

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 ДИСЦИПЛИНЫ

Современные нелинейные модели деформирования и разрушения грунтов

Автор-составитель: Мирный А.Ю.

Уровень высшего образования:

Магистратура (ИМ)

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология

Магистерская программа

Инженерная геология

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета

(протокол № _____, _____)

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 – 2018.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

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

Цель и задачи дисциплины

Целью курса «Современные нелинейные модели деформирования и разрушения грунтов» является подготовка будущего магистра к самостоятельной работе по определению в ходе инженерно-геологических изысканий параметров механических моделей грунтов, используемых при выполнении расчетов напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов, подготовке рекомендаций по выбору модели при проектировании.

Задачи - освоение основных принципов построения механических моделей материалов, в частности, грунтов, требований к выбору наиболее рациональной механической модели для расчета и ее верификации, знакомство с методами и средствами определения входных параметров модели.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – II, семестр – 3.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Инженерная геология, часть 1. Грунтоведение», «Инженерная геология, часть 2. Инженерная геодинамика», «Высшая математика», «Механика грунтов», «Методы исследования грунтов в массиве», желательное освоение дисциплин «Решение инженерно-геологических задач численными методами», «Расчетные характеристики грунтов: методы определения и применение в проектировании».

Приобретенные знания, умения и навыки при освоении данной дисциплины могут быть востребованы в дальнейшем для выполнения научно-исследовательской работы и выпускных квалификационных работ.

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

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3.М. Способность в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию.

ОПК-8.М. Способность профессионально выбирать и использовать современное научное и техническое оборудование для решения научных и практических задач по профилю подготовки.

СПК-1.М. Способность формировать программы инженерно-геологических исследований и инженерно-геологических изысканий в соответствии с поставленными научными и практическими задачами, составлять программу инженерно-геологического мониторинга (формируется частично).

СПК-3.М. Способность анализировать, обобщать и систематизировать результаты инженерно-геологических исследований и изысканий в соответствии с поставленными задачами и действующими нормативными документами.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать: основные принципы построения механических моделей грунтов, требования к выбору модели для расчета и ее верификации, методы и средства определения входных параметров модели.

Уметь: определять комплекс механических свойств грунтов и выбирать наиболее рациональную механическую модель, ориентироваться в литературных источниках и нормативных документах по расчетным моделям грунтов, ориентироваться в наиболее распространенных моделях.

Владеть: математическим аппаратом механики сплошной среды и механики грунтов.

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 1 з.е., 36 академических часов, в том числе 28 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (14 часов – занятия лекционного типа, 14 часов – занятия семинарского типа). 8 часов отведено на самостоятельную работу, в том числе 4 часа на мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации. Форма промежуточной аттестации – зачет.

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

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Освоение курса начинается с теоретических положений механики деформируемого твердого тела как основы механики грунтов. Обсуждаются положения теории упругости и теории пластичности, вводятся необходимые понятия, такие как компоненты напряженно-деформированного состояния (НДС), константы упругости, понятия главных напряжений и главных деформаций, инварианты напряжений. Так же приводятся необходимые термины и определения. Отдельное внимание уделяется различным условиям прочности (пластичности) и их применимости к грунтовой среде, как к выражено пластическому телу. Дополнительно излагаются основы механики грунтов критического состояния, широко используемой в зарубежных странах, а так же особенности реологического поведения грунтов.

Дальнейший курс строится на поступательном изложении теоретических основ наиболее распространенных механических моделей по мере их усложнения. Для каждой модели приводится историческая справка; аналитическое обоснование; список и методика определения параметров, входящих в модель; рекомендации по ее применению к грунтовой среде. В курсе дисциплины рассматриваются следующие модели:

- упругая модель Гука;
- пластические модели (Треска - Сен-Венана, Мизеса - Губера);
- идеально-упругопластические модели (Кулона - Мора, Друкера - Прагера, Cam-Clay, Modified Cam-Clay, Хука - Брауна);
- упрочняющиеся модели (Hardening Soil, Hardening Soil Small-Strain, Soft Soil);
- вязко-упругие и упруго-вязкопластические модели (Soft Soil Creep, Sekiguchi - Ohta);
- модели, учитывающие анизотропию свойств.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Краткие основы механики деформируемого твердого тела		2	–	2	4	
Раздел 2. Основы теории пластичности		2	–	2	4	Подготовка к контрольному опросу*, 2 часа
Раздел 3. Механика грунтов критического состояния		2	–	2	4	
Раздел 4. Реологические свойства грунтов		2	–	2	4	
Раздел 5. Комплексные многопараметрические модели		4	–	2	6	
Раздел 6. Обзор прочих распространенных моделей		2	–	4	6	Подготовка к контрольному опросу, 2 часа
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>						4
Итого	36			28		8

*Текущий контроль успеваемости проводится в рамках семинарских занятий

Содержание разделов дисциплины:

Содержание лекционных занятий

1. Краткие основы механики деформируемого твердого тела.

Краткие основы механики деформируемого твердого тела. Напряжения, деформации, понятие напряженно-деформированного состояния в точке пространства. Понятия упругости, пластичности, прочности, вязкости, ползучести. Элементы построения механических моделей и их комбинации. Линейно-упругая модель Гука, ее модификации применительно к механике грунтов.

2. Основы теории пластичности.

Пространство главных напряжений. Основные теории и условия прочности - Треска, Сен-Венана, Кулона-Мора, Мизеса. Сопротивление сдвигу, оценка пластических деформаций. Модель Кулона-Мора, ее основные закономерности и модификации. Понятие дилатансии, теория Роу. Понятие потенциала пластичности, упрочнение и разупрочнение. Инвариантные условия прочности и их преимущества - условия Друкера-Прагера, Мацуока-Накаи, Ладе-Дункана. Модель Друкера-Прагера, ее основные закономерности.

3. Механика грунтов критического состояния.

Теоретические основы механики грунтов критического состояния, границы применимости. Модель Cam Clay, ее основные закономерности и модификации. Нелинейное объемное деформирование по логарифмическому закону. Ограничение упругих объемных деформаций, понятие критической линии. Модель Soft Soil.

4. Реологические свойства грунтов.

Способы учета вязкости деформирования, ползучесть и релаксация напряжений. Закон (модель) Бингама-Шведова, уравнение Кельвина-Фойгта, уравнение Максвелла. Модель Sekiguchi - Ohta. Модель Soft Soil Creep. Модель Extended Drucker-Prager.

5. Комплексные многопараметрические модели.

Гиперболический закон сдвигового деформирования. Модель Duncan-Chang, модель Ю.К. Зарецкого. Упрочнение и разупрочнение. Модели с независимой жесткостью при сдвиге и объемном сжатии: модель Hardening Soil, модель Hardening Soil Small-strain.

6. Обзор прочих распространенных моделей.

Анизотропия свойств и методы ее учета. Модель NGI-ADP. Специфические модели для скальных грунтов: модель Хука-Брауна, модель Jointed rock. Заключительные положения курса.

Содержание семинаров

1. Краткие основы механики деформируемого твердого тела.

Компоненты пространственного напряженно-деформированного состояния. Образование механических моделей из базовых элементов Гука, Ньютона и Сен-Венана. Проявление основных механических свойств в грунтах естественного происхождения

2. Основы теории пластичности.

Различные формы представления условий прочности, классификация условий прочности, ограничения применимости.

3. Механика грунтов критического состояния.

Интерпретация результатов лабораторных испытаний и определение параметров логарифмических моделей деформирования.

4. Комплексные многопараметрические модели.

Интерпретация результатов лабораторных испытаний и определение параметров гиперболических моделей деформирования.

5. Обзор прочих распространенных моделей.

Выбор механических моделей в зависимости от грунтовых условий основания и типа сооружения, ограничения применимости. Состав технического задания и программы испытаний.

Рекомендуемые образовательные технологии

При реализации программы используются презентации, содержащие иллюстративный материал и необходимую графическую информацию. Дополнительно применяются физические учебные пособия.

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

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

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:

1. Компоненты пространственного напряженно-деформированного состояния в точке.
2. Базовые элементы механических моделей и их принципы работы.
3. Функциональные возможности линейно-упругой модели Гука.
4. Основные теории прочности, используемые в механике грунтов.
5. Функциональные возможности идеально-упругопластической модели Кулона-Мора.
6. Природа дилатансии и ее влияние на прочность грунтов.
7. Преимущества инвариантных условий прочности.
8. Функциональные возможности идеально-упругопластической модели Друкера-Прагера.
9. Основные положения механики грунтов критического состояния.
10. Различия между моделями семейства Cam-Clay.
11. Пластическое объемное сжатие в модели Soft Soil.
12. Принципы учета ползучести в моделях Soft Soil Creep, Sekiguchi-Ohta, Extended Drucker-Prager.
13. Гиперболический закон деформирования применительно к дисперсным грунтам.
14. Функциональные возможности модели упрочняющегося грунта Hardening Soil.
15. Необходимость учета нелинейности в упругой постановке.
16. Особенности моделей, применяемых для скальных и крупнообломочных грунтов.
17. Функциональные возможности модели Хука-Брауна.
18. Принципы выбора механической модели в зависимости от разновидности грунта и типа сооружения.
19. Дополнительные пункты программы изысканий при определении параметров нелинейных моделей.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Пространственное напряженно-деформированное состояние в точке: теоретические предпосылки, компоненты НДС.
2. Принципы построения механических моделей, основные механические свойства материалов, в частности грунтов.
3. Линейно-упругая модель Гука: основные закономерности, параметры, применение к задачам механики грунтов.
4. Основные теории прочности, используемые в механике грунтов.
5. Идеально-упругопластическая модель Кулона-Мора: основные закономерности, параметры, применение к задачам механики грунтов.
6. Инвариантные условия прочности: принципы построения, преимущества и недостатки, область применения.
7. Неассоциированный закон пластического течения, понятие потенциала пластичности. Явление дилатансии.
8. Идеально-упругопластическая модель Друкера-Прагера: основные закономерности, параметры, применение к задачам механики грунтов.

9. Основные положения механики грунтов критического состояния.
10. Функциональные возможности и область применения моделей семейства Cam-Clay.
11. Методы определения параметров ползучести и применение моделей Soft Soil Creep, Sekiguchi-Ohta, Extended Drucker-Prager.
12. Гиперболические модели деформирования, основные закономерности и методика определения параметров.
13. Функциональные возможности модели упрочняющегося грунта Hardening Soil.
14. Методика определения параметров модели упрочняющегося грунта Hardening Soil.
15. Идеально-упругопластическая модель Хука-Брауна: основные закономерности, параметры, применение к задачам механики грунтов.
16. Принципы выбора механической модели в зависимости от разновидности грунта и типа сооружения.
17. Дополнительные пункты программы изысканий при определении параметров нелинейных моделей.
18. Требования к лабораторному оборудованию, применяемому для определения параметров нелинейных механических моделей.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты обучения	«Незачет»	«Зачет»
Знания: основные принципы построения механических моделей грунтов, требования к выбору модели для расчета и ее верификации, методы и средства определения входных параметров модели.	Знания отсутствуют	Систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения: определять комплекс механических свойств грунтов и выбирать наиболее рациональную механическую модель, ориентироваться в литературных источниках и нормативных документах по расчетным моделям грунтов, ориентироваться в наиболее распространенных моделях.	Умения отсутствуют	Успешное и систематическое или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы (допускает неточности не принципиального характера) умение выбирать наиболее рациональную модель и обеспечивать ее параметрами.
Владения: математическим аппаратом механики сплошной среды и механики грунтов.	Навыки владения математическим аппаратом механики сплошной среды отсутствуют	Владение методами нелинейной механики грунтов в рамках изложенного курса или в целом сформированные навыки владения методами, но используемые не в активной форме.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов// М.: Изд-во Рост. ун-та, 1989. 607 с.

Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. // М.: Высшая школа, 1978. 447 с.

- дополнительная литература:

Burland J.B. On the compressibility and shear strength of natural clays// Geotechnique, 1990, No. 3(4). P. 329-378.

Drucker D.C., Prager. W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design // Journal of applied mathematics, 1952, No. 10. P. 157-165.

Duncan J.M., Chang C.-Y. Nonlinear analysis of stress and strain in soils // Journal of the Soil mechanics and foundations division ASCE, 1970, 96. P. 1629-1652.

Janbu N. Soil compressibility as determined by odometer and triaxial tests // Proc. ECSMFE, 1963. P. 19-25.

Rowe P.W. The stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact // Proceedings of the Royal Society of London, 1962. Vol. 269, No. 1339. P. 500-527.

Schanz T., Vermeer P.A. Bonnier P.G. The hardening soil model: Formulation and verification. // Beyond 2000 in Computational Geotechnics - 10 years of PLAXIS, 1999. 16 p.

Vermeer P.A., de Borst R. Non-associated plasticity for soils, concrete and rock. // Heron, 1984, No. 3 (29). 65 p.

Wood D.M. Soil behavior and critical state // Cambridge University Press, 1990. 462 p.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения: (лицензионное программное обеспечение не требуется).

9. **Язык преподавания** – русский.

10. **Преподаватель** – Мирный А.Ю.

11. **Автор программы** – Мирный А.Ю.