точности прогнозов.

35. Примеры использования нейронных сетей для моделирования горных процессов.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «реферат»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Реферат представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Оформлен в соответствии с требованиями предъявляемыми к данному виду работ.
4	Реферат представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). В оформлении допущены некоторые неточности в соответствии с требованиями предъявляемыми к данному виду работ.
3	Реферат представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). В оформлении допущены ошибки в соответствии с требованиями предъявляемыми к данному виду работ.
2	Реферат представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Оценочные средства для самоконтроля

Теоретические вопросы

1. Что такое модель и моделирование в геотехнологии?
2. Какие основные принципы лежат в основе моделирования?
3. Какие существуют классификации моделей по природе, способу представления и назначению?
4. В чём специфика моделирования для открытых, подземных и строительных разделов геотехнологии?
5. Каков цикл моделирования от постановки задачи до принятия решений?
6. Какие подходы к моделированию используются в геотехнологии (детерминированный, стохастический)?
7. Что такое цифровые двойники и каковы перспективы их применения в горной отрасли?
8. Какие типы математических моделей используются в геотехнологии?
9. Как применяются дифференциальные уравнения, линейная алгебра, теория вероятностей и математическая статистика для решения горно-геотехнических задач?
10. Как используются оптимизационные методы в математическом моделировании для решения задач геотехнологии?
11. Какие примеры успешного применения математических моделей в геотехнологии можно привести?
12. Что такое физическая модель и физическое моделирование?
13. В чём роль физического моделирования в науке и практике горного дела и строительства?
14. Каковы преимущества и ограничения физических моделей?
15. Какие области применения физического моделирования в геотехнологии?
16. Какие критерии подобия используются в физическом моделировании?
17. Какие требования предъявляются к материалам-аналогам в физическом моделировании?
18. Какие основные типы материалов-аналогов используются в физическом моделировании и как они подбираются?
19. Какие методы регистрации деформаций, разрушений и смещений применяются в физическом моделировании?
20. Как проводится обработка и анализ результатов физического моделирования?
21. Что такое метод конечных элементов (МКЭ) и как он применяется в геомеханике?
22. Какие программные комплексы используются для численного моделирования в геотехнологии?
23. Что такое метод дискретных элементов (МДЭ) и как он используется для моделирования обрушений и движения горной массы?
24. Что такое метод граничных элементов (МГЭ) и в чём его преимущества для задач с большими объёмами и сложной геометрией границ?
25. Каковы преимущества и ограничения метода конечных элементов

(МКЭ) в геомеханике?

26. Как метод дискретных элементов (МДЭ) помогает моделировать взаимодействие дискретных элементов в геотехнологии?

27. В каких случаях предпочтительно использовать метод граничных элементов (МГЭ) в геомеханике и гидрогеологии?

28. Какие другие численные методы применяются в геотехнологии и как они интегрируются с использованием искусственного интеллекта?

Практические задания

1. Используя упрощенную модель горного массива, примените методы линейной алгебры для расчета распределения напряжений и деформаций вокруг простой горной выработки. Визуализируйте полученные поля напряжений.

2. Для задачи физического моделирования устойчивости откоса карьера высотой 100 м, выполненного в скальных породах с определенными физико-механическими свойствами, предложите подходящие материалы-аналоги из списка. Обоснуйте свой выбор, исходя из требуемых физико-механических свойств и необходимости соблюдения критериев подобия.

3. Для физической модели, предназначенной для исследования горного давления на крепь подземной выработки, определите необходимые критерии подобия, такие как критерий Коши, Фруда, Рейнольдса. Рассчитайте масштабы для геометрических размеров, плотности, прочности материалов, если масштаб по длине задан как 1:100. Объясните, как масштабы влияют на интерпретацию результатов.

4. Разработайте концепцию экспериментальной установки для физического моделирования процессов обрушения кровли в лаве или устойчивости целиков. Опишите основные элементы установки, принципы создания нагрузки, а также методы регистрации деформаций и разрушений.

5. Сравните различные методы регистрации деформаций, разрушений и смещений в физических моделях. Оцените преимущества и ограничения каждого метода для разных типов задач физического моделирования в геотехнологии.

6. Предложите схему физической модели для исследования процессов сдвижения земной поверхности над очистной выработкой или при отработке месторождения открытым способом. Опишите выбор масштаба, материалов-аналогов, а также методов измерения и фиксации смещений на поверхности модели.

7. Используя программный комплекс "Лира" (или другой доступный ПК), создайте 2D или 3D геомеханическую модель для анализа напряженно-деформированного состояния массива вокруг одиночной подземной выработки. Проведите расчеты, визуализируйте поля напряжений и деформаций (перемещений) и проанализируйте их распределение.

8. Постройте численную модель борта карьера в программном комплексе, реализующем МКЭ. Проведите анализ устойчивости борта при различных углах откоса, физико-механических свойствах пород и гидрогеологических условиях. Оцените коэффициент запаса устойчивости, определите потенциальные поверхности скольжения и зоны разрушения.

9. Создайте модель подземной выработки с крепью в МКЭ-программе. Исследуйте, как различные типы крепи, их параметры и последовательность крепления влияют на напряженно-деформированное состояние массива и общую устойчивость выработки.

10. Исследуйте, как методы искусственного интеллекта могут быть использованы для динамической оптимизации режимов вентиляции в подземных выработках.

Критерии и шкала оценивания к промежуточной аттестации «зачет»

Характеристика знания предмета и ответов	Зачет
Обучающийся глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Выполнил все предусмотренные задания, имеет положительные оценки по всем контрольным точкам.	зачтено
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, возможно допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач. Выполнил все предусмотренные задания, имеет положительные оценки по всем контрольным точкам.	
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы. Выполнил не все предусмотренные задания, имеет положительные оценки не по всем контрольным точкам.	не зачтено

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее – ФОС) по дисциплине «Основы моделирования горных процессов» соответствует требованиям Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной образовательной программы по специальности 2.8.8 Геотехнология, горные машины.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки аспирантов по указанной специальности.

Председатель учебно-методической
комиссии Антрацитовского института
геосистем и технологий



И.В. Савченко

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)