

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УМР

Е.В. Коновалова

20 июня 2019 г., протокол УС №6

## Механика жидкости и газа

### 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>3 ЗЕТ</b>	
Часов по учебному плану	108	Виды контроля в семестрах: экзамены 7
в том числе:		
аудиторные занятия	32	
самостоятельная работа	49	
часов на контроль	27	

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	уп	рпд		
Неделя	17,3			
Вид занятий	уп	рпд	уп	рпд
Лекции	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Итого ауд.	32	32	32	32
Контактная работа	32	32	32	32
Сам. работа	49	49	49	49
Часы на контроль	27	27	27	27
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>108</b>

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., профессор Ельников А.В.



Рабочая программа дисциплины

**Механика жидкости и газа**

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 07 2019 г. ✓ 06/19



<b>1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	
1.1	Изучение студентами феноменологических закономерностей поведения жидких и газообразных веществ, моделей сплошных сред и методов описания их движения.

<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП</b>	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.ДВ.09
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Дифференциальные уравнения
2.1.2	Теоретическая механика
2.1.3	Математический анализ
2.1.4	Молекулярная физика
2.1.5	Механика
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Физика конденсированного состояния
2.2.2	Подземная гидродинамика

<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>	
<b>ОК-6:</b> способностью работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	
<b>ОК-7:</b> способностью к самоорганизации и самообразованию	
<b>ОПК-3:</b> способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	
<b>ПК-1:</b> 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	Правила коллективной работы в условиях конфессиональных и культурных различий;
3.1.2	Принципы самоорганизации систем и основы предмета исследований;
3.1.3	фундаментальные законы и разделы общего курса физики и механики жидкости и газа;
3.1.4	современные теоретические и экспериментальные методы исследования
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	Работать в коллективе, решая единую профессиональную задачу;
3.2.2	самостоятельно решать поставленные исследовательские проблемы;
3.2.3	Ставить задачи и решать проблемы механики жидкости и газа
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	Навыками решения стандартных задач профессиональной деятельности при работе в творческом коллективе;
3.3.2	Методиками проведения библиографических исследований, самостоятельного проведения инструментальных измерений;
3.3.3	Методами и методиками проведения решения задач механики жидкости и газа

**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.Модель сплошной среды Кинематика сплошной среды.</b>						
1.1	Введение. Понятие толерантности, основные принципы и правила работы в многонациональном коллективе. Краткая история развития гидравлики. Физические свойства капельных и газообразных жидкостей. Идеальная жидкость Основы гидравлики. Гидростатика Гидростатическое давление и его свойства. Уравнения гидростатики Эйлера. Абсолютное и относительное равновесие жидкостей. Закон Паскаля /Лек/	7	2	ОК-6 ПК-1	Л1.3Л2.1 Э1	0	Устный опрос
1.2	Эпюры гидростатического давления. Сила давления на плоскую поверхность. Центр давления. /Пр/	7	2	ОК-6 ОПК-3 ПК-1	Л1.1Л3.1 Л3.2	0	Решение задач
1.3	Два способа решения задач. Сила давления на криволинейную поверхность /Ср/	7	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2 Э1	0	
	<b>Раздел 2. 2.Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды</b>						
2.1	Уравнение неразрывности движения жидкости. Уравнение Д.Бернулли для элементарной струйки невязкой жидкости и его интерпретация. ). /Лек/	7	4	ОК-6 ПК-1	Л1.1 Э1	0	Устный опрос
2.2	Уравнение Д.Бернулли для целого потока реальной жидкости при установившемся движении. Условия и общая схема применения уравнения Бернулли /Пр/	7	3	ОК-6 ОПК-3 ПК-1	Л3.1 Л3.2	0	Решение задач
2.3	Уравнение количества движения (импульсов). * Два метода исследования жидкости (Лагранжа и Эйлера). /Ср/	7	9	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2 Э1	0	Подготовка к контрольной работе
	<b>Раздел 3. 3.Идеальная жидкость</b>						
3.1	Уравнение Д.Бернулли для элементарной струйки вязкой жидкости при установившемся движении, учет неравномерности распределения скоростей по живому сечению при определении кинетической энергии (коэффициент Кориолиса /Лек/	7	4	ОК-6 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1 Э1	0	Устный опрос
3.2	Уравнение Бернулли-Эйлера и Навье-Стокса. Уравнение Бернулли для газов /Пр/	7	4	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л3.1 Л3.2	0	Решение задач
3.3	Уравнение Бернулли-Эйлера и Навье-Стокса. Уравнение Бернулли для газов /Ср/	7	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.1 Э1	0	
3.4	/Контр.раб./	7	0			0	
	<b>Раздел 4. 4.Вязкая жидкость</b>						
4.1	Режимы движения жидкостей. Критическая скорость. Число Рейнольдса и критическое число Рейнольдса Потери напора при установившемся движении жидкости. Распределение скоростей при ламинарном движении. Формула Пуазейля /Лек/	7	3	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1 Э1	0	Устный опрос

4.2	Расчетная модель турбулентного потока. Распределение усредненных скоростей. Потери напора по длине. Исследования Никурадзе /Пр/	7	4	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.1Л3.2	0	Решение задач
4.3	Фильтрация. Основной закон фильтрации. Формула Дюпюи. Формы кривых депрессии. Отрыв потока. Местные потери напора (Реферат) /Ср/	7	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2Л3.1 Э1	0	
<b>Раздел 5. 5. Турбулентность Пограничный слой</b>							
5.1	Расчет коротких и длинных трубопроводов. Расчет простого длинного трубопровода. Расчет трубопровода при последовательном соединении труб. Расчет трубопровода с непрерывным изменением расход по длине. Основы расчета сложного незамкнутого и замкнутого трубопровода. Расчет трубопроводов для газа /Лек/	7	3	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.3Л2.1 Э1	0	Устный опрос
5.2	Основы компьютерного моделирования и применение современных компьютерных комплексов для инженерного анализа (САЕ –анализа)	7	3	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.1Л3.1 Л3.2	0	Решение задач
5.3	Основные понятия методов конечных разностей и конечных элементов. Принципы построения расчетных сеток. Современные математические модели турбулентности /Ср/	7	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1	Л1.2 Э1	0	Подготовка к контрольной работе
<b>Раздел 6. 6. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА</b>							
6.1	/Экзамен/	7	27	ОК-6 ОК-7 ОПК-3 ПК-1		0	

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

#### 5.1. Контрольные вопросы и задания

Приложение № 1

#### 5.2. Темы письменных работ

Приложение № 1

#### 5.3. Фонд оценочных средств

Приложение № 1

#### 5.4. Перечень видов оценочных средств

Устный опрос. Решение задач. 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	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 Б. С.	Сигнализация в сетях связи. Т. 1	М.: Радио и связь, 2001	5

#### 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
Л3.2	Гуртовская Р. Н., Панина Т. А., Ненахова Н. А., Заводовский А. Г.	Лабораторный практикум по квантовой физике: учебно-методическое пособие	Сургут: Издательский центр СурГУ, 2016	65

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

Э1	Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ России)			
<b>6.3.1 Перечень программного обеспечения</b>				
6.3.1.1	Пакет прикладных программ Microsoft Office			
6.3.1.2	Операционная система Windows			
<b>6.3.2 Перечень информационных справочных систем</b>				
6.3.2.1	<a href="http://www.garant.ru/">http://www.garant.ru/</a> Информационно-правовой портал Гарант.ру			
6.3.2.2	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a> Справочно-правовая система Консультант Плюс			

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

7.1	Помещение для проведения лекционных и практических занятий (ауд. 314 блока «А») оснащено компьютерной техникой и проектором для демонстрации видеоматериалов.			
-----	---	--	--	--

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

--	--	--	--	--

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

**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

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 жидкости и газа»**

**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. 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 3. 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 4. 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:**

**Тема 1. Модель сплошной среды. Кинематика сплошной среды**



<b>Задача 1.1</b>	<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>	
<b>Решение задачи 1.1.</b>	<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> $\tau_m \ll \Delta t \ll \tau_p \quad (1.3)$	
<b>Задача 1.2</b>	<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> $x = a \cdot \cos(\alpha t + b); y = a \cdot \sin(\alpha t + b); z = c + \omega t.$ <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>	<p>Движение жидкости задано способом Эйлера: Описать движение в переменных</p>	$V_x = -\alpha t x; V_y = \alpha t y; V_z = 0$

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

## Тема 2. Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды

<b>Задача 2.1</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 2.1.</b>	<p>перейдем в сферическую систему координат:</p> $\vec{F} = -a\vec{r}, \rho\vec{F} = \text{grad}(p) \Rightarrow \begin{cases} \partial p / \partial r = -\rho ar \\ \partial p / \partial \varphi = 0 \\ \partial p / \partial \theta = 0 \end{cases} \Rightarrow p = -\rho ar^2/2 + C$ <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> $\begin{cases} F _{r=R} = g \\ p _{r=R} = p_A = 10^5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = g/R \\ C = p_A + 0,5\rho aR^2 \end{cases} \Rightarrow$ $\Rightarrow P_C = C = 10^5 + 0,5 \cdot 5,5 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \approx 1,725 \cdot 10^{11}$ <p>Таким образом, давление в центре Земли равно <math>1,725 \cdot 10^6</math> атмосфер.</p>

<b>Задача 2.2</b>	<p>Определить форму свободной поверхности жидкости, совершающей квазитвердое вращение вместе с сосудом с угловой скоростью <math>\omega</math></p>
<b>Решение задачи 2.2.</b>	<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 \varphi = 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 3. Идеальная жидкость

<b>Задача 3.1</b>	<p>Найти уравнения линий тока и траекторий для течения жидкости, декартовы компоненты скорости которых заданы формулой:  <math>v_x = -ay</math>, <math>v_y = ax</math>, <math>v_z = 0</math>.</p>
<b>Решение задачи 3.1.</b>	<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> $axdx = -aydy \quad (2)$ <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> $\frac{d^2x}{dt^2} = -a^2x; \quad y = -\frac{dx}{dt} \quad (6)$ <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>
<b>Задача 3.2</b>	<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 3.2.</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 4. Вязкая жидкость

<p><b>Задача 4.1</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 4.1.</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 4.2</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 4.2.</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 5. Турбулентность Пограничный слой

<b>Задача 5.1</b>	<p>Свинцовый шарик, плотностью <math>\rho</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 5.1.</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> $Re = \nu d \rho_0 / \mu = d^3 (\rho - \rho_0) \rho_0 g / 18\mu^2.$ <p>Таким образом, <math>d = \sqrt[3]{\frac{18 Re \mu^2}{\rho_0 g (\rho - \rho_0)}}</math>.</p>

<b>Задача 5.2</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</p>
-------------------	---

	касательное напряжение $\sigma_{xy}$ .
<b>Решение задачи 5.2.</b>	<p><b>Решение.</b> Из условия задачи следует, что</p> $\frac{\partial \langle v_x \rangle}{\partial t} = 0, \quad \langle v_y \rangle = 0.$ <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 экзамену по дисциплине «Механика жидкости и газа»

### Тема 1. Модель жидкости и газа. Кинематика жидкости и газа

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. Фундаментальная система уравнений движения жидкости и газа

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 3. 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.

### **Тема 4. 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

### **Тема 5. 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. Знание теории оценивается в ходе устного опроса по темам курса. Выполнение практических заданий (решение задач) дает возможность оценить знания, умения и навыки по измеряемой компетенции ОК-6 (для формирования компетенции ОК-6 часть задач предлагается для группового решения в группах из 2-3 человек), ОК-7, ОПК-3, ПК-1 и 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 четырехбалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Аттестационное испытание состоит из двух вопросов. Результирующая оценка выставляется как среднее арифметическое из оценок, полученных за ответы на оба вопроса.

#### Критерии оценивания экзамена

Вид задания	Проверяемые компетенции	Критерий оценивания	Оценка
Теоретический вопрос	ОК-6, ОК-7, ОПК-3, ПК-1	Студент показывает, что он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение.	<i>Отлично</i>
		Студент показывает, что он глубоко и прочно	<i>Хорошо</i>



		усвоил материал: последовательно, четко и логически стройно его излагает; причем может затрудняться с ответом при видоизменении заданий; правильно обосновывает принятое нестандартное решение, но есть небольшие недочеты при использовании законов, формул, в целом не влияющих на ход ответа;	
		Студент показывает, что он усвоил материал: последовательно его излагает, но затрудняется с ответом при видоизменении заданий; есть существенные недостатки при выводе аналитических выражений	<b><i>Удовлетворительно</i></b>
		Студент показывает, что он не усвоил материал: плохо его излагает; затрудняется с ответом при видоизменении заданий	<b><i>Неудовлетворительно</i></b>