



МОДУЛЬ "ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА" Механика сплошных сред рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой Экспериментальной физики
Учебный план b030302-ЦифрТех-19-1.plx
03.03.02 ФИЗИКА
Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике
Квалификация Бакалавр
Форма обучения очная
Общая трудоемкость 4 ЗЕТ

Часов по учебному плану 144
в том числе:
аудиторные занятия 64
самостоятельная работа 53
часов на контроль 27

Виды контроля в семестрах:
экзамены 5

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
	Неделя 17,3			
Вид занятий	уп	рпд	уп	рпд
Лекции	32	32	32	32
Практические	32	32	32	32
Итого ауд.	64	64	64	64
Контактная работа	64	64	64	64
Сам. работа	53	53	53	53
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., профессор Ельников А.В.



Рабочая программа дисциплины

Механика сплошных 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. № 03/70

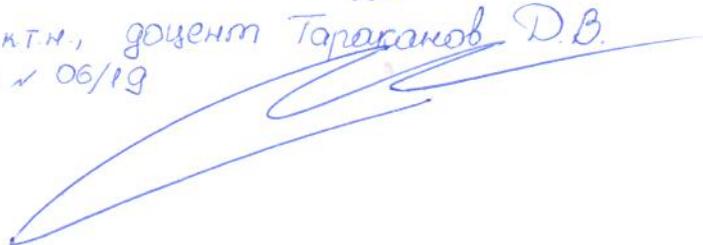
Срок действия программы: - уч.г.

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



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

07 06 2019 г. 06/19



1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	изучение студентами феноменологических закономерностей поведения твердых, жидких и газообразных веществ, моделей сплошных сред и методов их описания;
1.2	изучение основных понятий и методов решения задач механики сплошных сред

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.Б.08
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Дифференциальные уравнения
2.1.2	Математический анализ
2.1.3	Теоретическая механика
2.1.4	Модуль "Общая физика"
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Физика конденсированного состояния
2.2.2	Подземная гидродинамика
2.2.3	Физические основы разработки месторождений нефти

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	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	Методы коллективной работы в условиях профессиональных особенностей.
3.1.2	Алгоритмы, возможные варианты и пути решения профессиональных задач в нестандартных ситуациях.
3.1.3	Основные понятия и законы физики, основные методы анализа и эксперимента.
3.1.4	физические основы средств передачи информации
3.2	Уметь:
3.2.1	Работать в коллективе, решая единую профессиональную задачу;
3.2.2	Самостоятельно решать поставленные исследовательские проблемы;
3.2.3	Ставить цель и формулировать задачи по её достижению;
3.2.4	Анализировать, воспринимать и обобщать информацию о проблеме механики сплошных сред.
3.2.5	Обосновывать гипотезы, разрабатывать программу и методическое обеспечение исследования
3.3	Владеть:
3.3.1	Навыками решения стандартных задач профессиональной деятельности при работе в коллективе;
3.3.2	Методиками проведения библиографических исследований, самостоятельного проведения инструментальных измерений;
3.3.3	Методами и методиками решения задач механики сплошных сред;
3.3.4	способностью воспринимать, обобщать и анализировать информацию, полученную из разных источников;
3.3.5	навыками исследования физических зависимостей

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	Раздел 1. Введение. Модель сплошной среды. Кинематика сплошной среды						
1.1	Введение. Основные принципы работы в коллективе. Понятие толерантности. Способы самоорганизации и самообразования. Основные гипотезы МСС. Скорость и ускорение в материальных и пространственных координатах. Лагранжев и Эйлеров подход к описанию движения сплошной среды. Закон сохранения массы объема сплошной среды. Закон сохранения количества движения и закон сохранения момента количества движения объема сплошной среды. Закон сохранения энергии в	5	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1	0	Устный опрос
1.2	Задачи: 1) переход от лагранжевого описания к эйлеровому 2) движение частицы сплошной среды /Пр/	5	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1	0	Решение задач
1.3	Уравнение неразрывности в эйлеровых и лагранжевых	5	9	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.2Л2.1 Э1	0	Устный опрос
1.4	/Контр.раб./	5	0			0	
	Раздел 2. Уравнения Теории упругости						
2.1	Полная система уравнений линейной теории упругости. Некоторые основные теоремы теории упругости. Кручение призматических и цилиндрических стержней. Плоская задача теории упругости. Пространственные задачи теории упругости /Лек/	5	5	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1	0	Устный опрос
2.2	Задачи: на деформацию, кручение, сдвиг, прогиб /Пр/	5	7	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1	0	Решение задач
2.3	Связь тензора деформации и тензора напряжений /Ср/	5	16	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.2Л2.1 Э1	0	Устный опрос
	Раздел 3. Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды						
3.1	Идеальная жидкость. Линейно вязкая жидкость. Равновесие идеальной сжимаемой и несжимаемой жидкости в потенциальном поле массовых сил. Динамическое давление. Явление кавитации. Динамика идеальной сжимаемой жидкости. Условия на поверхности разрыва в такой жидкости. Термодинамика ньютоновой вязкой жидкости /Лек/	5	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1	0	Устный опрос
3.2	Решение задач /Пр/	5	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1	0	Решение задач

3.3	Конвективная производная отношения элементов объема в текущей и отсчетной конфигурации. Конвективная производная ориентиро-ванной площадки. Понятие об индифферентных объектах. Индифферентные векторы и тензоры. Объективная производная по Яуманну-Ноллу, по Олдройду и по Труделлу	5	11	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.2Л2.1 Э1	0	Устный опрос
Раздел 4. Идеальная жидкость							
4.1	Идеальная жидкость. Линейно вязкая жидкость. Равновесие идеальной сжимаемой и несжимаемой жидкости в потенциальном поле массовых сил. Динамическое давление. Явление кавитации. Динамика идеальной сжимаемой жидкости. Условия на поверхности разрыва в такой жидкости. Термодинамика ньютоновой вязкой жидкости /Лек/	5	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1	0	Устный опрос
4.2	Решение задач /Пр/	5	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.1	0	Решение задач
4.3	Адиабатическое и изотермическое течения. Диффузия вихрей. Переменная отсчетная конфигурация. Тензоры РивлинаЭриксона. Кинематический смысл объективной производной по Яуманну-Ноллу. Закон теплопроводности Фурье /Ср/	5	9	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.2Л2.1	0	Устный опрос
Раздел 5. Вязкая жидкость							
5.1	Термодинамика ньютоновой вязкой жидкости. Адиабатическое и изотермическое течения. Закон Архимеда. Равновесие жидкости относительно подвижной системы координат. Уравнения Эйлера в форме Громеки – Лэмба. Интеграл Бернулли. Формула Торричелли. Трубка Пито – Прандтля Диффузия вихрей. /Лек/	5	5	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1	0	Устный опрос
5.2	Решение задач /Пр/	5	5	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.1Л3.1	0	Решение задач
5.3	Вязкоупругие среды Кельвина – Фойхта. Двойственная формулировка. Вязкоупругие среды Максвелла /Ср/	5	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.2Л2.1	0	Устный опрос
Раздел 6. Механика сплошных сред							
6.1	/Экзамен/	5	27	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1Л3.1	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

1. Устный опрос.
2. Решение задач.
3. Экзамен.

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	Черняк В.Г., Суетин П.Е.	Механика сплошных сред	Москва: Физматлит, 2006, http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=47552	1
Л1.2	Учайкин В. В.	Механика. Основы механики сплошных сред	Москва: Лань", 2016, http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=87596	1
Л1.3	Папуша А. Н.	Механика сплошных сред: учебное пособие	Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011, http://www.iprbook	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, http://www.iprbookshop.ru/63248.html	1

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л3.1	Табарин В. А., Иконников В. П.	Физические основы электроники: (Лабораторный практикум)	Сургут: Издательство СурГУ, 2004	179

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.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
Приложение к рабочей программе по дисциплине

МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ 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 вопросы устного опроса по дисциплине «Механика сплошных сред»

Раздел 1. Модель сплошной среды. Кинематика сплошной среды

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

Раздел 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

Раздел 3. Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды

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

Раздел 4. Идеальная жидкость

1. Уравнения движения идеальной жидкости
2. Уравнение Бернулли
3. Линии тока и траектории. Трубка тока
4. Применение уравнения Бернулли
5. Распределение давления в трубе переменного сечения
6. Идеальная несжимаемая жидкость.
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

Раздел 5. Вязкая жидкость

1. Замкнутая система уравнений движения вязкой жидкости.
2. Вихревое движение вязкой жидкости
3. Диссипация кинетической энергии несжимаемой вязкой жидкости
4. Цилиндрическое течение Пуазейля.
5. Движение жидкости между двумя вращающимися цилиндрами

6. Медленное обтекание шара

Типовые задачи и их решения к текущему контролю:

Раздел 1. Модель сплошной среды. Кинематика сплошной среды.

<p>Задача 1.1</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 $p = 8$ кПа, радиус капилляра $a = 10^{-3}$ м, длина $L = 0,05$ м, объемы камер $V = 10^{-3}$ м³, время установления стационарного состояния $\tau = 60$ с. Ячейка заполнена аргоном при температуре $T = 293$ К. Газ считать идеальным, а молекулы аргона – твердыми сферами с эффективным диаметром $d = 3,42 \cdot 10^{-10}$ м. Молярная масса аргона $M = 0,0399$ кг/моль.</p>
<p>Решение задачи 1.1.</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 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ 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 $l^3 \approx 10^{-18}$ м³, $a^3 = 10^{-9}$ м³, то всегда можно выбрать такой элемент объема ΔV, 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 \bar{v} – средняя скорость теплового движения молекул, $R = 8,31$ Дж/(К · моль) – молярная газовая постоянная.</p>
	<p>Характерное макроскопическое время по условию задачи равно $\tau_p = 60$ с. Следовательно, можно выбрать такой физически бесконечно малый промежуток времени Δt, 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>Задача 1.2</p>	<p>Движение жидкости задано способом Лагранжа (x, y, z – декартовы координаты, a, b, c – переменные Лагранжа, t – время).</p> $x = a \cdot \cos(\omega t + b); y = a \cdot \sin(\omega t + b); z = c + \omega t.$ <p>Описать движение в переменных Эйлера.</p>

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

Задача 1.3	Движение жидкости задано способом Эйлера: $V_x = -\alpha t x; V_y = \alpha t y; V_z = 0.$ Описать движение в переменных Лагранжа
Решение задачи 1.3	$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -\alpha t x \\ \frac{dy}{dt} = \alpha t y \\ \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{dx}{x} = -\alpha t dt \\ \frac{dy}{y} = \alpha t dt \\ z = C_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \ln(x) = -\alpha t^2/2 + \tilde{C}_1 \\ \ln(y) = \alpha t^2/2 + \tilde{C}_2 \\ z = C_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = C_1 \cdot \exp(-\alpha t^2/2) \\ y = C_2 \cdot \exp(\alpha t^2/2) \\ z = C_3 \end{cases}$ $(x, y, z)_{t=0} = (a, b, c) \Rightarrow \begin{cases} a = C_1 \\ b = C_2 \\ c = C_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = a \cdot \exp(-\alpha t^2/2) \\ y = b \cdot \exp(\alpha t^2/2) \\ z = c \end{cases}$

Раздел 2. Уравнения теории упругости.

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

	<p>Так как смещение любой точки бруска происходит только вдоль оси z (смещением вдоль оси x 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 φ 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> $\mu = 2 \frac{F d}{S \delta}. \quad (4.113)$
--	---

Раздел 3. Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды

Задача 3.1	<p>Определить форму свободной поверхности и распределение давления в объеме V несжимаемой жидкости, тяготеющей к неподвижному центру с силой, пропорциональной удалению от центра. Оценить давление в центре Земли, считая ее несжимаемой жидкостью ($R=6,4 \cdot 10^6$ м., $\rho=5,5 \cdot 10^3$ кг/м³).</p>
Решение задачи 3.1.	<p>перейдем в сферическую систему координат:</p> $\vec{F} = -a\vec{r}, \rho\vec{F} = \operatorname{grad}(p) \Rightarrow \begin{cases} \partial p / \partial r = -\rho a r \\ \partial p / \partial \varphi = 0 \\ \partial p / \partial \theta = 0 \end{cases} \Rightarrow p = -\rho a r^2 / 2 + C$ <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 $1,725 \cdot 10^6$ атмосфер.</p>
Задача 3.2	<p>Определить форму свободной поверхности жидкости, совершающей квазитвердое вращение вместе с сосудом с угловой скоростью ω</p>

Решение задачи 3.2.	<p>Решение: 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 $\partial p / \partial z = -\rho g$, $\partial p / \partial r = \rho \omega^2 r$, $\partial p / \partial \varphi = 0$. Следовательно $p = \rho \omega^2 r^2 / 2 - \rho g z + p_0$. 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 z_0 определяется из дополнительных условий.</p>
----------------------------	---

Раздел 4. Идеальная жидкость

Задача 4.1	<p>Найти уравнения линий тока и траекторий для течения жидкости, декартовы компоненты скорости которых заданы формулой:</p> $v_x = -ay, \quad v_y = ax, \quad v_z = 0.$
Решение задачи 4.1.	<p>Решение. 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 C – 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 A.</p>

Задача 4.2	<p>Тяжелая жидкость находится в равновесии в вагонетке, которая скатывается без скольжения по наклонной плоскости с углом α. Какова форма свободной поверхности жидкости и распределение давления в</p>
-------------------	---

	соответствии с глубиной жидкости? Внешнее давление p_0 .
Решение задачи 4.2.	<p>В системе координат, связанной с поверхностью движущейся равноускоренно вагонеткой, ускорение движения вагонетки равно $g \sin \alpha$, 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 $g \sin \alpha$ соответствует инерционной составляющей проекции силы на ось x (система координат движется равноускоренно). Давление изменяется только по оси y:</p> $p = -\rho g y \cos \alpha + C,$ <p>где константа интегрирования определяется из граничного условия на свободной поверхности: $p = p_0$ при $y = H$, где H 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> $y = H.$

Раздел 5. Вязкая жидкость

Задача 5.1	Тонкий горизонтальный диск радиуса $R = 10$ см расположен в цилиндрической полости с маслом, вязкость которого $\eta = 0,08$ мПа·с. Зазоры между диском и горизонтальными торцами полости одинаковы и равны $h = 1,0$ мм. Найти мощность, которую развивают силы вязкости, действующие на диск, при вращении его с угловой скоростью $\omega = 60$ рад/с. Краевыми эффектами пренебречь.
Решение задачи 5.1.	<p>Решение. Пусть $f = \eta \frac{v}{h}$ – сила трения, действующая на единицу площади диска, где $v = \omega r$ – 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 $ds = 2\pi r dr$.</p>
Задача 5.2	Тонкий слой жидкости толщиной h стекает по поверхности вертикального цилиндра радиуса a . Найти скорость v_z и объемный расход жидкости Q .
Решение задачи 5.2.	<p>Решение. 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 $v_z = v_z(r)$:</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> $v_z = \frac{\rho g}{4\mu} \left\{ r^2 - a^2 - 2(a+h)^2 \ln(r/a) \right\}, \quad Q = 2\pi \int_a^{a+h} r v_z dr.$
--	--

Типовые вопросы к экзамену по дисциплине «Механика сплошных сред»

Раздел 1. Модель сплошной среды. Кинематика сплошной среды

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

Раздел 2. Уравнения теории упругости.

1. Тензор напряжений
2. Силы массовые, объемные и поверхностные
3. Тензор напряжений.
4. Результирующая поверхностная сила, действующая на единицу объема тела
5. Термодинамика деформирования. Работа внутренних сил.
6. Закон Гука
7. Однородная деформация Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Диаграмма растяжения (36).

Раздел 3. Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды

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

Раздел 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 (99).
12. Потенциальное движение. Потенциал скорости
13. Идеальная несжимаемая жидкость.

Раздел 5. Вязкая жидкость

1. Замкнутая система уравнений движения вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса
2. Вихревое движение вязкой жидкости (131).
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

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. Теоретические знания оцениваются в ходе устного опроса по темам курса. Выполнение практических заданий дает возможность оценить знания, умения и навыки по измеряемой компетенции ОК-3. Сформированность компетенций ОК-6, ОК-7 проверяется в ходе выполнения контрольных работ, причем для формирования 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».

Критерии оценивания при устном опросе по теоретическому материалу:

Проверяемые компетенции	Критерий оценивания	Оценка
ОК-7, ПК-1	Ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются глубокие знания по предмету.	<i>зачтено</i>
	Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний.	<i>не зачтено</i>

Критерии оценивания практических заданий

Проверяемые компетенции	Критерий оценивания	Оценка
ОК-6, ОК-7, ОПК-3, ПК-1	- составлен правильный алгоритм решения задачи; - в выборе формулы, логическом рассуждении и решении нет ошибок; - получен верный ответ: - позволяет понять идею предлагаемого решения; - отражает владение обучающегося методами решения задач механики жидкости и газа.	<i>зачтено</i>
	задача не решена или решена неправильно	<i>не зачтено</i>

Этап: проведение промежуточной аттестации по дисциплине

Для проведения промежуточной аттестации рабочим учебным планом предусмотрен экзамен, к нему допускаются обучающиеся, успешно сдавшие все формы текущего контроля, предусмотренные рабочей программой дисциплины. Экзамен оценивается по четырех балльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Аттестационное испытание состоит из двух вопросов. Итоговая оценка, получаемая студентом по итогам освоения дисциплины, учитывает не только уровень ответа студента на экзамене, но и баллы, заработанные им в течение семестра.

Критерии оценки ответа на поставленные вопросы.

Проверяемые компетенции	Критерий оценивания	Оценка
ОК-6, ОК-7, ОПК-3	– ответ полностью раскрывает тему задания; - материал изложен логически последовательно; - убедительно доказана практическая значимость - в совершенстве владеет изученным материалом - выполнены все задания текущего контроля	Отлично
	– ответ в целом раскрывает тему задания; - материал изложен последовательно; - доказана практическая значимость - владеет изученным материалом - выполнены все задания текущего контроля	Хорошо

	<ul style="list-style-type: none"> – ответ раскрывает тему задания; - материал изложен непоследовательно; - не в совершенстве владеет изученным материалом - выполнены все задания текущего контроля 	Удовлетворительно
	<ul style="list-style-type: none"> – ответ не раскрывает тему задания; - материал изложен логически не корректно; - не владеет изученным материалом - задания текущего контроля не выполнены 	Неудовлетворительно