

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король



МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности

7-06-0533-06 Механика и математическое моделирование
Профилизация: Теоретическая и прикладная механика

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-06-0533-06-2023, учебного плана №М54-5.4-44/уч. от 15.02.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Журавков М.А., заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

Лопатин С.Н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕЦЕНЗЕНТ:

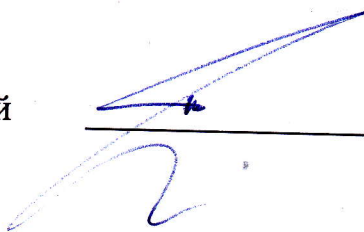
Василевич Ю.В., доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры Теоретическая механика и механика материалов машиностроительного факультета БНТУ.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики БГУ (протокол № 12 от 28.05.2024);

Научно-методическим советом БГУ (протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Механико-математические модели современной геомеханики» является повышение общепрофессионального уровня подготовки студентов, получение новых знаний по специальным разделам современной механики – геомеханики, гидрогеомеханики, газогео­механики.

Задачами дисциплины «Механико-математические модели современной геомеханики» являются:

- знакомство с геомеханикой как разделом современной механики;
- знакомство с классификацией задач геомеханики с точки зрения постановки граничных задач механики;
- знакомство с механико-математическими моделями решения различных классов задач геомеханики;
- знакомство с механико-математическими моделями решения различных классов сопряженных задач геомеханики (гидрогеомеханики, геомеханики и газодинамики);
- знакомство с современными подходами численного решения модельных задач геомеханики;
- развитие профессионального мышления, которое обеспечивает специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные пути их решения и методу осуществления решений;

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к модулю «Специальные разделы механики сплошных сред» - 1, компонент учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Данная дисциплина опирается и использует знания ранее изучаемых дисциплин: «Механика сплошной среды», «Математические методы механики деформируемого твёрдого тела и основы механики разрушения»; «Численные методы механики сплошной среды».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Механико-математические модели современной геомеханики» должно обеспечить формирование **специализированной компетенции:**

СК: Применять аналитические, приближенные и численные методы к решению специальных задач биомеханики, геомеханики, механики сплошных сред, для расчета напряженно-деформированного состояния машиностроительных конструкций.

В результате изучения студент должен:

знать:

- классификацию задач геомеханики как задач механики деформируемого твердого тела;
- современные подходы и методы к построению механико-математических аналогов задач геомеханики и сопряженных задач геомеханики;
- современные методы решения модельных задач геомеханики как задач механики деформируемого твердого тела;
- новые современные разделы геомеханики.

уметь:

- осуществлять постановку начально-краевых задач геомеханики и сопряженных задач геомеханики как задач механики деформируемого твердого тела;
- осуществлять математическое и численное решение модельных задач геомеханики;
- совершенствовать классические модели механики деформируемого твердого тела с учетом специфики объекта исследования – массивов горных пород и подземных сооружений;
- выполнять анализ и обобщение результатов решения и моделирования, выдавать рекомендации и заключения.

иметь навыки:

- современными подходами и методами, аналитическими решениями прикладной математики для эффективного решения сложных задач современной геомеханики;
- современными технологиями численного моделирования и решения задач геомеханики.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Механико-математические модели современной геомеханики» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 18 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Геомеханика как раздел механики

О геомеханических процессах и явлениях. Определение и классификация задач геомеханики как задач механики сплошных и дискретных сред. Определение сопряженных задач геомеханики – задачи гидрогеомеханики, газогидрогеомеханики.

Тема 2. Актуальные фундаментальные и прикладные задачи современной геомеханики

Разработка современных продвинутых подходов и методов механико-математического и компьютерного моделирования широкого класса прикладных геомеханических процессов. О развитии фундаментальных знаний о поведении массивов горных пород с подземными сооружениями. О необходимости разработки новых механико-математических моделей поведения массивов горных пород с подземными сооружениями. Построение компьютерных цифровых геомеханических моделей породных массивов с разветвленной системой подземных сооружений с учетом структурных особенностей породных массивов, и использование таких моделей для изучения и прогнозирования физических процессов в массивах горных пород при воздействии естественных и техногенных источников возмущений. Разработка теоретических основ теорий «динамического деформирования геосред при мощных природных и техногенных воздействиях».

Тема 3. Основные механические характеристики и свойства горных пород и массивов горных пород

Основные механические характеристики горных пород. Классификация, определения. Корреляционные зависимости между основными механическими характеристиками горных пород. Полные диаграммы деформирования и разрушения при одноосном сжатии и растяжении. Механические характеристики горных пород и массивов. Масштабный эффект. Прочность породных массивов. Подходы к оценке механических характеристик и прочности породных массивов. Деформационные характеристики трещиноватого и блочного породного массива.

Тема 4. О моделировании особенностей структурного строения породной толщи

Учет слоистости и трещиноватости породного массива при моделировании. Моделирование блочной структуры. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок.

Тема 5. Современные представления о напряженном состоянии массивов горных пород

Определение начального напряженного состояния массивов горных пород как объекта механики деформируемого твердого тела. Гравитационные напряжения в насыпных породных сооружениях. О геодинамических напряжениях в массивах горных пород. К оценке величины бокового распора в

массивах горных пород. Горное давление. Подходы к оценке горного давления в массиве с подземными сооружениями.

Тема 6. Основные подходы и особенности механико-математического моделирования геомеханических процессов

О построении модельных задач геомеханики. Общие требования к построению механико-математических моделей при исследовании геомеханических процессов. Общие замечания о построении математических моделей изучения геомеханических процессов на основе методов МСС. Особенности построения краевых задач поверхностной, приповерхностной и подземной геомеханики. Построение расчетных схем с учетом масштабного фактора (размеры подземных сооружений и областей подрабатываемой толщи). Построение расчетных схем с учетом динамических эффектов и временного фактора. Построение расчетных схем с учетом формирования областей, находящихся в различном деформационном состоянии. Компьютерное моделирование сопряженных процессов. Сопряженные компьютерные схемы (разномасштабные механические процессы и исследуемые объекты, методы моделирования сплошных и дискретных сред). Компьютерное моделирование геомеханических процессов в особых зонах (разломы, макротрещины, мульды, области замещений и др. особенности).

Тема 7. Современные подходы и методы решения механико-математических модельных задач геомеханики в различных постановках и приближениях

Модели упругой (не)линейно-деформируемой сплошной среды. Моделирование состояния предельного равновесия деформируемой сплошной среды. Модели МДТТ применительно к решению задач определения НДС в массивах горных пород в окрестности глубоких подземных сооружений.

Тема 8. Моделирование деформационных процессов в массивах горных пород в областях проявления блочных структур

Общие положения. Математическая постановка задач описания состояния массива горных пород в предельном состоянии. Математические модели прогнозирования проявлений сдвигов в массиве горных пород с разветвленной системой подземных выработок. Подходы к построению механико-математических моделей поведения массивов горных пород в областях образования блочных структур.

Тема 9. Моделирование сопряженных геомеханических процессов

Определения, понятия. Моделирование сопряженных геомеханических и геофильтрационных процессов в породной толще. Системы разрешающих уравнений сопряженных задач гидрогазогеомеханики. Сопряженные задачи геомеханики и геотехники, устойчивость подземных геотехнических сооружений.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Геомеханика как раздел механики	2						Устный опрос, собеседование
2	Актуальные фундаментальные и прикладные задачи современной геомеханики	2						Устный опрос, собеседование
3	Основные механические характеристики и свойства горных пород и массивов горных пород	2						Устный опрос, собеседование
4	О моделировании особенностей структурного строения породной толщи	2			4			Отчет по индивидуальным работам/ лабораторным работам с устной защитой, контрольная работа
5	Современные представления о напряженном состоянии массивов горных пород	2			2			Отчет по индивидуальным работам/ лабораторным работам с устной защитой

6	Основные подходы и особенности механико-математического моделирования геомеханических процессов	2						Устный опрос, собеседование
7	Современные подходы и методы решения механико-математических модельных задач геомеханики в различных постановках и приближениях	2			8			Отчет по индивидуальным работам/ лабораторным работам с устной защитой, контрольная работа
8	Моделирование деформационных процессов в массивах горных пород в областях проявления блочных структур	2			4			Отчет по индивидуальным работам/ лабораторным работам с устной защитой
9	Моделирование сопряженных геомеханических процессов	2						Устный опрос, собеседование
	Всего	18			18			

ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Журавков М. А. Основные подходы, принципы и особенности механико-математического моделирования в геомеханике: курс лекций/ М. А. Журавков, С. Н. Лопатин; БГУ, Механико-математический факультет, Кафедра теоретической и прикладной механики. – Минск: БГУ, 2024. - 125 с. - URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/320041>.
2. Журавков М. А. Современные численные методы в механике: курс лекций / М.А. Журавков; БГУ, Механико-математический факультет, Кафедра теоретической и прикладной механики. - Минск: БГУ, 2022. - 132 с. - URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/286556>.
3. Журавков М. А. Математические модели механики твердых тел : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Механика и математическое моделирование", "Физика (по направлениям)", "Промышленное и гражданское строительство", "Автомобильные дороги" / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов ; БГУ. - Минск : БГУ, 2021. - 535 с.

Дополнительная литература

1. Журавков, М.А. Математическое моделирование деформационных процессов в твердых деформируемых средах. – Мн., БГУ, 2002. – 456 с.
2. Журавков М.А. Фундаментальные решения теории упругости и некоторые их применения в геомеханике, механике грунтов и оснований. Курс лекций. Минск: БГУ, 2008. 247 с.
3. Журавков М.А., Зубович В.С. Устойчивость и сдвигение массивов горных пород. М.: РУДН, 2009. 432 с.
4. Журавков М.А., Коновалов О.Л., Богдан С.И., Прохоров П.А., Круподеров А.В. Компьютерное моделирование в геомеханике / Под общ. ред. М.А. Журавкова. Мн. БГУ, 2008. 443 с.
5. Zhuravkov M., Lyu Y., Starovoitov E. Mechanics of Solid Deformable. - Body. Springer. 2023. - 317p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущего контроля: устный опрос, собеседование, отчет по индивидуальным работам / лабораторным работам с устной защитой.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Механико-математические модели современной геомеханики» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- выполнение индивидуальных заданий – 25 %;
- выполнение контрольной работы – 50%;
- опросы – 25 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 40% и экзаменационной отметки - 60%.

Примерная тематика лабораторных занятий

Тема 4. О моделировании особенностей структурного строения породной толщи. Изучение различных вариантов формирования структуры массива и переходов массива в эти состояния под воздействием внешних факторов. Решение модельных задач при помощи численных методов.

Тема 5. Современные представления о напряженном состоянии массивов горных пород. Решение задач об определении НДС геоматериалов. Определение компонент тензора напряжений, тензора деформаций и вектора перемещений.

Тема 7. Современные подходы и методы решения механико-математических модельных задач геомеханики в различных постановках и приближениях. Решение задач об определении НДС участков породного массива с подземными сооружениями при помощи численных методов: метода конечных элементов, метода дискретных элементов и метода блочных элементов, а также при помощи аналитических методов и метода нейронных сетей.

Тема 8. Моделирование деформационных процессов в массивах горных пород в областях проявления блочных структур. Применение сопряжённого МКЭ-МБЭ алгоритма к решению задач об определении прочности и устойчивости подземных сооружений на различных масштабах.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к практическим занятиям, материалы текущего контроля и промежуточной аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к экзамену, типовые задания, тесты, вопросы для самоконтроля, тематика рефератов и др., список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Геомеханические процессы явления как предмет механики. Определение и классификация задач геомеханики как задач механики сплошных и дискретных сред.
2. Определение и описание сопряженных задач геомеханики (задачи гидрогеомеханики, газогемеханики).
3. Особенности, правила и подходы к построению модельных краевых задач геомеханики.
4. Естественное напряженное состояние массива горных пород. Подходы к определению.
5. Понятие горного давления.
6. Системы разрешающих уравнений задач геомеханики в рамках упругих моделей.
7. Системы разрешающих уравнений задач геомеханики в рамках вязкоупругих моделей.
8. Системы разрешающих уравнений задач геомеханики в рамках моделей упругопластических сред.
9. Системы разрешающих уравнений динамических задач механики

горных пород и массивов.

10. О построении модельных задач геомеханики с учетом формирования областей, находящихся в различном деформационном состоянии.

11. Эффект образования зон дезинтеграции в окрестности подземных сооружений.

12. Подходы к моделированию зон трещиноватости, разрушения и распространения макротрещин в массивах горных пород с подземными сооружениями.

13. Особенности компьютерного моделирования геомеханических процессов. Особенности построения компьютерных моделей задач поверхностной, приповерхностной и подземной геомеханики.

14. Основные подходы к построению компьютерных моделей задач геомеханики. Построение расчетных схем с учетом масштабного фактора (размеры подземных сооружений и областей подрабатываемой толщи).

15. Построение расчетных схем с учетом формирования областей, находящихся в различном деформационном состоянии.

16. Компьютерное моделирование сопряженных геомеханических процессов.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук,
(ученая степень, ученое звание)
профессор

28. мая 2024 г.

(подпись)

М.А. Журавков
(И.О.Фамилия)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____(протокол № ____ от _____ 202_ г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)