

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Сейсмический мониторинг месторождений углеводородов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической и экспериментальной физики геосистем
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Б. Турунтаев, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики геосистем 04.06.2020

Аннотация

Курс "Сейсмический мониторинг месторождений углеводородов" относится к вариативной части образовательной программы, изучается на 5 курсе.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные в процессе освоения дисциплины "Введение в математический анализ", "Дифференциальные уравнения", "Уравнения математической физики", "Механика сплошных сред", "Введение в геофизику месторождений углеводородов".

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистров, формирование соответствующих компетенций. По завершению курса студенты овладеют навыками грамотной обработки натурных данных и сопоставления их с теоретическими результатами,

практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач геомеханики и геодинамики.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- овладение современным знанием о принципах организации, проведения и интерпретации данных сейсмического мониторинга в районах месторождений углеводородов.

Задачи дисциплины

- дать студентам углубленное междисциплинарное представление о сейсмическом мониторинге, его практическом применении и его месте среди других геофизических методов;
- научить студентов применять полученные знания для решения задач сейсмического мониторинга на месторождениях углеводородов, для адекватной интерпретации полученных данных.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- физику сейсмических волн, формирование сейсмических очагов в недрах Земли;
- физические методы разведки недр;
- основные характеристики сейсмических очагов и сейсмических режимов;
- воздействие процессов эксплуатации месторождений полезных ископаемых на сейсмо-деформационные процессы в районах разработки;
- теории техногенной сейсмичности;
- современные принципы организации локальных сейсмических сетей;
- методы решения прямых и обратных задачах сейсмологии.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для определения основных параметров источников сейсмических волн;
- применять современные сейсмологические подходы для решения конкретных геофизических задач;
- решать прямые и обратные задачи вычислительной сейсмологии;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов измерений геофизических величин и теории;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в задачах сейсмического мониторинга физическое содержание;
- осваивать новые области геофизики, теоретические подходы и анализировать натурные данные;
- оценивать достоверность и точность получаемых результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования сейсмологических задач;
- навыками грамотной обработки натурных данных и сопоставления их с теоретическими результатами;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач сейсмологии.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Физика очага землетрясения	3	3		6
2	Сейсмический режим	3	3		6
3	Вопросы, решаемые пассивным сейсмическим мониторингом на месторождениях углеводородов	3	3		6
4	Связь эволюции сейсмичности с изменением напряженно-деформированного состояния и порового давления	2	2		6

5	Применение методов нелинейной динамики для анализа рядов сейсмических наблюдений	4	4		6
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Физика очага землетрясения

Физика очага землетрясения. Модели очага. Силовые модели источника. Определение энергии землетрясения. Определение положения сейсмического источника.

2. Сейсмический режим

Сейсмический режим. Закон повторяемости Гуттенберга-Рихтера. Графики Бенъофа. Фрактальность пространственного распределения очагов сейсмических событий.

3. Вопросы, решаемые пассивным сейсмическим мониторингом на месторождениях углеводородов

Вопросы, решаемые пассивным сейсмическим мониторингом на месторождениях углеводородов. Связь микросейсмичности с флюидодинамическими явлениями. Использование регистрации микросейсмических явлений для определения положения трещин гидроразрыва пласта.

4. Связь эволюции сейсмичности с изменением напряженно-деформированного состояния и порового давления

Уравнение пороупругости. Нелинейное уравнение пороупругости. Связь эволюции микросейсмичности при закачке и откачке флюидов с изменением порового давления. Возможность оценки проницаемости неоднородного пласта по вариациям микросейсмичности.

Определение локальных характеристик напряженного состояния по данным инструментальных измерений и натурных индикаторов:

- определение напряжений по механизмам сейсмических событий;
- определение напряжений по измерениям в скважинах (гидроразрыв, радиусометрия скважин);
- определение палеонапряжений по трещиноватости осадочных горных пород. Определение полей напряжений по экспериментально определяемым ориентациям главных напряжений.

Понятие траекторий главных напряжений (ТГН). Запись уравнений равновесия в форме Ламе-Максвелла; гиперболичность системы уравнений равновесия при заданных ТГН. Определение полей напряжений по заданным ТГН в литосфере произвольной реологии. Уравнения плоской задачи теории упругости, формулы Колосова-Мусхелишвили. Определение голоморфной функции по ее аргументу, оператор Шварца. Определение полей напряжений по заданным ТГН в упругой литосфере.

5. Применение методов нелинейной динамики для анализа рядов сейсмических наблюдений

Применение методов нелинейной динамики для анализа рядов сейсмических наблюдений. Основные понятия. Динамические системы. Устойчивость. Теорема Такенса. Метод Грасбергера-Прокачия. Самоорганизованная критичность. Метод клеточных автоматов.

Обратная задача сейсмологии в томографической постановке. Межскважинная томография на проходящих волнах. Общие положения межскважинной сейсмологии. Использование математического аппарата томографии. Области применения. Осложняющие эффекты: искривление лучей и анизотропия.

Профильная сейсмическая томография. Томография, использующая форму записи. Томографическое восстановление сейсмических источников. Поверхностно-волновая томография. Дифракционная томография. Эмиссионная томография

Лабораторный практикум – определение скорости прохождения упругих волн через образцы с различной пористостью.

Лабораторный практикум – определение положения импульсных волновых источников.

Лабораторный практикум – измерение связи между пористостью и проницаемостью.

Лабораторный практикум – изучение связи между поровым давлением и микросейсмической эмиссией.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Кочарян Г.Г., Турунтаев С.Б. Введение в геофизику месторождений углеводородов. – М.: МФТИ, 2007. – 348с
2. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в литосфере (опасности и катастрофы). – М.: ИНЭК, 2005. – С.252.
3. Белоусов Т.П., Куртасов С.Ф., Мухамедиев Ш.А. Делимость земной коры и палеонапряжения в сейсмоактивных и нефтегазоносных регионах Земли. М.: ОИФЗ РАН. 1997. 324 с.
4. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.
5. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука. 1975. 175с.

Дополнительная литература

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Теория и методы. М.: Мир. 1983.
2. Economides M., Nolte K. (Eds.) Reservoir Stimulation. 3-d ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs. NJ. 2000.
3. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. М.: Недра, 1984. 232с.
4. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра, 1986, 301с.
6. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б.. Современные проблемы нелинейной динамики. // Эдиториал УРСС. Москва 2002.. – 360с.
7. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука. 1966. 707с.
8. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука. 1980. 512 с.
9. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д. Нефтегазовая гидромеханика. Москва – Ижевск. Ин-т компьютерных исследований. 2003. 480с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук
4. <http://spe.org> - Общество инженеров-нефтяников

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice, Matlab.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса «Сейсмический мониторинг месторождений углеводородов» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, семинаров, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа самостоятельных работ на семинарах, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи и анализировать данные.

Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической и экспериментальной физики геосистем
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: С.Б. Турунтаев, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Сейсмический мониторинг месторождений углеводородов» обучающийся должен:

знать:

- физику сейсмических волн, формирование сейсмических очагов в недрах Земли;
- физические методы разведки недр;
- основные характеристики сейсмических очагов и сейсмических режимов;
- воздействие процессов эксплуатации месторождений полезных ископаемых на сейсмо-деформационные процессы в районах разработки;
- теории техногенной сейсмичности;
- современные принципы организации локальных сейсмических сетей;
- методы решения прямых и обратных задачах сейсмологии.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для определения основных параметров источников сейсмических волн;
- применять современные сейсмологические подходы для решения конкретных геофизических задач;
- решать прямые и обратные задачи вычислительной сейсмологии;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов измерений геофизических величин и теории;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в задачах сейсмического мониторинга физическое содержание;
- осваивать новые области геофизики, теоретические подходы и анализировать натурные данные;
- оценивать достоверность и точность получаемых результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования сейсмологических задач;
- навыками грамотной обработки натурных данных и сопоставления их с теоретическими результатами;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач сейсмологии.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме контрольных/самостоятельных работ.

Каждое задание в контрольных самостоятельных работах оценивается определенным количеством баллов в конце условия каждого задания.

Перечень контрольных вопросов:

1. Модели очага. Силовые модели источника.
2. Распределение знаков первых вступлений. Уравнение нодальных линий.
3. Определение энергии землетрясения. Определение положения сейсмического источника.
4. Параметры сейсмического режима и способы их определения.
5. Закон повторяемости Гуттенберга-Рихтера.
6. Графики Бенъофа.
7. Фрактальность пространственного распределения очагов сейсмических событий.
8. Техногенный сейсмический режим, связь с параметрами разработки месторождений полезных ископаемых.
9. Классификация техногенной сейсмичности.
10. Катастрофические техногенные землетрясения.
11. Горные удары на рудниках и шахтах.
12. Связь микросейсмичности с флюидодинамическими явлениями.
13. Использование регистрации микросейсмических явлений для определения положения трещин гидроразрыва пласта.
14. Прогноз и предупреждение катастрофических техногенных сейсмических событий.
15. Основы теории упругости и разрушения.
16. Законы движения по разломным зонам земной коры.
17. Уравнение пороупругости. Нелинейное уравнение пороупругости.
18. Связь эволюции сейсмичности при закачке и откачке флюидов с изменением порового давления. Возможность оценки проницаемости неоднородного пласта по вариациям микросейсмичности.
19. Основные понятия. Динамические системы. Устойчивость.
20. Теорема Такенса. Метод Грасбергера-Прокачия.
21. Примеры применения методов нелинейной динамики для анализа данных сейсмического мониторинга.
22. Физические принципы работы и типы сейсмоприемников и сейсмических регистраторов.
23. Особенности локального сейсмического мониторинга.
24. Требования к современному аппаратно-программному комплексу.

25. Примеры создания сетей сейсмического мониторинга.

Примеры контрольных заданий:

Контрольное задание по теме: Определение положения сейсмического источника.

1. Написать систему уравнений для определения положения сейсмического источника по данным о разности времен прихода продольных волн на 4 сейсмоприемника.
2. Написать алгоритм работы метода минимизации невязок.
3. Определить положение сейсмического источника по разности времен прихода продольных и поперечных волн.

Контрольное задание по теме: Сейсмическое поле разрыва.

1. Вывести уравнения нодальных линий для трещин отрыва и сдвига.
2. Определить механизм сейсмического очага по данным о знаках первых вступлений сейсмических волн.
3. Уравнение движения упругих сред.

Контрольное задание по теме: Связь сейсмичности с флюидодинамическими явлениями.

1. Получить уравнение пьезопроводности.
2. Получить решение уравнения пороупругости для мгновенного включения источника с постоянным расходом в одномерном случае.
3. Изложить принципы оценки проницаемости по эволюции сейсмических событий.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Аттестация по дисциплине «Сейсмический мониторинг месторождений углеводородов» проводится в форме экзамена (устного).

Примеры экзаменационных билетов:

БИЛЕТ № 1

1. Физика очага землетрясения. Модели очага. Силовые модели источника.
2. Уравнения движения сплошной упругой среды. Постановка задачи о распространении разрыва.

БИЛЕТ № 2

1. Сейсмический режим. Закон повторяемости Гуттенберга-Рихтера. Графики Бенъофа.
2. Использование регистрации микросейсмических явлений для определения положения трещин гидроразрыва пласта.

БИЛЕТ № 3

1. Сейсмическое поле разрыва. Уравнение нодальных линий.
2. Определение локальных характеристик напряженного состояния по данным инструментальных измерений и натурных индикаторов

БИЛЕТ № 4

1. Динамические системы и их устойчивость. Аттракторы, их типы и физический смысл. Фрактальная и мультифрактальная размерности.
2. Связь между пористостью и проницаемостью.

БИЛЕТ № 5

1. Теорема Такенса. Метод Грасбергера-Прокачия оценки размерности аттракторов.
2. Связь микросейсмичности с флюидодинамическими явлениями.

БИЛЕТ № 6

1. Определение напряжений по механизмам землетрясений.
2. Энергия, магнитуда, балльность землетрясений. Определение энергии землетрясения.

БИЛЕТ № 7

1. Уравнение пороупругости и его решения, миграция сейсмических событий при изменении порового давления.
2. Определение положения сейсмического источника.

БИЛЕТ №8

1. Прогноз и предупреждение катастрофических техногенных сейсмических событий.
2. Физические принципы работы и типы сейсмоприемников и сейсмических регистраторов.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения контрольных работ обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, калькуляторами.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и семинаров и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и семинаров и любой другой литературой.

Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре, сдачи контрольных заданий.