

Министерство образования и науки РФ

Российский Государственный Университет нефти и газа имени И.М. Губкина

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор

профессор М.А. Силин

---

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Упругие волны в сплошных средах**  
**Направление (специальность) подготовки**  
**130200 — Технологии геологической разведки**

**Специализации:**

Сейсморазведка

**Квалификация (степень) выпускника**

Специалист

**Форма обучения**

Очная

**Москва, 2010**

## **1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Область применения сейсмических методов исследований недр постоянно расширяется. Использование и истолкование данных сейсморазведки невозможно без глубокого понимания характера и способов распространения упругих волн в горных породах, составляющих осадочный чехол.

Настоящий курс посвящен изучению физико-геологических основ сейсмических методов исследований. Рассматриваются классы упругих волн, распространяющихся в горных породах, волновые уравнения. Особое внимание уделяется спектральному подходу к описанию волновых процессов. Выводятся, анализируются уравнения Цёппритца для объёмных волн.

## **2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

Дисциплина «Упругие волны в сплошных средах» представляет собой дисциплину вариативной части цикла математических и естественно-научных дисциплин (С2) и относится к специализации «Сейсморазведка».

Дисциплина базируется на дисциплинах математического, естественно-научного цикла (С2) и цикла профессиональных дисциплин (С3), служит логическим продолжением курса «Теория поля» и формирует знания студентов для освоения профессиональных дисциплин (С3): «Распространение сейсмических волн», «Обработка данных сейсморазведки», «Построение сейсмических изображений».

## **3 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

*В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие общекультурные и общепрофессиональные компетенции при освоении ООП ВПО, реализующей ФГОС ВПО:*

представлять современную картину мира на основе целостной системы естественно-научных и математических знаний, ориентироваться в ценностях

бытия, жизни, культуры (ОК-1);

обобщать, анализировать, воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути ее достижения (ОК-2);

логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь (ОК-3);

организовать свой труд на научной основе, самостоятельно оценить результаты своей деятельности; владения навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований (ПК-4);

понимать физическую сущность явлений, регистрируемых в сейсмических волновых полях, ставить и решать проблемы извлечения геолого-геофизической информации из волновых полей (ПСК-4.1);

решать прямые и обратные (некорректные) задачи геофизики, иметь высокий уровень фундаментальной подготовки (ПСК-4.2);

В результате освоения дисциплины, обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**Студент знает:**

- основные уравнения, описывающие поля сейсмических волн, энергетические соотношения и физические процессы, происходящие при их распространении (ОК-1,2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2);

- физические процессы, происходящие на границе раздела сред, спектральные коэффициенты рассеяния, уравнения Цёппритца (ОК-1,2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2);

- граничные и начальные условия задач теории упругих волн, способы решения волновых уравнений (ОК-1,2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2);

- способы классификации моделей геологических сред, структуру и способы моделирования волновых полей (ОК-1,2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2).

### Студент умеет:

- рассчитывать спектральные коэффициенты рассеяния на основе решения уравнений Цёппритца и их аппроксимаций (ПСК-4.1, 4.2);

- оценивать упругие свойства сплошных сред в сейсмическом диапазоне частот, рассчитывать амплитуду, скорость распространения и длину волны (ПСК-4.1, 4.2);

## 4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра). Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
1		6	1 - 17	Л (17) С (17) СР (38)	6, 10 нед. – КР  зачёт

Л – лекции, ПЗ – практические занятия, С – семинары, ЛАБ — лабораторный практикум, СР – самостоятельная работа, КОЛ – коллоквиумы, КР – контрольные работы.

Курс «Упругие волны в сплошных средах» подразделяется на следующие разделы: упругие параметры геологических сред; виды и решения волновых уравнений; волны в граничных средах.

Темы, разделы дисциплины	Число часов Л/С/ЛАБ	Коды компетенций	Общее количество компетенций
1. Упругие параметры геологических сред и волновое уравнение	3/3	ОК-1, 2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2	6
2. Волны в граничных средах	10/10	ОК-1, 2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2	6
3. Волны Рэлея, Стоули, Лява	4/4	ОК-1, 2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2	6

#### ***4.1. Содержание разделов дисциплины***

##### **4.1.1. Упругие параметры геологических сред и волновое уравнение**

Повторение. Фундаментальные абстракции теории упругости. Деформации и напряжения, закон Гука. Анализ волнового уравнения. Формулы Даламбера, Пуассона, Кирхгофа. Нотации, используемые для записи упругих параметров. Теоретические и эмпирические зависимости между упругими параметрами сред. Типы сейсмических волн, их скорости.

##### **4.1.2. Волны в граничных средах**

Типы границ раздела. Граничные условия: геометрические, кинематические, динамические. Закон Снеллиуса. Типы первичных и вызываемых ими вторичных волн.

Падение плоской SH-волны на границу раздела двух сред. Спектральные коэффициенты рассеяния. Случай падения из акустически более жёсткой среды в более мягкую. Случай падения из акустически более мягкой среды в более жёсткую. Закрытые вторичные волны. Понятие о преобразовании Гильберта.

Отражение и прохождение P- и SV-волн. Нормальное падение волн на границу свободной поверхности. Отражение от свободной поверхности при на-

клонном падении. Нормальное падение волн на границу упругих сред. Отражение от жёсткой поверхности при наклонном падении. Волны на границе между жидкой и упругой средами. Отражение и прохождение волн на границе упругих сред. Уравнения Цёппритца. Решение уравнений Цёппритца. Анализ коэффициентов рассеяния.

Волны у свободной (дневной) поверхности. Граничные условия и уравнения Цёппритца в случае контакта с дневной поверхностью.

Скоростные параметры изотропных моделей. Пластовая, интервальная, средняя, лучевая, эффективная и предельная эффективная скорости.

Сейсмогеологический разрез как линейная система передачи сейсмического сигнала. Способы аппроксимации неоднородных сред. Способ средних скоростей. Способ средних градиентов.

#### **4.1.3. Волны Рэлея, Стонли, Лява**

Поверхностная волна Рэлея. Характер смещений, переносимых волной Рэлея.

Псевдорэлеевские волны (волны Стонли).

Волна Лява. Квазидисперсия скорости. Уравнение Гельмгольца. Дисперсионные кривые волны Лява для мод 0 тона, 1, 2, 3 обертонов

### ***4.2. Основные темы семинарских занятий, лабораторных практикумов***

#### **4.2.1. Упругие параметры геологических сред и волновое уравнение**

С1. Закон Гука для изотропной идеально-упругой сплошной среды. Решение задач.

С2. Виды упругих параметров среды. Взаимосвязь упругих параметров.

С3. Функции, удовлетворяющие волновому уравнению.

#### **4.2.2. Волны в граничных средах**

С4. Основные типы границ раздела в сейсморазведке. Определение типа грани-

цы раздела.

C5. Поляризация сейсмических волн. P-, SV-, SH-волны.

C6. Преобразование Гильберта

C7. Анализ уравнений Цёппритца и их решения.

#### **4.2.3. Волны Рэлея, Стонли, Лява**

C8. Объемные и поверхностные волны в сейсморазведке.

C9. Дисперсия скорости. Квазидисперсия.

### **5 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При реализации программы дисциплины «Упругие волны в сплошных средах» используются различные образовательные технологии: аудиторные занятия (34 часа) проводятся в виде лекций с применением ПК и компьютерного проектора; семинарские занятия включают разбор задач теории упругих волн с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся, самостоятельная работа студентов (34 часа) предусматривает работу под руководством преподавателей (консультации) и выполнение домашних заданий (ДЗ) и рефератов (Р).

Усвоенные знания в дальнейшем служат основой для изучения специальных дисциплин.

### **6 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

В ходе преподавания курса «Упругие волны в сплошных средах» в качестве форм текущей аттестации студентов используются такие формы как: собеседования при приеме расчетных работ, коллоквиумы с обсуждением реферативных работ, контрольные работы с оценкой.

По итогам обучения проводятся зачет и экзамен.

### ***6.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости***

#### **Раздел 1. Упругие параметры геологических сред и волновое уравнение (ОК-1, 2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2)**

- 1КВ1. Связь между какими параметрами устанавливает закон Гука?
- 1КВ2. Каковы основные абстракции теории упругости?
- 1КВ3. Как учитывается влияние источника при решении волнового уравнения?
- 1КВ4. На чем основано решение Д'Аламбера?
- 1КВ5. Какие соображения приводят к удержанию или отбрасыванию слагаемых в решении волнового уравнения?
- 1КВ6. Какие системы записи упругих параметров среды вам известны?
- 1КВ7. Как связаны скорости сейсмических волн с другими упругими параметрами среды?
- 1КВ8. Как связаны между собой скорости продольных и поперечных волн?
- 1КВ9. Как скорости упругих волн связаны с коэффициентом пористости?
- 1КВ10. Как скорости упругих волн связаны с условиями залегания горных пород?
- 1Д31. Решение задач на закон Гука.
- 1Д32. Вывод соотношений между упругими параметрами среды.

#### **Раздел 2. Волны в граничных средах**

(ОК-1, 2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2)

- 2КВ1. По каким признакам проводится классификация границ раздела?
- 2КВ2. Дайте определение шероховатой границы.
- 2КВ3. В чем заключается сущность граничных условий?
- 2КВ4. Сформулируйте закон Снеллиуса.
- 2КВ5. Сформулируйте закон Бенндорфа.
- 2КВ6. Какое максимальное число волн образуется при нормальном падении

продольной волны на границу раздела?

2КВ7. Какое максимальное число волн образуется при наклонном падении продольной волны на границу раздела?

2КВ8. В каких средах не распространяются поперечные волны и почему?

2Р1. Преобразование Гильберта и его применение в сейсморазведке.

2Р2. Явления на границе раздела жидкой и твердой сред.

2Р3. Явления на границе раздела жидких сред.

2Р4. Явления на свободной границе жидкой среды.

### Раздел 3. Волны Рэлея, Стонли, Лява

(ОК-1, 2, 3; ПК-4; ПСК-4.1, 4.2)

3КВ1. Каков характер смещений, переносимых волной Рэлея?

3КВ2. Каков характер смещений, переносимых волной Лява?

3КВ3. В каких средах распространяются волны Стонли?

3КВ4. Как волновое уравнение приводится к виду уравнения Гельмгольца?

3КВ5. Почему в волне Лява возникают квазидисперсионные явления?

3ДЗ1. Расчет смещений, переносимых волной Рэлея, для заданной модели среды

3ДЗ2. Расчет скоростей волн Лява для заданного пласта.

### 6.2. Оценка уровня сформированности компетенций

Коды компетенций	Уровень освоения	Оценочные средства		
		Уровень сформированности компетенции		
		Допороговый	Пороговый	Надпороговый
ОК-1	Знания	1КВ1	1КВ2	1КВ5
	Умения	-	-	-
	Навыки	-	-	-
ОК-2	Знания	1КВ3	1КВ6	1КВ7
	Умения	-	-	-
	Навыки	-	-	-
ОК-3	Знания	2Р2	2Р3	2Р1

	<i>Умения</i>	-	-	-
	<i>Навыки</i>	-	-	-
ПК-4	<i>Знания</i>	2КВ8	2КВ7	2Р4
	<i>Умения</i>	-	-	-
	<i>Навыки</i>	-	-	-
ПСК-4.1	<i>Знания</i>	1КВ9	1КВ10	3КВ2
	<i>Умения</i>	1КВ8	1Д31	1Д32
	<i>Навыки</i>	-	-	-
ПСК-4.2	<i>Знания</i>	2КВ1	2КВ2	2КВ3
	<i>Умения</i>	2КВ6	2КВ4	3Д31
	<i>Навыки</i>	-	-	-

## **7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) основная литература**

1. Сердобольский Л.А. Конспект лекций по части 3 курса «Геофизические методы (сейсморазведка)» - ЗАКОН ГУКА И ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ. - М.: РГУ нефти и газа, 2001.

2. Сердобольский Л.А. Конспект лекций по части 4 курса «Техническая механика и теория упругости» - РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ - М.: РГУ нефти и газа, 2002.

3. Сердобольский Л.А. Конспект лекций по части 5 курса «Техническая механика и теория упругости» - СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА УПРУГИХ СРЕД - М.: РГУ нефти и газа, 2002.

4. Сердобольский Л.А. Конспект лекций по части 6 курса «Техническая механика и теория упругости» - ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН - М.: РГУ нефти и газа, 2003.

5. Рябинкин Л.А. Теория упругих волн. – М.: Недра, 1987.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Кауфман А.А., Левшин А.Л. Введение в теорию геофизических методов. Часть V. Акустические и упругие волновые поля в геофизике. – М.: Недра, 2006.

2. Кауфман А.А., Левшин А.Л., Ларнер К.Л. Введение в теорию геофизических методов. Часть IV. Акустические и упругие волновые поля в геофизике. – М.: Недра, 2003.

3. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Том 1, 2. – М.: Мир, 1983.

4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: АН СССР, 1957.

5. Сейсморазведка: справочник геофизика. Том 1, 2. М.: Недра, 1993.

6. Уайт Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. – М.: Недра, 1986.

## **8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерные классы с программным обеспечением и мультимедиа-проектором.

Слайды и компьютерные презентации по различным темам дисциплины.

Программные комплексы моделирования упругих процессов в геологических средах.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и примерной ООП ВПО по направлению 130200 «Технологии геологической разведки» и профилю «Сейсморазведка»

Автор: доц. Белоусов А.В.

Рецензент:

Программа одобрена на заседании Ученого совета РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.