

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан Геологического факультета
академик

_____ /Д.Ю.Пушаровский/

«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Решение инженерно-геологических задач численными методами

Авторы-составители: Калинин Э.В., Панасьян Л.Л.

Уровень высшего образования:

магистратура (ИМ)

Направление подготовки:

05.04.01 «Геология»

Профиль ОПОП:

Гидрогеология, инженерная геология, геокриология

Магистерская программа:

Инженерная геология

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № ____ от _____)

Москва

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2019.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины "Решение инженерно-геологических задач численными методами" является практическое освоение методики расчета, составления и написания профессионального заключения о геомеханических процессах в массивах пород, исходя из освоения методологических подходов к исследованию неоднородных массивов грунтов, находящихся в разных состояниях, содержащих подземные и наземные выработки.

Задачами дисциплины являются: освоение способов оценки напряжений и деформаций с помощью ряда программ как лицензионных, так и оригинальных, разработанных на кафедре в сотрудничестве с кафедрой механики композитов механико-математического факультета МГУ; написание отчета по выполненному заданию, включающему характеристику геологической обстановки, схематизацию природных условий, модели распределения свойств, анализ напряженно-деформированного состояния изученного массива горных пород и его изменения при техногенном воздействии и представление результатов в виде графиков и эпюр.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, дисциплина по выбору, курс – 1, семестр – 2.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

дисциплина «Решение инженерно-геологических задач численными методами» базируется на курсах дисциплин математического и естественнонаучного циклов: «Высшая математика», «Физика», «Уравнения математической физики», и также на материалах таких дисциплин, как «Механика грунтов», «Инженерная геология, часть 2. Инженерная геодинамика», «Гидрогеодинамика», «Инженерно-геологические расчеты и моделирование». Знания, получаемые в данном курсе, могут быть использованы при подготовке магистерских работ.

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:

ОПК-5.М. Способность использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности

ПК-4.М. Способность создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии

ПК-7.М. Способность использовать специализированные профессиональные теоретические знания и практические навыки для проведения прикладных исследований

ПК-9.М. Способность использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач.

СПК-4.М. Способность составлять прогноз развития природных и природно-техногенных процессов, в том числе на базе их мониторинга.

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

Знать: типы численных методов решения задач о напряженном состоянии (НДС), способы задания граничных условий, принципы построения геомеханической модели грунтовых массивов, теоретические модели напряженного состояния тел, факторы, влияющие на распределение напряжений в верхних горизонтах Земной коры, теории прочности грунтов, методы оценки устойчивости склонов и откосов, волновые процессы в грунтах при динамических воздействиях.

Уметь: построить геологический разрез и провести его схематизацию для расчетов, дать обоснованную характеристику свойств пород массива и создать по ним модель массива, пользоваться готовыми программами для решения инженерно-геологических задач, выполнить расчеты напряженного состояния массива в исходном состоянии и в

результате дополнительного воздействия разных природных и техногенных факторов, оценить их влияние на перераспределение напряжений, рассчитывать устойчивость природных массивов с горизонтальной и неровной поверхностью, составить письменное заключение по объекту исследований.

Владеть: навыками составления расчётных схем на основе литературных данных или собственного фактического материала, выбора метода расчета в зависимости от факторов, влияющих на НДС, способами обработки и анализа полученных результатов расчетов с объяснением причин распределения НДС и возникновения зон концентрации напряжений.

4. Формат обучения – лекционные, семинарские занятия.

5. Объем дисциплины составляет 3 з.е., 108 академических часов, в том числе 39 часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (13 часов – занятия лекционного типа, 26 часов – занятия семинарского типа), 69 часов отведено на самостоятельную работу (в том числе 10 часов на мероприятия промежуточной аттестации). Форма промежуточной аттестации – экзамен.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе рассматриваются основные численные методы и программы, использующие варианты методов и приемы составления моделей инженерно-геологических массивов пород. Предоставляются расширенные возможности решения задач о напряжении в неоднородных массивах пород при проведении студентами практических самостоятельных расчётов и выработке навыков написания заключений о распределении напряжений и возможных процессах в массивах горных пород на примере собственных материалов по геологическому строению объектов исследований, полученных ими в процессе прохождения практики. Рассматриваются способы обработки результатов моделирования природных массивов и проведения анализа перераспределения напряжений при воздействии различных геологических и техногенных факторов.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе			Самостоятельная работа обучающегося*, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)			
		Виды контактной работы, часы			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего			
Задачи изучения напряженно-деформированного состояния. Принципы схематизации		1	2	3	Подготовка геологических материалов для составления задания, 5 часов
Распределение напряжений в верхних горизонтах Земной		1	2	3	Создание расчетных моделей, 5 часов

кору					
Аналитические и численные методы расчета		1	2	3	
Изучение напряжений в неоднородных массивах горных пород		1	2	3	Подготовка к устному опросу, 5 часов
Изучение напряжений в массиве горных пород с трещинами		1	2	3	Проведение первой серии расчетов, 5 часов Выполнение практических заданий по массивам с трещинами, 5 часов
Знакомство с программой TWTW		1	2	3	Выполнение практического задания по неоднородным массивам, 5 часов
Изучение напряжений в флюидонасыщенных массивах горных пород		1	2	3	Оценка влияния на НДС техногенных воздействий, 5 часов
Знакомство с программным комплексом Geostudio		1	2	3	
Изучение напряжений в природных склонах и откосах		1	2	3	Выполнение второй серии расчетов, 5 часов
Изучение устойчивости массивов горных пород		1	2	3	Выполнение практических заданий по склонам, 5 часов
Изучение напряжений в массиве пород при сейсмическом воздействии		1	2	3	Подготовка к устному опросу, 5 часов
Знакомство с программным комплексом Abaqus		1	2	3	Выполнение практического задания по анализу НДС, 5 часов
Изучение движения селей и оползней потоков		1	2	3	Подготовка письменного отчета, 4 часа
Промежуточная аттестация - экзамен					10
Итого	108		39		69

*Текущий контроль успеваемости проводится в рамках занятий семинарского типа.

Содержание дисциплины:

Введение

Основные задачи изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) природных массивов. Роль НДС при оценке инженерно-геологических условий строительства сооружений. Анализ геологических материалов для выполнения задачи и выбор сооружения. Принципы геомеханической схематизации. Способы назначения расчетных параметров и составление моделей распределения свойств. Границы применимости расчетных моделей. Иерархия сил, действующих на напряженное состояние горных пород.

Основные представления о напряженном состоянии тел

Понятие о напряжениях. Однородное и неоднородное напряженное состояние. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Компоненты напряжений. Анализ напряженного состояния с помощью главных напряжений.

Напряженное состояние природного массива и основные факторы, его определяющие

Распределение напряжений в верхних горизонтах Земной коры от собственного веса. Модель Динника. Влияние тектонических сил. Влияние на распределение напряжений неровностей рельефа. Расчет напряжений от собственного веса грунтового массива с учетом гидростатических сил. Влияние неоднородности и анизотропии на распределение напряжений в массивах пород.

Модели инженерно-геологических массивов пород и методы численного моделирования НДС

Изучение напряжений в однородных массивах горных пород с неровной верхней границей. Аналитические методы (формулы Д.М. Ахпателова, Б. Жумабаева, Э.В. Калинина, С.Н. Савченко)

Изучение напряжений в неоднородных массивах горных пород с горизонтальной и неровной поверхностью, при наличии пригрузки от сооружения, осложненных наземными и подземными выработками, при действии тектонических и гидростатических сил. Конечно-разностные методы (КРМ). Решение задачи с помощью КРМ для случая плоской деформации в условиях гравитации (программа PLL).

Изучение напряжений в массиве горных пород с трещинами. Метод граничных элементов (МГЭ). Основные типы метода: фиктивных нагрузок, разрывных смещений, граничных интегралов. Решение задачи с помощью двумерного метода разрывных смещений для весомой среды (программа TWTW).

Изучение напряжений в флюидонасыщенных массивах горных пород. Теория фильтрационной консолидации. Методы К.Терцаги-Джекоба, М.Био и других авторов. Решение динамической задачи о деформации массива и оседания поверхности при откачке жидкости из пористой среды (программа Biofluid).

Изучение напряжений в массиве пород, слагающих склоны, при сейсмическом воздействии. Характеристика сейсмически волн. Решение динамической задачи об изменении напряженного состояния горных пород при прохождении продольной волны под разными углами к поверхности склона (программа Volna).

Изучение напряжений в неоднородных массивах пород с сооружениями при статических и динамических воздействиях. Метод конечных элементов (МКЭ). Решение задачи с визуализацией строения массива при помощи пакета программ Abaqus CAE.

Изучение влияния анизотропии деформационных свойств пород на перераспределение напряжений. Решение задачи НДС для трансверсально изотропной среды.

Изучение напряжений в природных склонах и откосах. Определение наиболее вероятной поверхности скольжения и устойчивости склонов с учетом фильтрации подземных вод и сейсмического воздействия (программа Geostudio).

Изучение движения селей и оползней потоков. Модели, описывающие движение пород на склонах: уравнение Навье-Стокса, методы частиц и клеточных автоматов. Решение задачи о дальности перемещения оползневого и селевого материала (программа Potok).

Анализ условий разрушения массива пород путем сопоставления их напряженного состояния и прочности. Оценка концентрации напряжений в массивах пород.

Способы изображения распределения параметров, полученных с помощью расчетов, путем построения изолиний и эпюр в масштабе.

Составление отчетных материалов (заключения) по выполненному заданию, включающему геологическое строение объекта, обоснованный выбор и назначение расчетных параметров, схематизацию природных условий, результаты расчетов и их анализа.

Рекомендуемые образовательные технологии:

При реализации программы дисциплины «Решение инженерно-геологических задач численными методами» используются следующие образовательные технологии: лекционные и семинарские занятия. Самостоятельная работа студентов включает выполнение домашних заданий, подготовку к семинарским занятиям (к работе по выполнению расчетов, к участию в дискуссиях) и индивидуальную работу студентов в библиотеке Геологического факультета.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине:

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости:

Текущий контроль успеваемости проводится при сдаче студентом домашних расчетных задач, выполнении расчетных заданий во время аудиторных занятий, устных опросов.

Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов

Составление инженерно-геологических разрезов и подготовка к решению задач с использованием компьютерных технологий.

Типовые упражнения и расчетные задания

Выполнение геомеханической схематизации расчетной области, производство расчета напряженно-деформированного состояния массива пород на ЭВМ, представление и анализ полученных расчетом материалов, составление отчета по работе.

Содержание расчетных заданий

Построение инженерно-геологического разреза.

Выделение из инженерно-геологического разреза расчетной области прямоугольной формы с произвольной верхней границей.

Выполнение геомеханической схематизации расчетной области.

Задание деформационных и прочностных свойств пород.

Задание силовых воздействий: нагрузка от сооружений, тектонические, сейсмические, фильтрационные силы и др.

Назначение граничных условий.

Выполнение расчета напряженно-деформированного состояния массива пород на ЭВМ

Анализ полученных результатов и представление распределения напряжений в изолиниях, в графиках, с помощью эллипсов напряжений.

Оценка влияния на распределение напряжений неоднородности массива пород, неровности рельефа, подземных полостей, поверхностных выработок, тектонических сил, сейсмического воздействия и влияния подземных вод.

Расчёт устойчивости природного массива.

Составление письменного заключения с описанием геологического строения, основ геомеханической схематизации и анализом напряженно-деформированного состояния изученного объекта.

Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости:

1. Основные инженерно-геологические модели массивов пород.
2. Методы, используемые при численном моделировании.
3. Основные принципы схематизации.
4. Напряженное состояние природного массива.
5. Что такое эллипсоид напряжений?
6. Как рассчитываются главные напряжения?
7. Графическое отображение напряженного состояния массива пород

8. Фильтрационная консолидация и модель М. Био.
9. Основные модели для изучения движения пород на склонах.
10. Основные параметры, необходимые при расчетах напряжений при воздействии сейсмической волны.
11. Формулы для расчета коэффициентов устойчивости.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации:

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Основные задачи изучения НДС природных массивов.
2. Математические (механические) модели, применяемые для изучения НДС массивов горных пород.
3. Основные методы для изучения деформирования и условий разрушения массивов горных пород.
4. Основные факторы, формирующие НДС массивов горных пород.
5. Использование метода суперпозиции при решении задач о распределении напряжений в массивах пород.
6. Механические модели, используемые для изучения трещиноватых сред.
7. Механические модели и методы, которые используются при изучении поведения флюидосодержащих массивов.
8. Изучение влияния распространения сейсмических волн на перераспределение напряжений в массиве пород.
9. Принципы геомеханической схематизации массивов пород при изучении НДС.
10. Способы назначения расчетных параметров и составление моделей распределения свойств.
11. Как влияют на НДС массива пород неровности рельефа, неоднородность и анизотропия пород, действие тектонической силы.
12. Способы представления результатов расчета НДС.
13. Оценка условий разрушения массива горных пород с помощью коэффициентов запаса.
14. Типы сейсмических волн и законы их распространения.
15. Связь скоростей распространения упругих волн с деформационными свойствами пород.
16. Информационное обеспечение расчетов осадки оседания поверхности при откачках флюидов.
17. Виды воздействия сейсмических волн на массивы пород и классификация сейсмодислокаций.
18. Методы, используемые для оценки устойчивости оползневых тел в программе GEOSLOPE.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: численные методы решения задач о НДС, принципы построения геомеханической модели массивов, факторы, влияющие на распределение	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания

напряжений в Земной коре, теории прочности грунтов, методы оценки устойчивости склонов и откосов.				
Умения: создавать расчетную модель, пользоваться программами для решения инженерно-геологических задач, выполнить расчеты НДС массива в исходном состоянии и в результате дополнительных воздействий с оценкой их влияния, рассчитывать устойчивость природных массивов, составить письменное заключение по объекту исследований.	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение создавать расчетную модель, пользоваться программами для решения инженерно-геологических задач, выполнить расчеты НДС массива в исходном состоянии и в результате дополнительных воздействий с оценкой их влияния, рассчитывать устойчивость природных массивов, составить заключение по объекту исследований.	Успешное умение создавать расчетную модель, пользоваться программами для решения инженерно-геологических задач, выполнить расчеты НДС массива в исходном состоянии и в результате дополнительных воздействий с оценкой их влияния, рассчитывать устойчивость природных массивов, составить заключение по объекту исследований.
Владение: навыками составления расчётных схем на основе литературных данных или собственного фактического материала, выбора метода расчета в зависимости от факторов, влияющих на НДС, способами обработки и анализа полученных результатов расчетов с объяснением причин распределения НДС и возникновения зон концентрации напряжений.	Не владеет навыками составления расчётных схем на основе литературных данных или собственного фактического материала, выбора метода расчета в зависимости от факторов, влияющих на НДС, способами обработки и анализа полученных результатов расчетов с объяснением причин распределения НДС и возникновения зон концентрации	Фрагментарное владение навыками составления расчётных схем на основе литературных данных или собственного фактического материала, выбора метода расчета в зависимости от факторов, влияющих на НДС, способами обработки и анализа полученных результатов расчетов с объяснением причин распределения НДС и возникновения зон напряжений	В целом сформированные навыки составления расчётных схем на основе литературных данных или собственного фактического материала, выбора метода расчета в зависимости от факторов, влияющих на НДС, способами обработки и анализа полученных результатов расчетов с объяснением причин распределения НДС и возникновения зон концентрации напряжений	Успешное владение навыками составления расчётных схем на основе литературных данных или собственного фактического материала, выбора метода расчета в зависимости от факторов, влияющих на НДС, способами обработки и анализа полученных результатов расчетов с объяснением причин распределения НДС и возникновения зон концентрации напряжений

8. Ресурсное обеспечение:**А) Перечень основной и дополнительной литературы:****а) основная литература:**

Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир. 1975. 541 с.

Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование. М.: Изд-во МГУ, 2006. 256 с.

Калинин Э.В., Панасьян Л.Л. Решение инженерно-геологических задач численными методами. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 104 с.

Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Широков В.Н., Артамонова Н.Б., Фоменко И.К. Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах. М.: Изд-во МГУ, 2003. 261 с.

Крауч, С. Старфильд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. М.: Мир, 1987. 328 с.

Опыт оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментальными на моделях/ Под ред. Г.С.Золотарева – М.: Изд-во МГУ. 1973.

Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. 503 с.

б) дополнительная литература:

Виттке. В. Механика скальных пород. М.: Недра, 1990. 440 с.

Оловянный А.Г. Некоторые задачи механики массивов горных пород. ФГУП «Межотраслевой научный центр» ВНИМИ, ООО «Стресс». СПб, 2003. 234 с.

Победря Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1995.

Самарский А.А. Введение в численные методы. М.: Наука. 1982. 272 с.

Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. М.: Стройиздат, 1971. 320 с.

Желтов Ю.П. Механика нефтегазоносного пласта. М.: Недра, 1975. 216 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Специальные вычислительные компьютерные пакеты программ как стандартные (Geostudio-2004, Ansys, Abagus, Midas, Plaxis и др.), так и разработанные сотрудниками и преподавателями кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ (LTVSDV, TWTW).

Д) материально-техническое обеспечение: а) помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 15 учащихся, и дисплейный класс; б) оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет; в) иные материалы – бумага, чертежные принадлежности.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель – Калинин Э.В.

11. Авторы программы – Калинин Э.В., Панасьян Л.Л.