

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Институт Физико-технологический  
Кафедра Технической физики


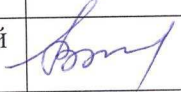


**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА**


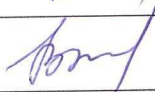
Код ОП	Направление/ Специальность	Направленность (профиль) програм- мы магистратуры/ специализации	Номер учебного плана	Код дисцип- лины по учебному плану
14.05.01/02.01	Ядерные реакторы и материалы	Ядерные реакторы и материалы	5242	Б1.37

Екатеринбург, 2018

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Иванов А.Г.	к. ф.-м. н.	доцент	Технической физики	
2	Токманцев В.И.	д.т.н	Зав. кафедрой	Технической физики	

Рабочая программа одобрена на заседании кафедр (учебно-методических советов):

№	Наименование кафедры (УМС)	Дата заседания	Номер протокола	ФИО зав. кафедрой (предс. УМС)	Подпись
1	Технической физи- ки	26.04.2018	5	Токманцев В.И.	
2	Технической физи- ки	26.04.2018	5	Токманцев В.И.	

Согласовано:

Начальник отдела проектирования образовательных  
программ и организации учебного процесса

  
Р.Х Токарева

Председатель учебно-методического совета  
Физико-технологического института  
11.04.2018, протокол № 9

  
В.В Зверев



# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

Код направления/ специальности	Название направления/ специальности	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
14.05.01	Ядерные реакторы и материалы	03.09.2015	956

## 1.1. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование компетенций:

### **ОБЩЕКУЛЬТУРНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ (ОК) в соответствии с ФГОС ВО:**

способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);  
способность использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-2).

### **общепрофессиональные компетенции (ОПК) в соответствии с ФГОС ВО:**

способность решать задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-1).

### **профессиональные компетенции (ПК):**

#### **научно-исследовательская деятельность:**

готовность к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и методик оценки количественных характеристик ядерных материалов (ПК-2);

способность использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения (ПК-3);

способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области (ПК-4);

способность оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах (ПК-5);

способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования (ПК-6).

#### **проектная деятельность:**

способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок (ПК-9).

**производственно-технологическая деятельность:**

готовность разрабатывать способы применения ядерных установок, нейтронных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических и технологических проблем (ПК-26).

**дополнительные компетенции, согласованные с работодателями (ДОК, ДОПК, ДПК, ДППК):**

понимание физико-химических основ технологических процессов (ДПК1).

**1.2. Содержание результатов обучения**

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать** область применения сплошнородного описания, физические законы, определяющие движение сплошной среды, основные физико-математические модели и методы описания гидро- и газодинамических течений, основные физические результаты и факты, а также способы решения типовых задач.

**Уметь** определять возможность применения гидродинамического описания, физически интерпретировать математический аппарат гидрогазодинамики и практически применять решения типовые задач

**Владеть** терминологией и понятийной базой, а также навыками проведения физических экспериментов по измерению параметров гидродинамических течений и математическим аппаратом гидрогазодинамики.

**1.3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

1. Пререквизиты	нет
2. Кореквизиты*	-
3. Постреквизиты*	Физика жидкости; Теплофизика; Компьютерный инженерный анализ (САЕ); Физическая теория реакторов; Инженерные расчеты и проектирование ядерных установок; Теория теплопереноса.

**1.4. Объем (трудоемкость) дисциплины**

№ п/п	Виды учебной работы, формы контроля	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего, час.	В т.ч. контактная работа (час.)*	
				6
1.	Аудиторные занятия, час.	119	119	119
2.	Лекции, час.	68	68	68
3.	Практические занятия, час.	17	17	17
4.	Лабораторные работы, час.	34	34	34
5.	Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации, час.	43	17,85	43
6.	Вид промежуточной аттестации	18	2,33	Экзамен, 18

7.	Общая трудоемкость по учебному плану, час.	180	139,18	180
8.	Общая трудоемкость по учебному плану, з.е.	5	-	5

### 1.5. Краткое описание (аннотация) дисциплины

Содержание дисциплины направлено на изучение феноменологических свойств переноса массы, импульса и энергии в различных агрегатных состояниях сплошных сред как основы для использования при изучении ряда профилирующих дисциплин специальности. Рассматриваются основные законы сохранения, подробно излагаются наиболее часто используемые методы их решения для описания движения несжимаемых и сжимаемых жидкостей и газов с до- и сверхзвуковыми скоростями.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
Р1	Введение, Основные положения МСС	Предмет механики сплошных сред (МСС). О моделях механического движения. Последовательность модельных представлений в механике. Аналитическая механика точки в твердом теле. МСС - дальнейшее обобщение механики точки и твердого тела. Понятие сплошной среды. МСС и кинетическая теория. Бесконечно малые в МСС. Пределы применимости МСС. Элемент объема, характерный размер задачи. Бесконечно малый промежуток времени в МСС. Характерное время задачи.
Р2	Теория упругости	Тензор относительной деформации. Тензор деформации и тензор поворота. Тензор деформации, физический смысл его компонент. Полная деформация элемента объёма. Силы массовые, объемные и поверхностные. Тензор напряжений. Сила давления. Работа внутренних Сохранение циркуляции скорости.сил. Изменение внутренней энергии среды при деформациях. Изменение свободной энергии среды при деформациях. Свободная энергия деформируемого тела. Коэффициенты Ламэ. Тензор сдвига. Тензор всестороннего сжатия. Закон Гука. Изменение объёма тела при деформации. Изменение свободной энергии деформируемой среды. Однородная деформация (растяжение стержня). Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Свободная энергия неизотермического деформирования. Уравнения равновесия изотропных тел. Тензор скоростей деформации. Тензор скорости поворота. Уравнение непрерывности, движения сплошной среды и сохранения момента количества движения. Доказательство симметричности тензора напряжений. Тензор плотности потока импульса. Физический смысл его компонент. Уравнение сохранения внутренней энергии. Вектор плотности потока полной энергии (вектор Умова-Пойтинга). Фундаментальная замкнутая система уравнений движения сплошной среды. Начальные и краевые условия. Существование и единственность решений. Модели сплошных сред: твердое тело, жидкость, газ. Время релаксации напряжений. Полный тензор напряжений для ньютоновских жидкостей и газов. Уравнение распространения малых упругих возмущений. Продольные и поперечные волны, их скорость распространения.
Р3	Идеальная жидкость	Замкнутая система уравнений для идеальной жидкости. Уравнение Эйлера. Уравнение сохранения внутренней энергии. Изоэнтропическое движение. Уравнение Эйлера в форме Громека. Уравнение Бернулли. Уравнение стационарного, потенциального, изоэнтропического движения идеальной жидкости в поле силы тяжести. Уравнение Бернулли для сжимаемой и несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для линии тока и для нестационарного движения.. Скорость истечения идеальной несжимаемой жидкости из сосуда. Распределение давления в трубе переменного сечения. Влияние сжимаемости среды. Критерий для учета сжимаемости. Вихревое движение. Теорема Томсона. Теорема Гельмгольца для интенсивности вихревой трубки. Прямолинейная одиночная вихревая нить. Вихревое движение по замкнутым траекториям. При-

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
		меры вихревых движений Вихревые кольца. Вихревое движение в природе. Уравнение для потенциала скорости при потенциальном движении идеальной несжимаемой жидкости (уравнение Лапласа). Граничные условия. Плоское движение несжимаемой жидкости. Функция тока. Свойства функции тока. Ортогональность линий тока и эквипотенциальных линий Методы решений уравнений движения идеальной жидкости. Метод конформных отображений. Распределение скорости и давления вблизи цилиндра. Парадокс Даламбера. Обтекание цилиндра с циркуляцией. Эффект Магнуса. Теорема и правило Жуковского. Графоаналитический метод. Суперпозиция прямолинейного поступательного потока и плоского источника. Нестационарное движение бесконечного цилиндра в идеальной несжимаемой жидкости. Распределение скорости и давления вблизи цилиндра. Присоединённая масса.
P4	Вязкая жидкость	Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости. Уравнение движения вихря. Изменение скорости углового вращения вихря в пространстве и во времени. Диссипация кинетической энергии в несжимаемой вязкой жидкости. Задача Куэтта. Плоское и цилиндрическое течение Пуазейля. Распределение скорости потока и её среднее значение. Объёмный и массовый расход. Истечение жидкости из сосуда через капилляр с известными геометрическими параметрами. Вискозиметр Энглера. Метод квазистационарного потока. Движение жидкости между двумя вращающимися цилиндрами. Обтекание шара медленным потоком вязкой жидкости (задача Стокса). Распределение скорости и давления около обтекаемого шара и на его поверхности. Уточнение Осеена
P5	Теория подобия	Подобие в гидродинамике. Безразмерная форма уравнения Навье-Стокса. Критерии подобия. Газодинамическое подобие потоков. Геометрическое подобие обтекаемых тел. Сила сопротивления. Коэффициенты сопротивления. Аналитические коэффициенты сопротивления. Коэффициенты гидравлического сопротивления участка цилиндрической трубы, шара и диска при медленном обтекании жидкости. Анализ размерностей физических величин. Определяющие параметры.
P6	Турбулентность	Устойчивость стационарного движения жидкости. Условие устойчивости. Устойчивость движения жидкости между двумя коаксиальными цилиндрами Ламинарное и турбулентное движение. Факторы, влияющие на критическое число Рейнольдса. Осреднение уравнения Навье-Стокса. Уравнения Рейнольдса. Тензор турбулентных напряжений: Коэффициент турбулентной вязкости. Теория турбулентности Прандтля. Турбулентное движение жидкости в трубах с гладкими стенками. Гидравлическое сопротивление труб с шероховатыми стенками. Эмпирические формулы Никурадзе. Физическая интерпретация наблюдаемых зависимостей. Развитая турбулентность. Мелко- и крупномасштабные пульсации. Закон Колмогорова-Обухова. Оценка размера мелкого масштаба.
P7	Пограничный слой	Уравнения Прандтля для пограничного слоя. Обтекание полубесконечной плоской пластинки с пограничным слоем. Сила трения. Толщина пограничного слоя. Толщина вытеснения. Интегральное уравнение Кармана. Отрыв пограничного слоя. Способы управле-

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
		<p>ния пограничным слоем. Турбулентный пограничный слой и кризис сопротивления. Изменение характера обтекания шара при увеличении числа Рейнольдса. Кризис сопротивления шара.</p>
Р8	Газовая динамика	<p>Параметры газа в заторможенном потоке. Зависимость давления, плотности и температуры от числа Маха в точке полного торможения потока. Температура торможения. Стационарный одномерный поток сжимаемого газа. Максимальная, местная и критическая скорости. Изменение плотности потока в сужающейся и расширяющейся трубке тока при до- и сверхзвуковом движении. Сопло Лавала. Истечение газа из резервуара через сужающийся насадок. Формула Сен-Венана-Вентцеля. Предельные значения скоростей. Звуковая диафрагма. Распространение волн возмущения при до- и сверхзвуковом движении газа. Законы сохранения на поверхности разрыва. Уравнения, описывающие прямую ударную волну. Ударная адиабата (адиабата Гюгонь'о). Ударные волны слабой интенсивности. Косая ударная волна. Уравнение ударной поляры и её графическое изображение (строфоида). Определение угла поворота потока и угла косой ударной волны. Обтекание клина сверхзвуковым потоком. Отсоединённая ударная волна. Волна разрежения. Уравнения движения. Направление изменения термодинамических параметров и скоростей. Движение газа в волне разрежения при различных противодавлениях. Взаимодействие ударных с твёрдыми поверхностями и между собой, с поверхностью тангенциального разрыва скорости. Отрыв пограничного слоя за скачком уплотнения. Сопло Лавала в нерасчётном режиме. Обтекание неограниченно широкой пластинки сверхзвуковым потоком идеального газа под некоторым углом атаки.</p>
Р9	Магнитная гидродинамика	<p>Особенности движения проводящей жидкости в магнитном поле. Уравнения Максвелла. Уравнение движения проводящей жидкости в магнитном поле. Уравнение Навье-Стокса в магнитной гидродинамике. Уравнение непрерывности. Уравнение сохранения внутренней энергии. Система уравнений для несжимаемой жидкости. Вектор Умова. Принцип «вмороженности» магнитных силовых линий. Задача Гартмана. Установившееся движение проводящей жидкости между двумя параллельными плоскостями в поперечном магнитном поле. Профиль скорости. Магнитогидродинамические машины. Электромагнитные насосы. Индукционный насос. Электромагнитные насосы прямого действия. Магнитогидродинамический генератор.. Идентичность уравнений электродинамики для напряженности магнитного поля и гидродинамики для вихря, критерий их тождественности. Уравнение Бернулли в магнитной гидродинамике. Ударные волны в магнитной гидродинамике. Уравнение ударной адиабаты в магнитной гидродинамике. Влияние волн на сжатие и нагрев газа.</p>



### **3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ**

#### **3.1. Распределение для изучаемой дисциплины аудиторной нагрузки и контрольных мероприятий по разделам для очной формы обучения**

Объем дисциплины (зач.ед.): 5

семестр обучения: 6		Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий													Подготовка к аттестационным мероприятиям по дисциплине (час.)										
Код раздела, темы	Раздел дисциплины	Аудиторные занятия (час.)				Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)								Подготовка к контрольным мероприятиям (колич.)			Подготовка к аттестационным мероприятиям по дисциплине (час.)			
		Всего аудиторной работы (час.)	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Лекция	Практ., семинар, занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум	Всего (час)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Инд. или групповой проект*	Перевод инояз. литературы*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего	Контрольная работа*	Коллоквиум*	Зачет при наличии экзамена	Зачет при отсутствии экзамена	Экзамен
P1	Основные положения МСС	9	6	2	2	3	1	1	1																
P2	Теория упругости	23	16	14	2	0	7	4	2	2	0									3		1			
P3	Идеальная жидкость	27	19	12	3	4	8	6	1	2	3									2	1				
P4	Вязкая жидкость	30	22	6	4	12	8	6	1	2	3									2	1				
P5	Теория подобия	13	10	4	2	4	3	3	1	1	1														
P6	Турбулентность	17	12	6	0	6	5	5	2	0	3														
P7	Пограничный слой	9	6	4	2	0	3	3	2	1	0														
P8	Газовая динамика	24	20	12	2	6	4	4	1	1	2														
P9	Магнитная гидродинамика	10	8	8	0	0	2	2	2	0	0														
	Всего (час), без учета подготовки к аттестационным мероприятиям:	162	119	68	17	34	43	36	13	10	13	0	0	0	0	0	0	0	7	4	3	0	0	18	
	Всего по дисциплине (час.):	180			119		61																		

В том числе промежуточная аттестация:

\*Суммарный объем в часах на мероприятие указывается в строке «Всего (час.) без учета подготовки к аттестационным мероприятиям»

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Лабораторный практикум

Код раздела, темы	Номер работы	Наименование работы	Время на выполнение работы (час.)
P4-P6	1	Измерение коэффициента сопротивления при течении воздуха в цилиндрической трубке	6
P1, P4	2	Бароэффект при взаимной диффузии газов	6
P8	3	Звуковая диафрагма	4
P4	4	Определение коэффициента вязкости газов методом нестационарного потока	6
P3, P4	5	Измерение расхода газа и скорости газа	6
P4, P5	6	Сопротивление обтекаемых тел	6

**Всего:** 34

##### 4.2. Практические занятия

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
P1	1	Понятие сплошной среды	2
P2	2	Теория упругости.	2
P3	3	Идеальная жидкость	3
P4	4	Вязкая жидкость	4
P5	5	Теория подобия	2
P7	6	Движение жидкости в пограничном слое	2
P8	7	Основные законы газовой динамики	2

**Всего:** 17

##### 4.3. Самостоятельная работа студентов

4.3.1. *Примерный перечень тем домашних работ*  
*«не предусмотрено»*

4.3.2. *Примерный перечень тем графических работ*  
*«не предусмотрено»*

4.3.3. *Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)*  
*«не предусмотрено»*

**4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов**

*«не предусмотрено»*

**4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)**

*«не предусмотрено»*

**4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ**

*«не предусмотрено»*

**4.3.7. Примерная тематика курсового проекта (работы) (индивидуального или группового)**

*«не предусмотрено»*

**4.3.8. Примерный перечень тем контрольных работ**

1. Замкнутая система уравнений для идеальной жидкости.
2. Уравнение Бернулли для сжимаемой и несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для линии тока и для нестационарного движения.
3. Теорема Томсона.
4. Теорема Гельмгольца для интенсивности вихревой трубки.
5. Примеры вихревых движений. Вихревые кольца. Вихревое движение в природе.
6. Уравнение для потенциала скорости при потенциальном движении идеальной несжимаемой жидкости (уравнение Лапласа).
7. Функция тока. Свойства функции тока. Ортогональность линий тока и эквипотенциальных линий.
8. Парадокс Даламбера.
9. Обтекание цилиндра с циркуляцией. Эффект Магнуса.
10. Теорема и правило Жуковского. Графоаналитический метод.
11. Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости.
12. Задача Куэтта.
13. Плоское и цилиндрическое течение Пуазейля. Распределение скорости потока и её среднее значение. Объёмный и массовый расход.
14. Вискозиметр Энглера.

**4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов**

1. Тензор деформации, физический смысл его компонент.
2. Полная деформация элемента объёма.
3. Свободная энергия деформируемого тела. Коэффициенты Ламэ.
4. Закон Гука. Изменение объёма тела при деформации.
5. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона.
6. Уравнения равновесия изотропных тел.
7. Уравнение непрерывности, движения сплошной среды и сохранения момента количества движения.
8. Тензор плотности потока импульса. Физический смысл его компонент.
9. Уравнение сохранения внутренней энергии. Вектор плотности потока полной энергии (вектор Умова-Пойтинга).
10. Фундаментальная замкнутая система уравнений движения сплошной среды. Начальные и краевые условия. Существование и единственность решений.
11. Модели сплошных сред: твердое тело, жидкость, газ.
12. Полный тензор напряжений для ньютоновских жидкостей и газов.
13. Продольные и поперечные волны, их скорость распространения.

**4.3.10. Перевод иноязычной литературы**

*«не предусмотрено»*



## 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ В РАМКАХ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ

### 6.1. Весовой коэффициент значимости модуля (дисциплины) в рамках учебного плана – 1

### 6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,6		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Посещение лекций	6, 1-17 уч.нед.	10
Коллоквиум	6, 3-5 уч.нед.	90
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – $k_{\text{тек.лек.}} = 0,5$		
Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – $k_{\text{пром.лек.}} = 0,5$		
2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,3		
Текущая аттестация на практических занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Посещение практический занятий	6, 1-17 уч.нед.	10
Контрольная работа №1	6, 5-7 уч.нед.	45
Контрольная работа №2	6, 7-9 уч.нед.	45
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1,0 (не предусмотрено)		
Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрено		
3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0.1		
Выполнение лабораторных работ	6, 9-17 уч.нед.	100
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям - 1		
Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – не предусмотрено		

### 6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы - не предусмотрены

### 6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения модуля (дисциплины)

Порядковый номер семестра по учебному плану, в котором осваивается дисциплина	Коэффициент значимости результатов освоения дисциплины в семестре
Семестр 6	$k_{\text{сем.6}} = 1$

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

1. Механика жидкости и газа. Избранное [Электронный ресурс] : сборник / сост. Крайко А.Н., Ватажин А.Б., Любимов Г.А. ; под общ. ред. Крайко А.Н.. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2003. — 384 с. <https://e.lanbook.com/book/48228>.
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т. I. Механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2007. — 224 с. <https://e.lanbook.com/book/2231>.

3. Седов, Леонид Иванович. Механика сплошной среды : Учебник для студентов ун-тов и втузов. Т. 1 / Л. И. Седов .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 2004 .— 536 с. — 15 экз

#### 7.1.2. Дополнительная литература

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.6 Гидродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2001. — 736 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2232> . — Загл. с экрана.
2. Шинкин, В.Н. Механика сплошных сред: Курс лекций [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Н. Шинкин. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2010. — 235 с. <https://e.lanbook.com/book/2079> .

#### 7.1.3. Методические разработки

1. Кинофильм «Общие основы аэродинамики» (7 частей, 63 мин.).
2. Кинофильм «Основы аэро- и гидродинамики» (2 части, 20 мин.).
3. Кинофильм «Общие теоремы движения» (3 части, 26 мин).
4. Кинофильм «Вязкость газов и жидкостей» (10 мин.).
5. Кинофильм «Истечение газов и паров» (2 части, 13 мин.).
6. Кинофильм «Распространение упругих волн» (9 мин.).
7. Кинофильм «Образование смерча» (5 мин.).
8. Сборник кинофильмов на диске. Издание МГУ.
9. Электронный конспект лекций по курсу «Механика сплошных сред» с применением медиа-технологий. Компьютерная версия. Разделы 1 «Теория упругости», Раздел 2 «Идеальная жидкость».
10. Электронное учебное пособие для проведения практических занятий.
11. Компьютерные программы и описание проведения практических занятий в вычислительном классе кафедры по Разделу 3 «Вязкая жидкость».

#### 7.2. Программное обеспечение

«Microsoft Office».

#### 7.3. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», информационно-справочные и поисковые системы

1. Википедия – свободная энциклопедия: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Зональная библиотека УрФУ: <http://lib.urfu.ru>

#### 7.4. Электронные образовательные ресурсы

Не используются.

#### 7.5. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Обучение проводится последовательно путем чтения лекций с углублением и закреплением полученных знаний в ходе самостоятельной работы с последующим переводом знаний в умения в ходе практических занятий и лабораторного практикума. На лекциях излагаются основные, имеющие принципиальное значение и наиболее трудные для понимания и усвоения вопросы. Теоретические знания, полученные студентами на лекциях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются на практических занятиях.

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания,

как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

При проведении независимого тестового контроля как формы промежуточной аттестации применяется методика оценивания результатов, предлагаемая разработчиками тестов. Процентные показатели результатов независимого тестового контроля переводятся в баллы промежуточной аттестации по 100-балльной шкале в БРС:

- в случае балльной оценки по тесту (блокам, частям теста) переводится процент набранных баллов от общего числа возможных баллов по тесту;
- при отсутствии балльной оценки по тесту переводится процент верно выполненных заданий теста, от общего числа заданий.



### 8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

#### 8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий:

*«не предусмотрено»*

#### 8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий

1. Найти скорость истечения идеальной несжимаемой жидкости из сосуда.
2. Найти распределение скорости и давления вблизи цилиндра.
3. Нестационарное движение бесконечного цилиндра в идеальной несжимаемой жидкости. Найти распределение скорости и давления вблизи цилиндра.
4. Задача Куэтта.
5. Плоское и цилиндрическое течение Пуазейля. Найти распределение скорости потока и её среднее значение.
6. Истечение жидкости из сосуда через капилляр с известными геометрическими параметрами.
7. Движение жидкости между двумя вращающимися цилиндрами.
8. Обтекание шара медленным потоком вязкой жидкости (задача Стокса). Распределение скорости и давления около обтекаемого шара и на его поверхности. Уточнение Осеена

#### 8.3.3. Примерные контрольные кейсы

*«не предусмотрено»*

#### 8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета

*«не предусмотрено»*

#### 8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Понятие сплошной среды. Модели механического движения. Обобщение механики точки и твердого тела.
2. Бесконечно малые. Элемент объема, бесконечно малый промежуток времени в МСС. Характерный размер и характерное время задачи. Пределы применимости МСС
3. Деформация. Вектор деформации. Однородная линейная деформация. Тензор относительной деформации. Тензор деформации и тензор поворота, их физический смысл. Изменение объема тела при деформации. Геометрические свойства линейных деформаций.
4. Температурная деформация. Тензор теплового расширения. Коэффициент объемного расширения. Теорема Коши-Гельмгольца. Полная деформация элемента объема.
5. Силы массовые, объемные и поверхностные. Тензор напряжений. Физический смысл компонент тензора напряжений. Касательные (сдвиговые) и нормальные напряжения. Сила давления. Результирующая сила, действующая на единицу объема тела.
6. Упругие и пластические деформации. Термодинамика деформирования. Работа внутренних сил. Основное термодинамическое равенство. Изменение внутренней энергии среды при деформациях. Изменение свободной энергии среды при деформациях.
7. Свободная энергия деформируемого тела. Коэффициенты Ламэ. Тензор сдвига. Тензор всестороннего сжатия. Модуль всестороннего сжатия и модуль сдвига. Закон Гука. Изменение объема тела и изменение свободной энергии деформируемой среды при деформации.
8. Однородная деформация (растяжение стержня). Граничные условия. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Связь между коэффициентами Ламэ,
9. Свободная энергия неизотермического деформирования.
10. Общий вид тензора напряжений для изотропного тела. Адиабатические и изотермические модули. Соотношение между ними. Уравнения равновесия изотропных тел. Тензор скоростей деформации. Тензор скорости поворота. Дифференцирование по времени интеграла по подвижному объему.

11. Уравнение непрерывности. Интегральная и дифференциальная формы Условие стационарного движения. Условие несжимаемости среды.
12. Уравнение движения сплошной среды. Интегральная и дифференциальная формы закона количества движения. Субстанциональное и локальное описание движения сплошной среды.
13. Уравнение момента количества движения. Интегральная форма уравнения. Символ Леви-Чивита. Дифференциальная форма уравнения. Доказательство симметричности тензора напряжений. Тензор плотности потока импульса. Физический смысл его компонент.
14. Уравнение сохранения внутренней энергии. Внутренняя энергия единицы объема сплошной среды. Плотность теплового потока. Вектор плотности потока полной энергии (вектор Умова-Пойтинга). Физический смысл составляющих вектора Умова.
15. Фундаментальная замкнутая система уравнений движения сплошной среды. Количество уравнений и количество неизвестных. Уравнение состояния (термическое уравнение). Калорическое уравнение. Уравнение Фурье для плотности потока тепла. Начальные и краевые условия. Существование и единственность решений. Феноменологические коэффициенты уравнений. Тензор вязких напряжений. Коэффициенты сдвиговой (динамической) и объемной вязкости
16. Определение идеальной жидкости. Замкнутая система уравнений для идеальной жидкости. Тензор напряжений. Уравнение Эйлера. Уравнение сохранения внутренней энергии. Система уравнений сохранения.
17. Изозэнтропическое движение. Плотность потока энтропии. Уравнение Эйлера в форме Громека. Граничные и начальные условия. Уравнение Бернулли. Потенциальное движение жидкости. Уравнение стационарного, потенциального, изозэнтропического движения идеальной жидкости в поле силы тяжести.
18. Уравнение Бернулли для сжимаемой и несжимаемой жидкости. Линии тока и траектории при стационарном и нестационарном движении.
19. Трубка тока. Уравнение линии тока для стационарного движения. Уравнение Бернулли для линии тока. Уравнение Бернулли для нестационарного движения. Баротропный потенциал и баротропное движение.
20. Примеры применения уравнения Бернулли. Скорость истечения идеальной несжимаемой жидкости из сосуда. Распределение давления в трубе переменного сечения. Кавитация. Трубка Пито. Критическая точка. Уравнение для трубки Пито. Влияние сжимаемости среды. Критерий для учета сжимаемости.
21. Вихревое движение. Теорема Томсона. Пределы применимости теоремы Томсона в реальных жидкостях. Вихревая трубка. Теорема Гельмгольца.
22. Прямолинейная одиночная вихревая нить. Вихревое движение по замкнутым траекториям. Примеры вихревых движений.
23. Потенциальное движение. Потенциал скорости. Уравнение Бернулли для нестационарного потенциального движения. Уравнение Лапласа. Граничные условия.
24. Плоское движение несжимаемой жидкости. Функция тока. Свойства функции тока. Ортогональность линий тока и эквипотенциальных линий.
25. Методы решений уравнений движения идеальной жидкости. Метод конформных отображений. Обтекание бесконечного цилиндра. Определение функции тока и потенциала скорости. Распределение скорости и давления вблизи цилиндра. Парадокс Даламбера.
26. Метод суперпозиции потенциальных потоков. Обтекание цилиндра с циркуляцией. Подъёмная сила. Эффект Магнуса. Теорема Жуковского. Примеры обтекания цилиндра с циркуляцией.

27. Графоаналитический метод. Условие масштабирования потоков. Суперпозиция прямолинейного поступательного потока и плоского источника.
28. Непосредственное решение уравнения движения. Нестационарное движение бесконечного цилиндра в идеальной несжимаемой жидкости. Распределение скорости движения жидкости вблизи цилиндра. Нестационарное уравнение Бернулли. Распределение давления по поверхности цилиндра. Присоединённая масса. Примеры влияния присоединённой массы на движение тел.
29. Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости. Замкнутая система уравнений сохранения. Граничные и начальные условия.
30. Вихревое движение вязкой жидкости. Уравнение движения вихря. Изменение скорости углового вращения вихря в пространстве и во времени. Диссипация кинетической энергии в несжимаемой вязкой жидкости. Положительность коэффициента динамической вязкости.
31. Точные решения уравнения Навье-Стокса. Нелинейность уравнения Навье-Стокса и возникающие трудности при его решении. Интуитивные гипотезы Биркгофа. Задача Куэтта. Система уравнений сохранения. Применение интуитивных гипотез для оценки слагаемых в уравнениях. Профиль скорости течения. Определение сил, действующих на поверхностях и на индивидуальную частицу в поле течения.
32. Плоское течение Пуазейля. Распределение скорости потока и её среднее значение. Цилиндрическое течение Пуазейля. Сдвиговые и нормальные напряжения на поверхности. Распределение скорости. Объёмный и массовый расход. Сдвиговые и нормальные напряжения на поверхности. Сила сопротивления участка трубы конечной длины. Использование формулы Пуазейля для измерения коэффициента динамической вязкости.
33. Движение жидкости между двумя вращающимися цилиндрами. Распределение скорости в зазоре. Распределение давления во вращающейся жидкости и газе. Момент сил вязкого трения. Определение коэффициента динамической вязкости методом вращающегося цилиндра.
34. Обтекание шара медленным потоком вязкой несжимаемой жидкости (задача Стокса). Методика решения уравнения Навье-Стокса. Распределение скорости в поле течения. Распределение давления около обтекаемого шара и на его поверхности. Сила сопротивления (формула Стокса). Уточнение Осена. Коэффициент кинематической вязкости.
35. Подобие в гидродинамике. Характерные величины. Безразмерная форма уравнения Навье-Стокса. Газодинамическое подобие потоков. Критерии подобия. Сходственные точки потока и сходственные моменты времени.
36. Сила сопротивления. Коэффициенты сопротивления: коэффициент лобового сопротивления, подъемной силы и боковой силы. Моделирование. Сложности, возникающие при полном удовлетворении равенства чисел Майевского и Рейнольдса для модели и объекта. Пример расчёта силы сопротивления и скорости обтекания натурального объекта.
37. Аналитические коэффициенты сопротивления. Коэффициент гидравлического сопротивления участка цилиндрической трубы, коэффициент сопротивления шара и диска при медленном обтекании жидкости.
38. Устойчивость стационарного движения жидкости. Общая схема исследования на устойчивость стационарных движений вязкой несжимаемой жидкости. Малые возмущения. Комплексные частоты. Условие устойчивости. Точное решение Тейлора для малого зазора между цилиндрами. Критическая скорость вращения внутреннего цилиндра.
39. Турбулентное движение. Опыты Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное движение. Характерные особенности турбулентного движения. Критическое число Рейнольдса. Факторы, влияющие на критическое число Рейнольдса.

40. Средние и пульсационные составляющие скорости движения. Правила осреднения скоростей и термодинамических параметров. Осреднение уравнения Навье-Стокса. Уравнения Рейнольдса. Тензор турбулентных напряжений. Коэффициент турбулентной вязкости. Не замкнутость системы уравнений турбулентного движения.
41. Основные идеи методов Прандтля-Кармана и Фрийдмана. Теория турбулентности Прандтля. Гипотезы Прандтля. Турбулентное движение жидкости в трубах с гладкими стенками. Гидравлическое сопротивление. Формула. Закон распределения скорости по сечению трубы. Профиль скорости. Формулы Никурадзе.
42. Гидравлическое сопротивление труб с шероховатыми стенками. Дополнительный критерий подобия. Результаты экспериментов с шероховатыми трубами. Эмпирические формулы Никурадзе. Физическая интерпретация.
43. Развитая турбулентность. Мелко- и крупномасштабные пульсации. Определение порядка величины диссипируемой энергии и коэффициента турбулентной вязкости при крупных масштабах турбулентности. Турбулентное движение при промежуточных масштабах. Закон Колмогорова-Обухова. Оценка размера мелкого масштаба.
44. Понятие пограничного слоя. Оценка слагаемых в системе уравнений сохранения. Уравнения Прандтля в размерном и безразмерном виде. Обтекание полубесконечной плоской пластинки с пограничным слоем. Толщина пограничного слоя. Толщина вытеснения.
45. Разгонный участок в цилиндрической трубе и плоской щели. Интегральное уравнение Кармана. Приближенное решение для плоской бесконечной пластины. Граничные условия. Сила трения, коэффициент сопротивления, толщина вытеснения.
46. Отрыв пограничного слоя. Хорошо и плохо обтекаемые тела. Турбулентный пограничный слой и кризис сопротивления. Экспериментальные результаты по измерению сопротивления шара в зависимости от числа Рейнольдса.
47. Предмет разовой динамики. Скорость звука и средняя тепловая скорость движения молекул. Скорость звука как термодинамический параметр. Параметры газа в заторможенном потоке. Число Маха. Температура торможения. Примеры изменения температуры газа при различных скоростях движения. Появление инверсионного следа.
48. Стационарный одномерный поток сжимаемого газа. Определение скорости газа в произвольной точке на линии тока. Максимальная скорость истечения газа в вакуум. Местная скорость. Критическая скорость.
49. Изменение плотности потока в сужающейся и расширяющейся трубке тока при до- и сверхзвуковом движении. Сопло Лавалья. Истечение газа из резервуара через сужающийся насадок. Критическая скорость. Критическое отношение давлений. Максимальный массовый и объёмный расходы. Формула Сен-Венана-Вентцеля. Предельные значения скоростей. Звуковая диафрагма.
50. Распространение волн возмущения при до- и сверхзвуковом движении газа. Конус Маха. Характеристические поверхности. Угол Маха. Поверхности разрыва. Ударные волны и скачки уплотнения. Законы сохранения на поверхности разрыва. Прямая ударная волна и скачок уплотнения в идеальном газе. Уравнения, описывающие прямую ударную волну. Ударная адиабата (адиабата Гюгонь'о). Связь между термодинамическими параметрами в прямой ударной волне и их предельные значения. Критические скорости и скорости торможения.
51. Ударные волны слабой интенсивности. Скорость спутного потока. Физическое объяснение образования ударных волн. Пример расчёта термодинамических параметров и скоростей при воздействии ударной волны. Косая ударная волна. Уравнение ударной поляры и её графическое изображение. Определение угла поворота потока и угла косой ударной волны. Предельная строфоида. Изменение скорости за косой ударной волной. Слабые и сильные семейства ударных волн.

52. Обтекание клина сверхзвуковым потоком. Отсоединённая ударная волна. Звуковой барьер. Удобообтекаемые профили при до- и сверхзвуковых движениях газа. Трубка Пито в сверхзвуковом потоке. Волна разрежения. Уравнения движения. Тангенциальный разрыв скорости. Движение газа в волне разрежения при различных противодавлениях.
53. Взаимодействие ударных волн различной интенсивности с твёрдыми поверхностями и между собой. Углы падения и отражения ударных волн. Неправильное отражение. Взаимодействие ударных волн и волн разрежения с поверхностью тангенциального разрыва скорости. Возникновение скачка уплотнения в пограничном слое. Отрыв пограничного слоя
54. Истечение газа из сужающегося насадка в затопленное пространство при давлениях в нём больше или меньше критического. Сопло Лавала в нерасчётном режиме. Обтекание неограниченно широкой пластинки сверхзвуковым потоком идеального газа под некоторым углом атаки.
55. Особенности движения проводящей жидкости в магнитном поле. Уравнения Максвелла. Ограничения класса рассматриваемых сред и движений. Изотропная проводимость жидкости. Пренебрежение токами смещения. Уравнение движения проводящей жидкости в магнитном поле. Тензоры электрического и магнитного напряжений. Электрические и магнитные массовые силы.
56. Уравнение Навье-Стокса в магнитной гидродинамике. Уравнение непрерывности. Уравнение сохранения внутренней энергии. Диссипация энергии вследствие токов проводимости. Замкнутая система уравнений движения. Граничные условия.
57. Система уравнений для несжимаемой проводящей жидкости в магнитном поле. Тензор плотности потока импульса. Вектор Умова. Принцип «замороженности» магнитных силовых линий. Диффузия магнитного поля. Время релаксации магнитного поля в проводящей среде. Задача Гартмана.
58. Установившееся движение проводящей жидкости между двумя параллельными плоскостями в поперечном магнитном поле. Профиль скорости.
59. Магнитогидродинамические машины. Электромагнитные насосы. Индукционный насос. Электромагнитные насосы прямого действия. Магнитогидродинамический генератор. Оценка мощности МГД-генератора. Плазменные двигатели.
60. Спонтанное магнитное поле при турбулентном движении проводящей жидкости. Два конкурирующих процесса. Идентичность уравнений электродинамики для напряженности магнитного поля и гидродинамики для вихря, критерий их тождественности. Самопроизвольное возрастание слабого магнитного поля при турбулентном движении проводящей жидкости.
61. Одномерное движение проводящей жидкости в поперечном магнитном поле. Скорость распространения малых возмущений. Волны Альвена. Уравнение Бернулли в магнитной гидродинамике. Ударные волны в магнитной гидродинамике. Уравнение ударной адиабаты в магнитной гидродинамике.

### **8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

*«не используются»*

### **8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

*«не используются»*

### **8.3.8. Интернет-тренажеры**

*«не используются»*

### **8.3.9 Примерные задания в составе коллоквиума**

В рамках коллоквиума предусмотрен устный ответ студента на один из вопросов по выбранной тематике из списка тем, указанных в п.4.3.9. Например, вопрос: Продольные и поперечные волны, их скорость распространения. В процессе ответа студент должен сформулировать определения продольных и поперечных волн, объяснить их отличие. Привести формулы

