

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Современные источники и приёмники сейсмических колебаний
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра прикладной геофизики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Д.Л. Зайцев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры прикладной геофизики 04.04.2022

Аннотация

Специальный курс «Современные источники и приёмники сейсмических колебаний» направлен на то, чтобы его слушатели смогли получить представление о современной аппаратно-технической базе, использующейся при разведке и освоении месторождений углеводородов. Упругие волны, распространяющиеся в породах-коллекторах, несут ценную информацию об их физико-механических свойствах, позволяя характеризовать породы как с позиций возможности обнаружения залежей и/или важных структурных объектах, так и с точки зрения реакции на активное внешнее воздействие, производить мониторинг техногенных процессов. При этом используемая приборная база непрерывно развивается: источники и приемники упругих волн обладают определенными ограничениями, способны работать в ограниченных спектрах колебаний, что приводит к невозможности исследовать породу на всех пространственных и временных масштабах одновременно. На сегодняшний момент активно развивается направление оптоволоконных датчиков, характеризующихся меньшими ограничениями, однако для понимания их работы необходимо одновременно владеть как математическим аппаратом теории распространения упругих волн в микронеоднородных средах, так и некоторыми разделами теоретической физики, читаемыми в рамках курса.

После завершения обучения по дисциплине слушатели получают представление о современных источниках и приемниках сейсмических колебаний, принципах их работы и ограничениях, а также увидят, как изначально теоретические разделы физики используются при решении практических задач.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Знакомство с существующими источниками и приемниками сейсмических колебаний, принципами их работы и техническими ограничениями.

Задачи дисциплины

1. Получение представления о том, как сейсмические колебания позволяют характеризовать микронеоднородные среды.
2. Знакомство с принципами работы современных источников и приемников сейсмических колебаний.
3. Формирование понимания современного состояния аппаратной базы, установление направлений развития.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Основные принципы работы сейсмических источников и приемников, технические и фундаментальные ограничения, накладываемые на возможную информацию, которую можно получить о горной породе и протекающих в ней процессах с помощью сейсмических методов.

уметь:

Применять математический аппарат теоретической физики для определения параметров работы сейсмических приемников и приемников.

владеть:

Аппаратной базой, используемой для исследования горных пород сейсмическими методами.

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	Введение	1			1
2	Исследование микroneоднородных сред сейсмическими методами	4		4	4
3	Исследование процессов, протекающих в горных породах сейсмическими методами, сейсмический мониторинг	4		2	2
4	Ограничения, накладываемые на возможность исследования среды сейсмическими методами	3			1
5	Принципы работы сейсмических источников и приемников	1		4	3
6	Оптоволоконные датчики	2		5	4
Итого часов		15		15	15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 3 (Осенний)

1. Введение

Место сейсмических исследований в нефтегазовой геофизике. Сейсморазведка и сейсмический мониторинг. Преимущества использования сейсмических датчиков. Современное состояние дисциплины и актуальные проблемы.

2. Исследование микroneоднородных сред сейсмическими методами

Распространение упругих волн в микронеоднородных средах. Избранные вопросы обработки и принципы интерпретации сейсмоакустических данных при разведке углеводородов и инженерных изысканиях. Влияние анизотропии и неоднородности среды на особенности распространения упругих волн. Исследование внутренней структуры среды сейсмическими методами в лабораторных условиях. Построение многоуровневой индикатрисы скоростей при обработке керновых данных. Сейсмические исследования при поиске месторождений полезных ископаемых. Проявление локальных неоднородностей на сейсмических данных: горизонты отражения, слоистость, зоны аномально высокого пластового давления. Сейсмоакустика. Межскважинное зондирование. Проведение лабораторных работ по исследованию горных пород на установке ИФЗ РАН.

3. Исследование процессов, протекающих в горных породах сейсмическими методами, сейсмический мониторинг

Активные сейсмические процессы. Микроразрушение, акустическая эмиссия. Очаги микроразрушений: локализация, выявление природы очага, его параметров, определение места и пространственной ориентации возникающей микротрещины сейсмическими методами. Требования к системе сейсмического мониторинга. Примеры практического использования систем сейсмического мониторинга.

4. Ограничения, накладываемые на возможность исследования среды сейсмическими методами

Разрешающая способность источников и приемников сейсмических колебаний. Сейсморазведка высокого и сверхвысокого разрешения. Спектральный состав упругих волн. Роль линейных размеров источников и приемников колебаний. Приближенные решения. Затухание упругих волн. Особенности определения скоростей поперечных упругих волн в лабораторных и полевых условиях. Наличие упорядоченных неоднородностей в средах, разделение анизотропии и неоднородности. Проблемы сейсмического мониторинга разномасштабных процессов.

5. Принципы работы сейсмических источников и приемников

Внутреннее устройство датчиков упругих колебаний. Источники и приемники колебаний. Проведение лабораторных работ на базе НТЦ прикладной геофизики и изучения минеральных ресурсов МФТИ.

6. Оптоволоконные датчики

Распределённые источники и приемники сейсмических колебаний. Оптические принципы изучения упругих волн. Чувствительность оптоволоконных датчиков к продольным и поперечным деформациям, принципы работы. Проведение лабораторных работ на базе НТЦ прикладной геофизики и изучения минеральных ресурсов МФТИ.

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

При проведении лабораторных работ используется оборудование лабораторий ИФЗ РАН – установка для определения динамических упругих свойств образцов горных пород в атмосферных условиях – и МФТИ – лабораторные мощности НТЦ прикладной геофизики и изучения минеральных ресурсов МФТИ по тематике оптоволоконных датчиков.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в механику сплошных сред: в приложении к теории волн [Текст]/Л. М. Бреховских, В. В. Гончаров, -М., Наука, 1982
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 7 : Теория упругости : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— 4-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1987 .— 248 с.

3. Введение в статистическую радиофизику [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 : учеб. пособие для вузов. Случайные поля / С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Атарский ; под общ. ред. С. М. Рытова . — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1978 .— 463 с.

Дополнительная литература

1. Ермаков А. П. Введение в сейсморазведку. ГЕРС. Тверь. 2012. 160 с.
2. Кауфман А.А., Левшин А.Л. Введение в теорию геофизических методов. Ч. 3. Акустические и упругие волновые поля в геофизике. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр". 2001. 519 с.
3. Кауфман А.А., Левшин А.Л., Ларнер К.Л. Введение в теорию геофизических методов. Ч. 4. Акустические и упругие волновые поля в геофизике. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр". 2003. 661 с.
4. Кауфман А.А., Левшин А.Л. Введение в теорию геофизических методов. Ч. 5. Акустические и упругие волновые поля в геофизике. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр". 2006. 663 с.
5. Шалаева, Н. В., Старовойтов А. В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях. М.: МГУ, 2010, 254 с.

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

Не используются

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

Подготовленные составителями программы презентации по всем темам.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Общая и прикладная физика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра прикладной геофизики
курс: 2
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Д.Л. Зайцев, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	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

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современные источники и приёмники сейсмических колебаний» обучающийся должен:

знать:

Основные принципы работы сейсмических источников и приемников, технические и фундаментальные ограничения, накладываемые на возможную информацию, которую можно получить о горной породе и протекающих в ней процессах с помощью сейсмических методов.

уметь:

Применять математический аппарат теоретической физики для определения параметров работы сейсмических приемников и приемников.

владеть:

Аппаратной базой, используемой для исследования горных пород сейсмическими методами.

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

Пример задания контрольной работы: Определить параметры Томсена среды по представленной многоуровневой индикатрисе скоростей

Пример задачи для домашнего задания: Предложить расположение элементов сейсмического мониторинга при псевдотрехосном испытании цилиндрического образца.

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

Перечень контрольных вопросов

1. Чем различаются анизотропия и неоднородность?
2. Как размер датчика влияет на разрешение получаемых данных?
3. С какими сложностями связано определение пространственной ориентации очага разрушения по данным сейсмической эмиссии?
4. В чем особенности оптоволоконных датчиков?

5. Почему основные сложности при обработке сейсмических данных связаны преимущественно с поперечными волнами?

Примеры контрольных заданий

1. Построить многоуровневую индикатрису скоростей по результатам данного набора точечных измерений скоростей упругих волн.
2. Найти минимальные размеры неоднородностей, которые могут быть выявлены системой источник-приемник с данными характеристиками.
3. Определить спектральный состав данного колебания,
4. Рассчитать размеры области, которая может быть исследована системой сейсмического мониторинга с данными характеристиками.
5. Предложить систему сейсмических измерений, способную разделить анизотропию и неоднородность горной породы с данными свойствами.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.