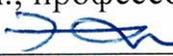


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем нефти и газа  
Российской академии наук  
(ИПНГ РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИПНГ РАН  
д.т.н., профессор РАН  
 Э.С. Закиров  
«28» июня 2023 г.

## Программа дисциплины

### Геолого-физические основы нефтегазовой геомеханики

Направление подготовки

2.8 Недропользование и горные науки

Специальность

2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

МОСКВА 2023

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Приказ Минобрнауки России от 20 октября 2021 года № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов»;

2. Паспорт научной специальности 2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, в рамках Номенклатуры специальностей научных и научно-педагогических работников, утверждённой приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 (в редакции от 27.09.2021);

3. Программа кандидатского экзамена по специальности 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», утверждённая приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 № 274 "Об утверждении программ кандидатских экзаменов";

4. Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре в соответствии с Федеральными государственными требованиями в ИПНГ РАН от 22 апреля 2022 г.

Составитель рабочей программы:

д.т.н.



С.Н. Попов

Ответственный за направление

д.т.н.



Индрупский И.М.

## I. Цель и задачи освоения дисциплины

**Целью освоения дисциплины «геолого-физические основы нефтегазовой геомеханики» является ознакомление аспирантов с физико-механическими свойствами пласта и современными способами их лабораторного определения, получение знаний, навыков и умений исследования и использования геомеханических явлений в пластовых системах, формирование современных представлений о применении знаний о нефтегазовой геомеханике при разработке месторождений углеводородов и бурении скважин, о деформационных, волновых процессах в пласте, о напряженно-деформированном состоянии горной породы-коллектора, о физике процессов разрушения породы и влиянии поля напряжений на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных отложений; формирование современных представлений о физической сути и технологической значимости учета геомеханических процессов при добыче углеводородов, подготовка аспирантов к творческому анализу, умению моделировать и систематизировать процессы и явления, связанные с геомеханикой, происходящие в пласте при добыче углеводородов.**

Изучение дисциплины позволит решать научные и практические задачи в выбранной области.

Задачами освоения дисциплины являются:

– углубленное знакомство с упругими (модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига) и прочностными (пределы прочности, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения) свойствами и сжимаемостью горных пород-коллекторов;

– освоение классических и современных методов лабораторных исследований физико-механических свойств продуктивных пластов на сертифицированном лабораторном оборудовании;

– развитие представлений о современных тенденциях изучения геомеханических явлений происходящих в нефтегазовых пластовых системах в процессе из разработки и бурении скважин;

– развитие навыков аналитических расчетов и методах численного моделирования напряженно-деформированного состояния околоскважинной зоны и месторождений в целом;

Место дисциплины в структуре ООП подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 21.06.01 "Геология, разведка и разработка полезных ископаемых"

Дисциплина Б1.В.ОД.1 «Геолого-физические основы нефтегазовой геомеханики» является базовой дисциплиной, входит в состав Блока 1 "Дисциплины" и относится к вариативной части ООП аспирантуры «Обязательные дисциплины» по направлению подготовки – 21.06.01 "Геология, разведка и разработка полезных ископаемых", направленности подготовки – "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений". Дисциплина изучается в 3 семестре.

Взаимосвязь курса с другими дисциплинами ООП способствует углубленной подготовке аспирантов к решению специальных практических профессиональных задач и формированию необходимых компетенций.

Изучение дисциплины позволит решать научные и практические задачи в выбранной области.

Задачами освоения дисциплины являются:

- углубленное знакомство с упругими (модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига) и прочностными (пределы прочности, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения) свойствами и сжимаемостью горных пород-коллекторов;

- освоение классических и современных методов лабораторных исследований физико-механических свойств продуктивных пластов на сертифицированном лабораторном оборудовании;

- развитие представлений о современных; тенденциях изучения геомеханических явлений происходящих в нефтегазовых пластовых системах в процессе из разработки и бурении скважин;

- развитие навыков аналитических расчетов и методах численного моделирования напряженно-деформированного состояния околоскважинной зоны и месторождений в целом;

Место дисциплины в структуре ООП подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Дисциплина «Геолого-физические основы нефтегазовой геомеханики» является базовой дисциплиной, относится к вариативной части ООП аспирантуры «Обязательные дисциплины». Дисциплина изучается в 2 семестре.

Взаимосвязь курса с другими дисциплинами ООП способствует углубленной подготовке аспирантов к решению специальных практических профессиональных задач и формированию необходимых компетенций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:**

- определение и понятие физико-механических свойств пласта;
- принципы расчета и моделирования напряженно-деформированного состояния пластовых систем;
- влияние геомеханических факторов на физические и физико-технологические свойства пластовых систем;
- основные тенденции в изучении упругих и прочностных свойства пород-коллекторов и их изменчивости;
- физику деформационных и волновых явлений в пластовых системах;
- основы механики разрушения горных пород и методы прогноза таких ситуаций при бурении скважин и разработке месторождений;
- физику процесса создания трещины гидроразрыва и его влияние на процессы углеводородоотдачи пластовых систем;
- основные принципы построения геомеханических моделей скважин и месторождений.

**Уметь:**

- провести анализ, систематизацию, научное исследование и обобщение данных о физико-механических свойствах пород-коллекторов;
- провести лабораторные эксперименты и определять основные механические свойства пласта, необходимые для решения поставленных научно-методических задач;
- объяснять, оценивать и моделировать влияние геомеханических явлений на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных объектов;
- интерпретировать результаты производства лабораторных экспериментов и проведения геолого-технологических мероприятий с целью определения геомеханических характеристик пластов-коллекторов.
- строить 1D и 3D геомеханические модели скважин и месторождений

**Владеть:**

- информацией о современных тенденциях в изучении и моделировании геомеханических явлений в пластовых системах;
- навыками постановки экспериментов для изучения упругих и прочностных свойств коллектора, процессов и явлений, протекающих в нефтегазовых пластовых системах с учетом геомеханических явлений;

- приемами и методиками аналитического расчета и численного моделирования напряженно-деформированного состояния в околоскважинной зоне и на месторождениях в целом;
- современными методиками интерпретации результатов лабораторных экспериментов и промысловых данных для определения геомеханических характеристик продуктивных объектов.
- современным программным обеспечением для построения геомеханических моделей

## II. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов.

Вид учебной работы	Объем часов / зачетных единиц
<b>Всего</b>	<b>108</b>
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>24</b>
лекции	
семинары	
<b>Самостоятельная работа аспиранта (всего)</b>	<b>84</b>
<b>Вид контроля по дисциплине</b>	<b>зачет</b>

## III. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем часов			Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
		Лек	Сем	Сам.	
1.	Вводное занятие. Проблемы и задачи, связанные с геомеханикой при разведке и разработке месторождений нефти и газа. Физико-механические свойства горных пород	2		6	
2.	Понятие о напряжениях и деформациях. Упругость, закон Гука. Основные соотношения и дифференциальные уравнения для описания напряженно-деформированного состояния ненасыщенной и насыщенной сред. Анизотропия физико-механических и свойств горных пород	2		6	
3.	Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород	1		6	
4.	Геологические и литологические аспекты механики горных пород при разработке месторождений нефти и газа. Пластовое давление. Вертикальное напряжение	1		6	

5.	Неупругие модели горных пород. Поверхность текучести. Деформационная теория пластичности. Теория пластического течения. Вязкоупругость и вязкопластичность	2		6	
6.	Аналитические модели для прогноза вертикальных деформаций горных пород и оседаний земной поверхности. Модель деформирования и разрушения соляных пород. Шатровая модель деформирования породы-коллектора	2		6	
7.	Трещиноватые породы-коллекторы. Основные физико-механические свойства трещиноватых горных пород и их определение. Модель деформирования трещиноватой породы по системам трещин	1		8	
8.	Связь геофизики и геомеханики. Определение физико-механических свойств горных пород на основе геофизических исследований скважин. Использование сейсмических данных. Понятие о моделях механических свойств, 1D моделях скважин и 3D геомеханических моделях месторождений	1		8	зачет
9.	Гидроразрыв пласта. Основные соотношения для определения давления гидроразрыва. Давление закрытия трещины. Использование данных, полученных при гидроразрыве пласта для определения напряженно-деформированного состояния пласта	2		8	
10.	Деформирование скважины. Открытый ствол, обсаженный ствол. Основные аналитические соотношения, описывающие деформации прискважинной зоны. Критерии разрушения ствола скважины	2		0	
11.	Численные методы решения задач геомеханики. Понятие о методе конечных элементов. Решение упругих задач методом конечных элементов	2		0	
12.	Подготовка данных и построение геологических моделей в ПО РН-ГЕОСИМ. Подготовка данных и построение гидродинамических моделей в ПО РН-КИМ.	2		8	Зачет
13.	Подготовка данных и построение 1D геомеханических моделей в ПО РН-СИГМА. Подготовка данных и построение моделей трещин ГРП в ПО РН-ГРИД.	2		8	

14.	Подготовка данных и построение 1D геомеханических моделей в ПО Геонафт. Подготовка данных и построение 3D геомеханических моделей в ПО Геотензор	2		8
-----	--	---	--	---

#### **IV. Содержание дисциплины**

##### ***1. Вводное занятие. Проблемы и задачи, связанные с геомеханикой при разведке и разработке месторождений нефти и газа. Физико-механические свойства горных пород.***

Описание научного направления - геомеханики, ее роль при разработке месторождений углеводородов и бурении скважин. Проблемы и задачи, связанные с геомеханикой в масштабах скважины. Проблемы и задачи, связанные с геомеханикой в масштабах месторождения. Основные типы разрушений породы вблизи скважины и с чем они вызваны. Модуль упругости (модуль Юнга), коэффициент Пуассона, модуль сдвига. Предел прочности при растяжении. Предел прочности при сжатии Коэффициенты сжимаемости пор, породы, твердых частиц, трещин. Коэффициент Био. Коэффициент трещиностойкости.

##### ***2. Понятие о напряжениях и деформациях. Упругость, закон Гука. Основные соотношения и дифференциальные уравнения для описания напряженно-деформированного состояния ненасыщенной и насыщенной сред. Анизотропия физико-механических и свойств горных пород.***

Нормальные и касательные напряжения. Тензор напряжений. Главные напряжения. Осевые и сдвиговые деформации. Тензор деформаций. Закон Гука. Описание и аналитическое определение упругих параметров (модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига). Основные уравнения, описывающие деформации твердого тела. Динамические уравнения. Геометрические уравнения. Физические уравнения. Связь напряжений и деформаций. Определение вертикального напряжения. Основные соотношения пороупругости. Теория пороупругости Био. Типы анизотропии механических свойств горных пород. Трансверсально-изотропная горная порода.

##### ***3. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород.***

Существующие методики лабораторных исследований упругих свойств горных пород (модуль упругости, коэффициент Пуассона). Методы определения предела прочности при растяжении. Методы определения предела прочности при сжатии. Методы экспериментальных исследований коэффициентов сжимаемости пор, породы, твердых частиц, трещин. Соотношения для определения Коэффициента Био. Методы определения коэффициента трещиностойкости. Схема Кармана для определения механических свойств образцов керна. Определение упругих и прочностных свойств в установках псевдо- и истинно-трехосного сжатия.

##### ***4. Геологические и литологические аспекты механики горных пород при разработке месторождений нефти и газа. Пластовое давление. Вертикальное напряжение.***

Зависимость напряжений от глубины залегания пласта. Определение вертикального напряжения. Вывод соотношения для определения горизонтальной компоненты напряжений. Гипотеза Динника. Вывод соотношения для определения горизонтальной компоненты напряжений. Методы определения величины пластового давления. Коэффициент аномальности пластового давления. Вариации упругих и прочностных свойств пород в зависимости от их литологического состава (терригенный и карбонатных коллектор и др.). Направление напряжений вблизи разломов и их влияние на инклинометрию скважин.

##### ***5. Неупругие модели горных пород. Поверхность текучести. Деформационная теория пластичности. Теория пластического течения. Вязкоупругость и вязкопластичность.***

Понятие о пластических деформациях. Пластический потенциал. Ассоциированный и не ассоциированный закон пластических деформаций. Жесткопластическое тело. Пластические свойства горной породы. Упругопластическое тело. Реологические модели. Модель Максвелла и модель Кельвина-Фойгта. Упруго-вязкопластические модели. Модель Шведова-Бингама, модель с

последовательным расположением элементов. Затухающая и незатухающая ползучесть. Релаксация, упругое последствие. Пример определения пластических деформаций.

**6. Аналитические модели для прогноза вертикальных деформаций горных пород и оседаний земной поверхности. Модель деформирования и разрушения соляных пород. Шатровая модель деформирования породы-коллектора**

Основные соотношения и характеристики для аналитических расчетов величин уплотнения коллектора и оседаний земной поверхности. Коэффициент одномерного уплотнения. Пример расчета величины оседаний аналитическими методами. Шатровая модель уплотнения коллектора. Основные параметры шатровой модели. Координаты  $p$ - $q$ . Методика лабораторных исследований образцов керна для определения параметров шатровой модели. Линия нормальной консолидации, линия разгрузки и повторной нагрузки. Коэффициенты упругого и пластического уплотнения. Параметр упрочнения. Модели деформирования солей. Пластическая модель деформаций солей на основе ядра ползучести Абея и применения уравнения Вольтерра II-го рода.

**7. Трещиноватые породы-коллекторы. Основные физико-механические свойства трещиноватых горных пород и их определение. Модель деформирования трещиноватой породы по системам трещин.**

Особенности разработки месторождений с трещиноватыми коллекторами и их примеры. Коэффициент сжимаемости трещин и метод его определения на основе гидродинамических исследований скважин. Основные аналитические модели, описывающие изменение ширины, закрытия и проницаемости трещин (модель Котяхова, модель Бартона-Бандиса, модель Свена, модель Кулатилаки и др.). Примеры результатов экспериментов с изменением проницаемости трещин. Модель деформирования породы по системам трещин. Поворот системы координат из глобальной в систему координат трещин. Угол дилатансии. Критерий разрушения трещин. Определение предельного касательного напряжения.

**8. Связь геофизики и геомеханики. Определение физико-механических свойств горных пород на основе геофизических исследований скважин. Использование сейсмических данных. Понятие о моделях механических свойств, 1D моделях скважин и 3D геомеханических моделях месторождений.**

Связь геофизики и геомеханики. Основные характеристики упругой волны. Продольные и поперечные упругие волны. Вывод уравнений для определения скорости пробега продольной и поперечной волны. Основные соотношения для определения динамических упругих параметров горной породы. Использование сейсмических данных для определения упругих характеристик пород. Понятие о моделях механических свойств месторождений и описание основных параметров, которые в них входят. Понятие об 1D геомеханических моделях скважин и их основные характеристики. Программное обеспечение для построения 1D геомеханических моделей скважин. Основные принципы построения 3D геомеханических моделей. Программное обеспечение для построения 3D геомеханических моделей месторождений.

**9. Гидроразрыв пласта. Основные соотношения для определения давления гидроразрыва. Давление закрытия трещины. Использование данных, полученных при гидроразрыве пласта для определения его напряженно-деформированного состояния.**

Описание типовой технологии создания трещины гидроразрыва. Основные характеристики, описывающие трещину ГРП. Модель Христьяновича-Гиртсма-дэ Клерка. Модель Перкинса-Керна-Нордгрена. Круглая модель трещины. Типовые графики изменения давления и скорости закачки жидкости гидроразрыва. Определение давления гидроразрыва для ненасыщенной и насыщенной среды. Определение давления закрытия трещины. Примеры промысловых исследований при производстве ГРП. Определение минимального и максимального напряжения на основе промысловых данных ГРП. Методы определения ориентации максимального и минимального напряжения. Определение ориентации напряжений на основе микросейсмических исследований и исследований "имиджа" скважин.

**10. Деформирование скважины. Открытый ствол, обсаженный ствол. Основные аналитические соотношения, описывающие деформации прискважинной зоны. Критерии разрушения ствола скважины.**

Напряжения и деформации в полярной и цилиндрической системе координат. Уравнения движения в цилиндрической системе координат. Геометрические уравнения в цилиндрической системе координат. Физические уравнения в цилиндрической системе координат. Распределение напряжений вблизи скважины при постоянном давлении. Распределение напряжений вблизи скважины при изменяющемся давлении. Поворот системы координат скважины относительно глобальной системы координат. Напряжения на стенке скважины. Критерий разрушения стенок вертикальной скважины при различном соотношении компонент напряжений. Образование поверхностей линий скольжения при разрушении стенок скважины. Аналитический метод определения линий скольжения. Определение пластических деформаций при разрушении стенок скважины.

**11. Численные методы решения задач геомеханики. Понятие о методе конечных элементов. Решение упругих задач методом конечных элементов.**

Введение в численные методы. Метод конечных разностей. Метод конечных элементов. Примеры и области применения метода конечных разностей и метода конечных элементов. Типы используемых конечных элементов. Симплекс-элемент. Основные соотношения в матричной форме. Векторы напряжений, деформаций, перемещений. Матрица упругих констант, матрица производных функций формы. Локальная и глобальная матрица жесткости. Конкретные примеры расчетов задач нефтегазовой геомеханики методом конечных элементов. Расчет напряжений в околоскважинной зоне для открытого ствола скважины в упругой и пороупругой модели. Расчет устойчивости скважины, включая колонну и цементный камень. Моделирование щелевой перфорации. Моделирование кумулятивной перфорации.

**12. Подготовка данных и построение геологической модели в ПО РН-ГЕОСИМ. Подготовка данных и построение гидродинамической модели в ПО РН-КИМ.**

Основные исходные данные, требующиеся для построения геологической модели в ПО РН-ГЕОСИМ. Подготовка скважинных данных. Подготовка 3D поверхностей. Осреднение данных по скважинам. Построение 3D полей основных параметров, трехмерная интерполяция. Использование визуализатора результатов. Анализ и подготовка исходных данных для построения гидродинамической модели в ПО РН-КИМ. Загрузка данных об истории разработки месторождения. Адаптация гидродинамической модели. Запуск прогнозного расчета и анализ результатов.

**13. Подготовка данных и построение 1D геомеханических моделей в ПО РН-СИГМА. Подготовка данных и построение моделей трещин ГРП в ПО РН-ГРИД.**

Определение основных исходных данных, требующихся для построения 1D геомеханических моделей в ПО РН-СИГМА. Анализ результатов экспериментальных исследований образцов керн и геофизических исследований скважин. Загрузка скважинных данных в ПО РН-СИГМА. Построение модели упругих свойств. Расчет порового давления, вертикальных и горизонтальных напряжений. Определение окна плотности бурового раствора. Подготовка данных для моделирования трещины ГРП в ПО РН-ГРИД. Определение величин напряжений. Запуск на расчет и анализ результатов.

**14. Подготовка данных и построение 1D геомеханических моделей в ПО Геонафт. Подготовка данных и построение 3D геомеханических моделей в ПО Геотензор.**

Определение основных исходных данных, требующихся для построения 1D геомеханических моделей в ПО Геонафт. Анализ результатов экспериментальных исследований образцов керн и геофизических исследований скважин. Загрузка скважинных данных в ПО Геонафт. Построение модели упругих свойств. Расчет порового давления, вертикальных и горизонтальных напряжений. Определение окна плотности бурового раствора. Подготовка исходных данных 3D геомеханического моделирования в ПО Геотензор. Интерполяция параметров, запуск на расчет. Анализ результатов, полученных при расчете.

## **V. Самостоятельная работа аспирантов**

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения

самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется курсовыми работами. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованную литературу и конспекты лекций, а также использование программного обеспечения ПО РН-ГЕОСИМ, ПО РН-КИМ, ПО РН-СИГМА, ПО РН-ГРИД, ПО Геонафт, ПО Геотензор.

## VI. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Вопросы к экзамену:

1. Предмет нефтегазовой геомеханики. Проблемы и задачи, связанные с геомеханикой в масштабах скважины.
2. Предмет нефтегазовой геомеханики. Проблемы и задачи, связанные с геомеханикой в масштабах месторождения.
3. Основные типы разрушений породы вблизи скважины и с чем они вызваны.
4. Модуль упругости (модуль Юнга), коэффициент Пуассона, модуль сдвига.
5. Лабораторное определение упругих свойств горных пород (модуль упругости, коэффициент Пуассона).
6. Предел прочности при растяжении и методы его определения.
7. Предел прочности при сжатии и методы его определения.
8. Коэффициенты сжимаемости пор, породы, твердых частиц, трещин. Коэффициент Био.
9. Коэффициент трещиностойкости и методы его определения.
10. Определение упругих и прочностных свойств в установках псевдо- и истинно-трехосного сжатия.
11. Нормальные и касательные напряжения. Тензор напряжений. Главные напряжения.
12. Осевые и сдвиговые деформации. Тензор деформаций. Закон Гука.
13. Основные уравнения, описывающие деформации твердого тела. Динамические уравнения.
14. Основные уравнения, описывающие деформации твердого тела. Геометрические уравнения.
15. Основные уравнения, описывающие деформации твердого тела. Физические уравнения.
16. Определение вертикального напряжения. Вывод соотношения для определения горизонтальной компоненты напряжений. Гипотеза Динника.
17. Основные соотношения пороупругости. Теория пороупругости Био.
18. Типы анизотропии механических свойств горных пород. Трансверсально-изотропная горная порода.
19. Паспорт прочности горной породы в координатах  $\tau$ - $\sigma$ .
20. Паспорт прочности горной породы в главных напряжениях.
21. Паспорт прочности горной породы в трехмерной постановке.
22. Пластические свойства горной породы. Жесткопластическое тело.
23. Пластические свойства горной породы. Упругопластическое тело.
24. Реологические модели. Модель Максвелла и модель Кельвина-Фойгта.
25. Упруго-вязкопластические модели. Модель Шведова-Бингама, модель с последовательным расположением элементов.
26. Затухающая и незатухающая ползучесть. Релаксация, упругое последствие.
27. Распределение напряжений вблизи скважины при постоянном давлении.
28. Распределение напряжений вблизи скважины при изменяющемся давлении.
29. Критерий разрушения стенок вертикальной скважины для варианта  $\sigma_z > \sigma_\theta > \sigma_r$ .
30. Гидроразрыв пласта. Модель KGD.
31. Гидроразрыв пласта. Модель PKN.
32. Гидроразрыв пласта. Определение давления гидроразрыва для ненасыщенной и насыщенной среды.
33. Определение минимального и максимального напряжения на основе промысловых данных ГРП.
34. Методы определения ориентации максимального и минимального напряжения.
35. Аналитические методы определения оседаний земной поверхности.

36. Поверхность пластичности. Пластический потенциал. Ассоциированный закон пластического течения.
37. Шатровая модель уплотнения коллектора.
38. Методика лабораторных исследований образцов керна для определения параметров шатровой модели.
39. Модели деформирования солей.
40. Связь геофизики и геомеханики. Основные характеристики упругой волны.
41. Продольные и поперечные упругие волны. Основные соотношения для определения динамических упругих параметров горной породы.
42. Модель деформирования породы по системам трещин. Угол дилатансии.
43. Основные модели, описывающие изменение ширины, закрытия и проницаемости трещин.
44. Метод конечных разностей.
45. Метод конечных элементов. Основные соотношения в матричной форме.
46. Подготовка данных и построение геологической модели в ПО РН-ГЕОСИМ
47. Подготовка данных и построение гидродинамической модели в ПО РН-КИМ
48. Подготовка данных и построение 1D геомеханических моделей в ПО РН-СИГМА
49. Подготовка данных и построение моделей трещин ГРП в ПО РН-ГРИД
50. Подготовка данных и построение 1D геомеханических моделей в ПО Геонафт
51. Подготовка данных и построение 3D геомеханических моделей в ПО Геотензор

## **VII. Основная и дополнительная литература:**

### **а) основная литература:**

1. Марк Д. Зобак. Геомеханика нефтяных залежей: – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. – 480 с.
2. Fjear E., Holt R.M., Horsrud P., Raaen A.M., Risnes R. Petroleum related rock mechanics. Elsevier. Amsterdam, 2008. 492 p.

### **б) дополнительная литература:**

1. Charlez Ph. Rock Mechanics. Volume 2. Petroleum applications. Paris, 1997.
2. Economides M.J. Reservoir stimulation. John Wiley & Sons, 2000. 808 p.
3. Economides M.J. Oligney R., Valko P. Unified fracture design: bridging the gap between theory and practice. Alvin, Texas: Orsa Press, 2002. 264 p. (Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта. Наведение мостов между теорией и практикой)
6. Ching H Yew, Xiaowei W. Mechanics of hydraulic fracturing. Second edition. Elsevier. 2015.
7. Zimmerman R.W. Compressibility of sandstones. Elsevier, 1991. 183 p.
8. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. М.: Недра, 1970. 239 с.
9. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. М.: ООО «Недра Бизнес-центр», 2007. 476 с.
10. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. - М: Недра, 1987. 221 с.
11. Wittke W. Rock mechanics based on an anisotropic jointed rock. Berlin, 2014.
12. В.Виттке. Механика скальных пород. М: Недра, 1990.
13. Безухов Н.И. Теория упругости и пластичности. М: ГИТТЛ, 1953.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Программные комплексы ПО РН-ГЕОСИМ, ПО РН-КИМ, ПО РН-СИГМА, ПО РН-ГРИД, ПО Геонафт, ПО Геотензор, ANSYS, Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint, RMS (Rohar) при необходимости, MAPLE.

Электронные материалы по курсу, отечественная и зарубежная литература для написания курсовых работ по поисковой системе Google, электронный материал к курсу лекций, набор слайдов и презентаций. <http://oilgasjournal.ru> - электронный научный журнал «Актуальные проблемы нефти и газа» института проблем нефти и газа РАН;

### **VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

- аудиторный фонд ИПНГ РАН,
- ноутбук, мультимедиа-проектор, экран, учебная доска,
- рабочее место с выходом в интернет,
- библиотечный фонд ИПНГ РАН.