

**Бюджетное учреждение высшего образования  
Ханты-Мансийского автономного округа-Югры  
"Сургутский государственный университет"**



## Механика геофизических сред рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	<b>Экспериментальной физики</b>	
Учебный план	b030302-ЦифрТех-19-1.plx 03.03.02 ФИЗИКА Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике	
Квалификация	<b>Бакалавр</b>	
Форма обучения	<b>очная</b>	
Общая трудоемкость	<b>2 ЗЕТ</b>	
Часов по учебному плану	72	Виды контроля в семестрах: зачеты 6
в том числе:		
аудиторные занятия	32	
самостоятельная работа	40	

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	Неделя	17,3		
Вид занятий	УП	РПД	УП	РПД
Лекции	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
В том числе инт.	16	16	16	16
Итого ауд.	32	32	32	32
Контактная работа	32	32	32	32
Сам. работа	40	40	40	40
Итого	72	72	72	72

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., профессор Ельников А.В.



Рабочая программа дисциплины

**Механика геофизических сред**

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 07.08.2014г. №937)

составлена на основании учебного плана:

03.03.02 ФИЗИКА

Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике

утвержденного учёным советом вуза от 20 июня 2019 г., протокол УС №6

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Экспериментальной физики**

Протокол от 17 05 2019 г. № 03/10

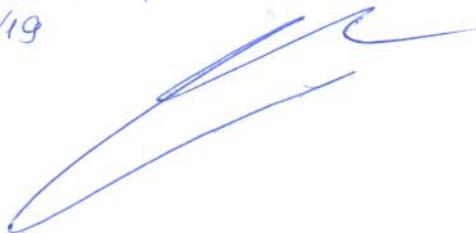
Срок действия программы: уч.г.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор Ельников А.В.



Председатель УМС к.т.н., доцент Тараканов Д.В.

07 06 2019 г. 106/19



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Изучение студентами феноменологических закономерностей механики геофизических сред, их моделей и методов описания их движения.
-----	--

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.ДВ.06
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Математический анализ
2.1.2	Дифференциальные уравнения
2.1.3	Теоретическая механика
2.1.4	Модуль "Общая физика"
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Методы ядерной геофизики
2.2.2	Методы геофизических исследований
2.2.3	Телекоммуникационные системы в геофизике
2.2.4	Физика конденсированного состояния
2.2.5	Датчики физических полей

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ОК-6:** способностью работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия

**ОК-7:** способностью к самоорганизации и самообразованию

**ОПК-3:** способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ПК-1:** способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	основные направления, проблемы, методы и подходы механики сплошных сред и современной геофизической гидродинамики;
3.1.2	свойства, характеристики и модели механики геофизических сред и их классификацию, методы и методики их описания.
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	ориентироваться в структуре геофизических сред и классифицировать их по происхождению и условиям формирования;
3.2.2	применять теоретические сведения для оценки основных параметров волновых движений в геофизических средах;
3.2.3	решать стандартные задачи механики сплошных сред и геофизической гидродинамики с применением методов математической
3.2.4	физики, в том числе в составе исследовательского коллектива
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	базовыми навыками анализа наблюдаемых в геофизических средах физических явлений и методами математической физики;

3.3.2	навыками работы в коллективе;
3.3.3	навыками описания параметров, структуры и свойств геофизических сред и их классификацию.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	<b>Раздел 1. 1. Введение.</b>						
1.1	Понятие толерантности, основные нормы поведения в условиях многонационального общества. Геофизическая среда. Основные понятия. Определение структурной модели. Масштабные уровни моделей недр. Геофизические методы изучения структуры земной коры. /Лек/	6	3	ОК-6 ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.3 Э1	0	
1.2	Основные источники энергии для эволюции Земли. /Пр/	6	3	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2Л2.1Л3.2	3	Решение задач
1.3	Работа с литературой: Гравиразведка. /Ср/	6	8	ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1	0	Подготовка к практическим занятиям
1.4	/Контр.раб./	6	0			0	
	<b>Раздел 2. 2. Основные понятия структурной геологии</b>						
2.1	Горные породы и породообразующие процессы. Геодинамические и тектонические процессы. Осадочные бассейны и основы стратиграфии. Геологические и тектоно-физические границы. Деформации горных пород – структурная геология. Этапы деформаций. Элементы залегания. /Лек/	6	3	ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Э1	0	
2.2	Тепловое поле Земли. /Пр/	6	2	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2Л2.1Л3.2	2	Решение задач
2.3	Работа с литературой: Магниторазведка /Ср/	6	8	ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1Л3.2 Э1	0	
	<b>Раздел 3. 3. Методы и технологии изучения геофизической среды</b>						
3.1	Дистанционные методы зондирования земной поверхности. Полевые геофизические методы регистрации потенциальных полей. Геофизические исследования скважин. Сейсмические методы изучения структуры, свойств и состояния недр. Этапы изучения территорий недропользования. /Лек/	6	3	ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Э1	0	
3.2	Расчет дозовых нагрузок для биологических объектов. /Пр/	6	4	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2Л2.1Л3.2	4	Решение задач
3.3	Работа с литературой: Ядерно-физические и радиометрические методы. /Ср/	6	8	ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1Л3.2 Э1	0	Подготовка к практическому занятию
	<b>Раздел 4. 4.Методы построения геолого-геофизических разрезов</b>						
4.1	Литологические и стратиграфические колонки. Основные элементы геолого-геофизических разрезов. Корреляция границ. Представление моделей геолого -геофизических разрезов в геоинформационных и специализированных системах /Лек/	6	3	ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Э1	0	

4.2	Количественная оценка основных параметров землетрясений. /Пр/	6	4	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2Л2.1Л3.2	4	Решение задач
4.3	Работа с литературой: Электроразведка. /Ср/	6	8	ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1Л3.2 Э1	0	Работа с литературой
<b>Раздел 5. 5. Физические свойства горных пород</b>							
5.1	Упругие свойства минералов и горных пород. Плотность горных пород и закономерности ее изменения. Скорости сейсмических колебаний в горных породах. Магнетизм горных пород. Магнитная восприимчивость и намагниченность горных пород, виды намагниченности. Электрические и электромагнитные свойства горных пород и техногенных объектов. Естественная радиоактивность горных пород и строительных материалов. /Лек/	6	4	ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Л1.3Л2.1Л3.1 Э1	0	
5.2	Определение скорости движения подземного потока загрязнений методом заряда. /Пр/	6	3	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2Л2.1Л3.2	3	Решение задач
5.3	Работа с литературой: Сейсморазведка. /Ср/	6	8	ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1Л3.2 Э1	0	Подготовка к зачету
<b>Раздел 6. Механика геофизических сред</b>							
6.1	/Зачёт/	6	0	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1Л3.2	0	

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 5.1. Контрольные вопросы и задания

Приведены в приложении 1

### 5.2. Темы письменных работ

Приведены в приложении 1

### 5.3. Фонд оценочных средств

Приведены в приложении 1

### 5.4. Перечень видов оценочных средств

Решение задач. Зачет.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л1.1	Учайкин В. В.	Механика. Основы механики сплошных сред	Москва: Лань", 2016, <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=87596">http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=87596</a>	1

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л1.2	Папуша А. Н.	Механика сплошных сред: учебное пособие	Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011, <a href="http://www.iprbookshop.ru/16572">http://www.iprbookshop.ru/16572</a>	1
Л1.3	Черняк В. Г., Суетин П. Е.	Механика сплошных сред: Учебное пособие для вузов	Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006, <a href="http://www.iprbookshop.ru/17337">http://www.iprbookshop.ru/17337</a>	1

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л2.1	Гольдштейн Р. В., Городцов В. А.	Механика сплошных сред. Ч. 1. Основы и классические модели жидкостей: Курс лекций	М.: Наука:Физматлит, 2000	8
Л2.2	Кульгина Л. М.	Теоретическая механика. Механика сплошных сред: Учебное пособие	Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2014, <a href="http://www.iprbookshop.ru/63248.html">http://www.iprbookshop.ru/63248.html</a>	1
Л2.3	Мусин Ю. Р.	Физика: механика сплошных сред, молекулярная физика и термодинамика: Учебное пособие	Москва: Издательство Юрайт, 2019, <a href="https://www.biblio-online.ru/book/fizika-mehnika-splshnyh-sred-molekulyarnaya-fizika-i-termodinamika-438256">https://www.biblio-online.ru/book/fizika-mehnika-splshnyh-sred-molekulyarnaya-fizika-i-termodinamika-438256</a>	1

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л3.1	Науч. ред. В. В. Селиванов	Прикладная механика сплошных сред: Учеб. для студентов высш. техн.учеб. заведений: В 3 т. Т. 2	М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999	1
Л3.2	Табарин В. А., Иконников В. П.	Физические основы электроники: (Лабораторный практикум)	Сургут: Издательство СурГУ, 2004	179
Л3.3	Орлов А. В.	Лабораторный практикум по механике	Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2007	1

#### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1 Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ России)

#### 6.3.1 Перечень программного обеспечения

6.3.1.1 Microsoft Office

#### 6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1 <http://www.garant.ru> Информационно-правовой портал Гарант.ру

6.3.2.2 <http://www.consultant.ru/> Справочно-правовая система Консультант Плюс

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1	Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа (практических занятий), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащены: типовой учебной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
-----	---

<b>8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА**  
**Приложение к рабочей программе по дисциплине**

**МЕХАНИКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СРЕД**

Квалификация выпускника	Бакалавр
Направление подготовки	<u>03.03.02</u> <u>Физика</u>
Направленность (профиль)	Цифровые технологии в геофизике
Форма обучения	очная
Кафедра- разработчик	Кафедра экспериментальной физики
Выпускающая кафедра	Кафедра экспериментальной физики

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для  
оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения  
образовательной программы**

**Типовые задачи и их решения к текущему контролю:**

Тема 1. Модель сплошной среды. Кинематика сплошной среды

<p><b>Задача 1.1</b></p>	<p>При экспериментальном изучении явлений переноса в газах часто используется метод «двух объемов». Представим себе экспериментальную ячейку в виде двух камер, объединенных узким капилляром. Можно ли моделировать газ как сплошную среду, если среднее давление в ячейке равно <math>p = 8</math> кПа, радиус капилляра <math>a = 10^{-3}</math> м, длина <math>L = 0,05</math> м, объемы камер <math>V = 10^{-3}</math> м<sup>3</sup>, время установления стационарного состояния <math>\tau = 60</math> с. Ячейка заполнена аргоном при температуре <math>T = 293</math> К. Газ считать идеальным, а молекулы аргона – твердыми сферами с эффективным диаметром <math>d = 3,42 \cdot 10^{-10}</math> м. Молярная масса аргона <math>M = 0,0399</math> кг/моль.</p>
<p><b>Решение задачи 1.1.</b></p>	<p>Решение. Оценим среднюю длину свободного пробега газовых молекул при заданных условиях. Как известно из курса общей физики, для молекул, моделируемых твердыми шариками, имеем</p> $l = \frac{1}{\sqrt{2} \pi n d^2} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi p d^2} \approx 10^{-6} \text{ м}, \quad p = nkT, \quad (1.4)$ <p>где <math>k = 1,38 \cdot 10^{-23}</math> Дж/К – постоянная Больцмана.</p> <p>Из макроскопических размеров экспериментальной ячейки, данных в условии задачи, выберем наименьший, радиус капилляра. Если неравенство (1.2) будет выполняться для этого параметра, то для других элементов ячейки оно тем более будет выполнено. Поскольку <math>l^3 \approx 10^{-18}</math> м<sup>3</sup>, <math>a^3 = 10^{-9}</math> м<sup>3</sup>, то всегда можно выбрать такой элемент объема <math>\Delta V</math>, чтобы выполнялось неравенство (1.2).</p> $l^3 \ll \Delta V \ll V \quad (1.2)$
	<p>Среднее время свободного пробега молекул можно оценить по формуле</p> $\tau_m = \frac{l}{\bar{v}} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ с}, \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}, \quad (1.5)$ <p>где <math>\bar{v}</math> – средняя скорость теплового движения молекул, <math>R = 8,31</math> Дж/(К · моль) – молярная газовая постоянная.</p>
	<p>Характерное макроскопическое время по условию задачи равно <math>\tau_p = 60</math> с. Следовательно, можно выбрать такой физически бесконечно малый промежуток времени <math>\Delta t</math>, чтобы выполнялось неравенство (1.3). Таким образом, в данных экспериментальных условиях газ можно моделировать как сплошную среду.</p> $\tau_m \ll \Delta t \ll \tau_p \quad (1.3)$
<p><b>Задача 1.2</b></p>	<p>Движение жидкости задано способом Лагранжа (<math>x, y, z</math> – декартовы координаты, <math>a, b, c</math> – переменные Лагранжа, <math>t</math> – время).</p> $x = a \cdot \cos(at + b); y = a \cdot \sin(at + b); z = c + \omega t.$ <p>Описать движение в переменных Эйлера.</p>

<b>Решение задачи 1.2.</b>	$V_x = \frac{dx}{dt} = -a \cdot \alpha \cdot \sin(\alpha t + b) = -\alpha y$ $V_y = \frac{dy}{dt} = a \cdot \alpha \cdot \cos(\alpha t + b) = \alpha x$ $V_z = \frac{dz}{dt} = \omega$
----------------------------	--

<b>Задача 1.3</b>	<b>Движение жидкости задано способом Эйлера:</b>	$V_x = -\alpha t x; V_y = \alpha t y; V_z = 0$
	Описать движение в переменных Лагранжа	

<b>Решение задачи 1.3</b>	$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -\alpha t x \\ \frac{dy}{dt} = \alpha t y \\ \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{dx}{x} = -\alpha t dt \\ \frac{dy}{y} = \alpha t dt \\ z = C_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \ln(x) = -\alpha t^2/2 + \tilde{C}_1 \\ \ln(y) = \alpha t^2/2 + \tilde{C}_2 \\ z = C_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = C_1 \cdot \exp(-\alpha t^2/2) \\ y = C_2 \cdot \exp(\alpha t^2/2) \\ z = C_3 \end{cases}$ $(x, y, z)_{t=0} = (a, b, c) \Rightarrow \begin{cases} a = C_1 \\ b = C_2 \\ c = C_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = a \cdot \exp(-\alpha t^2/2) \\ y = b \cdot \exp(\alpha t^2/2) \\ z = c \end{cases}$
---------------------------	--

Тема 2. Уравнения теории упругости.

<b>Задача 2.1</b>	<p>Определите модуль сдвига <math>\mu</math> из опыта (схеме на рис.): 1 - источник света, 2 - шкала, 3 - зеркальный торец бруска, 4 - испытуемый брусок с площадью основания 5; <math>d</math> - расстояние от зеркала до шкалы, <math>\delta</math> - смещение отраженного луча при деформации бруска.</p>	
<b>Решение задачи 2.1.</b>	<p>В рассматриваемом опыте заданы сила <math>F</math>, действующая верхнюю грань бруска вдоль оси 2, расстояние <math>d</math> от шкалы до боковой (зеркальной) грани и площадь <math>S</math> поперечного сечения испытуемого бруска. Измеряется смещение <math>S</math> отраженного при деформации светового луча.</p> <p>Поскольку сила <math>F</math> обуславливает деформацию чистого сдвига, то по существу задача сводится к определению компонент тензора деформаций. Единственная отличная от нуля компонента тензора напряжений равна</p>	$\sigma_{xz} = \frac{F}{S}$

	<p>Так как смещение любой точки бруска происходит только вдоль оси <math>z</math> (смещением вдоль оси <math>x</math> при малой деформации можно пренебречь), то из рисунка видно, что вектор деформации имеет следующие компоненты</p> $u_x = u_y = 0, \quad u_z = x \cdot \operatorname{tg} \varphi \approx x \cdot \varphi. \quad (4.110)$ <p>Здесь учтено, что угол <math>\varphi</math> мал. Из соотношения (2.6) следует:</p> $\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \frac{\partial u_z}{\partial x} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi \approx \frac{1}{2} \varphi. \quad (4.111)$ <p>С другой стороны из закона Гука (3.31) с учетом выражения (4.109) получаем</p> $\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2\mu} \sigma_{xz} = \frac{1}{2\mu} \frac{F}{S}. \quad (4.112)$ <p>Как видно из рис. 4.6,</p> $\operatorname{tg} (2\varphi) \approx 2\varphi \approx \frac{\delta}{d}.$ <p>Тогда из выражений (4.111) и (4.112) для модуля сдвига получим</p> $\mu = 2 \frac{F d}{S \delta}. \quad (4.113)$
--	---

### Тема 3. Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды

<b>Задача 3.1</b>	<p>Определить форму свободной поверхности и распределение давления в объеме <math>V</math> несжимаемой жидкости, тяготеющей к неподвижному центру с силой, пропорциональной удалению от центра. Оценить давление в центре Земли, считая ее несжимаемой жидкостью (<math>R=6,4 \cdot 10^6</math> м., <math>\rho=5,5 \cdot 10^3</math> кг/м<sup>3</sup>).</p>
<b>Решение задачи 3.1.</b>	<p>перейдем в сферическую систему координат:</p> $\vec{F} = -a\vec{r}, \quad \rho\vec{F} = \operatorname{grad}(p) \Rightarrow \begin{cases} \partial p / \partial r = -\rho a r \\ \partial p / \partial \varphi = 0 \\ \partial p / \partial \theta = 0 \end{cases} \Rightarrow p = -\rho a r^2 / 2 + C$ <p>Очевидно, что изобары в этом случае являются сферами с центром в начале координат и, соответственно, форма свободной поверхности также будет сферической. Перейдем к оценке давления в центре Земли (все вычисления проводятся в системе единиц СИ).</p> $\begin{cases} F _{r=R} = g \\ p _{r=R} = p_A = 10^5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = g/R \\ C = p_A + 0,5\rho a R^2 \end{cases} \Rightarrow$ $\Rightarrow P_C = C = 10^5 + 0,5 \cdot 5,5 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \approx 1,725 \cdot 10^{11}$ <p>Таким образом, давление в центре Земли равно <math>1,725 \cdot 10^6</math> атмосфер.</p>
<b>Задача 3.2</b>	<p>Определить форму свободной поверхности жидкости, совершающей квазитвердое вращение вместе с сосудом с угловой скоростью <math>\omega</math></p>

<p><b>Решение задачи 3.2.</b></p>	<p><u>Решение:</u> перейдем в систему координат, связанную с вращающейся жидкостью. При переходе в неинерциальную систему координат появится центробежная сила. В цилиндрической системе координат можно записать:</p> $\vec{F} = g \cdot \vec{e}_z + \omega^2 r \cdot \vec{e}_r.$ <p>Из уравнения Эйлера следует, что <math>\partial p / \partial z = -\rho g</math>, <math>\partial p / \partial r = \rho \omega^2 r</math>, <math>\partial p / \partial \phi = 0</math>. Следовательно <math>p = \rho \omega^2 r^2 / 2 - \rho g z + p_0</math>. Из постоянства давления на свободной поверхности будем иметь следующую форму свободной поверхности:</p> $z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + z_0.$ <p>При этом константа <math>z_0</math> определяется из дополнительных условий.</p>
-----------------------------------	--

Тема 4. Идеальная жидкость

<p><b>Задача 4.1</b></p>	<p>Найти уравнения линий тока и траекторий для течения жидкости, декартовы компоненты скорости которых заданы формулой:</p> $v_x = -ay, \quad v_y = ax, \quad v_z = 0.$
<p><b>Решение задачи 4.1.</b></p>	<p><b>Решение.</b> Запишем уравнения для линий тока</p> $\frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y} \quad (1)$ <p>Подставляя выражения для компонент скорости и разделяя переменные, получим:</p> $ax dx = -ay dy \quad (2)$ <p>Интегрирование правой и левой части (2) приводит к выражению:</p> $\frac{ax^2}{2} = -\frac{ay^2}{2} + C, \quad (3)$ <p>где <math>C</math> – постоянная интегрирования. В итоге уравнения для линий тока имеют следующий вид:</p> $x^2 + y^2 = \frac{2C}{a}, \quad (4)$ <p>то есть описывают окружности.</p> <p>Поскольку движение жидкости является стационарным (компоненты скорости явно не зависят от времени), траекториями также будут являться окружности. Действительно:</p> $v_x = \frac{dx}{dt} = -ay; \quad v_y = \frac{dy}{dt} = ax \quad (5)$ <p>Дифференцируя по времени правую и левую части (5) и выражая первые производные через соответствующие компоненты скорости, получим уравнения:</p> $\frac{d^2x}{dt^2} = -a^2x; \quad y = -\frac{dx/dt}{a} \quad (6)$ <p>Решением уравнений (6) очевидно являются:</p> $x = A \cos \omega t; \quad y = A \sin \omega t, \quad (7)$ <p>которые параметрически определяют окружности. Действительно, возводя в квадрат и складывая правые и левые части (7), получим, что траекториями движения частиц жидкости являются окружности радиуса <math>A</math>.</p>
<p><b>Задача 4.2</b></p>	<p>Тяжелая жидкость находится в равновесии в вагонетке, которая скатывается без скольжения по наклонной плоскости с углом <math>\alpha</math>. Какова форма свободной поверхности жидкости и распределение давления в соответствии с глубиной жидкости? Внешнее давление <math>p_0</math>.</p>

<p><b>Решение задачи 4.2.</b></p>	<p>В системе координат, связанной с поверхностью движущейся равноускоренно вагонеткой, ускорение движения вагонетки равно <math>g \sin \alpha</math>, жидкость покоится. В этой системе уравнения Эйлера могут быть записаны в виде:</p> $g \sin \alpha = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g \sin \alpha,$ $0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - g \cos \alpha,$ <p>где слагаемое <math>g \sin \alpha</math> соответствует инерционной составляющей проекции силы на ось <math>x</math> (система координат движется равноускоренно). Давление изменяется только по оси <math>y</math>:</p> $p = -\rho g y \cos \alpha + C,$ <p>где константа интегрирования определяется из граничного условия на свободной поверхности: <math>p = p_0</math> при <math>y = H</math>, где <math>H</math> расстояние от поверхности жидкости до дна вагонетки. Окончательно имеем</p> $p = p_0 + \rho g (H - y) \cos \alpha.$ <p>Свободная поверхность параллельна поверхности наклонной плоскости. Уравнение свободной поверхности</p> $y = H.$
-----------------------------------	---

Тема 5. Вязкая жидкость

<p><b>Задача 5.1</b></p>	<p>Тонкий горизонтальный диск радиуса <math>R = 10</math> см расположен в цилиндрической полости с маслом, вязкость которого <math>\eta = 0,08</math> мПа·с. Зазоры между диском и горизонтальными торцами полости одинаковы и равны <math>h = 1,0</math> мм. Найти мощность, которую развивают силы вязкости, действующие на диск, при вращении его с угловой скоростью <math>\omega = 60</math> рад/с. Краевыми эффектами пренебречь.</p>
<p><b>Решение задачи 5.1.</b></p>	<p><b>Решение.</b> Пусть <math>f = \eta \frac{v}{h}</math> – сила трения, действующая на единицу площади диска, где <math>v = \omega r</math> – линейная скорость. Мощность</p> $N = 2 \int_0^R f v ds = 4\pi \frac{\eta \omega^2 R}{h} \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi \eta \omega^2 R^4}{h},$ <p>где учли, что <math>ds = 2\pi r dr</math>.</p>
<p><b>Задача 5.2</b></p>	<p>Тонкий слой жидкости толщиной <math>h</math> стекает по поверхности вертикального цилиндра радиуса <math>a</math>. Найти скорость <math>v_z</math> и объемный расход жидкости <math>Q</math>.</p>
<p><b>Решение задачи 5.2.</b></p>	<p><b>Решение.</b> Стационарное уравнение Навье-Стокса для стекающей плёнки имеет вид:</p> $(\mathbf{v}\nabla)v_z = \frac{\mu}{\rho} \Delta v_z - g. \quad (1)$ <p>Решение (1) удобно проводить в цилиндрической системе координат для которой:</p> $(\mathbf{v}\nabla)v_z = v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \varphi} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \quad (2)$ $\Delta v_z = \frac{1}{r} \frac{\partial(rv'_z)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}. \quad (3)$

	<p>С учётом уравнения неразрывности и симметрии задачи <math>v_z = v_z(r)</math>:</p> $(\mathbf{v}\nabla)v_z = 0, \quad \Delta v_z = \frac{1}{r} \frac{\partial(rv'_z)}{\partial r}. \quad (4)$ <p>Подставляя (4) в (1), получим:</p> $\frac{\mu}{r} \frac{\partial(rv'_z)}{\partial r} - \rho g = 0. \quad (5)$ <p>Интегрируя, получим</p> $v'_z = \frac{\rho g}{2\mu} r + \frac{c_1}{r}. \quad (6)$ <p>Интегрируя ещё раз:</p> $v_z = \frac{\rho g}{4\mu} r^2 + c_1 \ln(r) + c_2. \quad (7)$ <p>С учётом граничных условий:</p> $v_z(a) = 0, \quad \sigma_{rz}(a+h) = \mu v'_z(a+h) = 0, \quad (8)$ <p>получим</p> $c_1 = \frac{-\rho g(a+h)^2}{2\mu}, \quad c_2 = \frac{\rho g(a+h)^2 \ln(a)}{2\mu} - \frac{\rho g a^2}{4\mu}. \quad (9)$ <p>Таким образом:</p> $v_z = \frac{\rho g}{4\mu} \left\{ r^2 - a^2 - 2(a+h)^2 \ln(r/a) \right\}, \quad Q = 2\pi \int_a^{a+h} r v_z dr.$
--	--

### Тема 6. Турбулентность Пограничный слой

<b>Задача 6.1</b>	<p>Свинцовый шарик, плотностью <math>\gamma</math>, равномерно опускается в глицерине, вязкость которого <math>\mu = 1,39</math> Па·с, а плотность <math>\rho_0</math>. При каком наибольшем диаметре шарика его обтекание еще остается ламинарным? Известно, что переход к турбулентному обтеканию соответствует числу <math>Re = 0,5</math> (это значение числа <math>Re</math>, при котором за характерный размер взят диаметр шарика).</p>
<b>Решение задачи 6.1.</b>	<p><b>Решение.</b> При установившейся скорости результирующая сила равна нулю:</p> $0 = F_T - F_A - F_c, \quad (1)$ <p>где <math>F_T = \pi d^3 \rho g / 6</math>, <math>F_A = \pi d^3 \rho_0 g / 6</math>, <math>F_c = 3\pi \mu d v</math>. <span style="float: right;">(2)</span></p> <p>Подставляя (2) в (1), получим</p> $v = d^2 (\rho - \rho_0) g / 18\mu. \quad (3)$ <p>Следовательно</p> $Re = v d \rho_0 / \mu = d^3 (\rho - \rho_0) \rho_0 g / 18\mu^2.$ <p>Таким образом, <math>d = \sqrt[3]{\frac{18 Re \mu^2}{\rho_0 g (\rho - \rho_0)}}</math>.</p>

<b>Задача 6.2</b>	<p>Имеется установившееся равномерное турбулентное течение жидкости в направлении оси <math>x</math> под действием давления <math>\langle p \rangle</math> между параллельными горизонтальными пластинами, перпендикулярными оси <math>y</math>. Определить: а) распределение осредненного давления вдоль <math>y</math>; б) турбулентное касательное напряжение <math>\sigma_{xy}</math>.</p>
-------------------	--

<p><b>Решение задачи 6.2.</b></p>	<p><b>Решение.</b> Из условия задачи следует, что</p> $\frac{\partial \langle v_x \rangle}{\partial t} = 0, \langle v_y \rangle = 0.$ <p>В итоге проекции двумерного уравнения Рейнольдса на оси координат примут вид</p> $0 = -\frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 \langle v_x \rangle}{\partial y^2} - \rho \frac{\partial \langle v_x v_y' \rangle}{\partial y}, \quad (1)$ $0 = -\frac{\partial \langle p \rangle}{\partial y} - \rho \frac{\partial \langle v_y'^2 \rangle}{\partial y}. \quad (2)$ <p>Из уравнения (2) следует, что</p> $\langle p \rangle + \rho \langle v_y'^2 \rangle = \text{const}.$ <p>Таким образом, давление в жидкости между параллельными пластинами превышает давление вдоль потока на величину <math>\rho \langle v_y'^2 \rangle</math>.</p> <p>Так как мы рассматриваем турбулентное течение жидкости, т. е. течение жидкости при больших числах Рейнольдса, то в уравнении (1) можно пренебречь слагаемым молекулярной вязкости:</p> $0 = -\frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x} - \rho \frac{\partial \langle v_x v_y' \rangle}{\partial y}.$ <p>Так как давление <math>\langle p \rangle</math> не зависит от координаты <math>y</math>, то турбулентное напряжение</p> $\sigma'_{xy} = -\rho \langle v_x v_y' \rangle = y \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x}.$
-----------------------------------	---

## Типовые вопросы к зачету по дисциплине «Механика геофизических сред»

### Тема 1. Модель геофизических сред. Кинематика геофизических сред

1. Модели механического движения
2. Бесконечно малые в модели сплошной среды
3. Бесконечно малый элемент объема.
4. Бесконечно малый промежуток времени.
5. Движение сплошной среды в представлении Лагранжа и Эйлера
6. Деформация. Тензор поворота. Тензор деформации
7. Изменение объема тела при деформации
8. Теорема Коши-Гельмгольца

### Тема 2. Уравнения теории упругости.

1. Тензор напряжений
2. Силы массовые, объемные и поверхностные
3. Результирующая поверхностная сила, действующая на единицу объема тела
4. Термодинамика деформирования. Работа внутренних сил.
5. Закон Гука
6. Однородная деформация Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Диаграмма растяжения.

### **Тема 3. Фундаментальная система уравнений движения геофизических сред**

1. Тензор скоростей деформации
2. Дифференцирование по времени интеграла по подвижному объему
3. Уравнение непрерывности
4. Интегральная и дифференциальная форма уравнения непрерывности
5. Уравнение движения сплошной среды
6. Вектор плотности потока полной энергии. Вектор Умова
7. Замкнутая система уравнений движения сплошной среды
8. Уравнение теплопроводности изотропных сред.
9. Тензор вязких напряжений
10. Модели сплошных сред
11. Упругие волны

### **Тема 4. Идеальная жидкость**

1. Уравнения движения идеальной жидкости
2. Уравнение Бернулли
3. Линии тока и траектории. Трубка тока
4. Применение уравнения Бернулли
5. Скорость истечения идеальной несжимаемой жидкости из сосуда
6. Распределение давления в трубе переменного сечения
7. Влияние сжимаемости среды
8. Вихревое движение
9. Теорема Томсона. Теорема Гельмгольца.
10. Одиночная вихревая прямолинейная нить
11. Примеры вихревых движений
12. Потенциальное движение. Потенциал скорости
13. Идеальная несжимаемая жидкость.

### **Тема 5. Вязкая жидкость**

1. Замкнутая система уравнений движения вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса
2. Вихревое движение вязкой жидкости.
3. Диссипация кинетической энергии несжимаемой вязкой жидкости
4. Точные решения уравнения Навье-Стокса. Течение Куэтта
5. Точные решения уравнения Навье-Стокса Плоское течение Пуазейля
6. Цилиндрическое течение Пуазейля.
7. Движение жидкости между двумя вращающимися цилиндрами
8. Медленное обтекание шара

### **Тема 6. Турбулентность Пограничный слой**

1. Ламинарное и турбулентное течение.
2. Устойчивость стационарного движения жидкости
3. Устойчивость движения жидкости между коаксиальными цилиндрами
4. Уравнения Рейнольдса
5. Понятие пограничного слоя
6. Уравнения Прандтля
7. Безразмерный вид уравнений Прандтля.
8. Обтекание полубесконечной пластины

## Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

### Этап: проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине

Текущий контроль предназначен для проверки качества формирования компетенций, уровня овладения теоретическими и практическими знаниями, умениями и навыками. Выполнение практических заданий текущего контроля дает возможность оценить знания, умения и навыки по проверяемым компетенциям ОК-7, ОПК-3, ПК-1. Для проверки уровня сформированности компетенции ОК-6 часть задач предлагается для группового решения в группах из 2-3 человек. Выполнение заданий текущего контроля оценивается по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Оценки «*зачтено*» заслуживает обучающийся, в **решении задачи** которого:

- составлен правильный алгоритм решения задачи;
- в выборе формулы, логическом рассуждении и решении нет ошибок;
- понятна идея предлагаемого решения;
- получен верный ответ

Оценка «*не зачтено*» выставляется, если задача не решена или решена неправильно.

### Этап: проведение промежуточной аттестации по дисциплине

Для проведения промежуточной аттестации рабочим учебным планом предусмотрен зачет, к нему допускаются обучающиеся, успешно прошедшие все формы текущего контроля, предусмотренные рабочей программой дисциплины. Зачет оценивается по двухбалльной шкале: «*зачтено*», «*не зачтено*». Аттестационное испытание состоит из двух вопросов.

Критерии оценки ответа на вопросы аттестационного задания.

Проверяемые компетенции	Критерий оценивания	Оценка
ОК-6, ОК-7, ОПК-3, ПК-1	<ul style="list-style-type: none"><li>- ответ полностью раскрывает тему задания;</li><li>- материал изложен логически последовательно;</li><li>- убедительно доказана практическая значимость</li><li>- выполнены все задания текущего контроля</li></ul>	<i>зачтено</i>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- ответ не раскрывает тему задания;</li><li>- материал изложен логически не корректно;</li><li>- не владеет изученным материалом</li><li>- задания текущего контроля не выполнены</li></ul>	<i>не зачтено</i>