

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
 «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ**  
**Физические основы технологических процессов**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> <i>Физические основы технологических процессов</i>	<b>Код модуля 1133373</b>
<b>Образовательная программа</b> <i>Информационные системы в научно-технических и социально-экономических технологиях</i>	<b>Код ОП 09.03.02/01.01</b> <b>Учебный план № 5456</b>
<b>Траектория образовательной программы (ТОП)</b>	<i>ТОП3</i> <i>Безопасность технических информационных систем</i>
<b>Направление подготовки</b> <i>Информационные системы и технологии</i>	<b>Код направления и уровня подготовки</b>  <i>09.03.02</i>
<b>Уровень подготовки</b> <i>Бакалавр</i>	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> <i>Приказ от 12.03.2015, №219</i>

Екатеринбург, 2017

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Звонарев К.В.	к.ф.-м.н.	доцент	Технической физики	

**Руководитель модуля**

К.В. Звонарев

**Рекомендовано учебно-методическим советом физико-технологического института**

Председатель учебно-методического совета

В.В. Зверев

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

Р.Х. Токарева

**Руководитель образовательной программы (ОП), для которой реализуется модуль**

С.Л. Гольдштейн

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

### *Физические основы технологических процессов*

1.1. Объем модуля: 9 з.е.

#### 1.2. Аннотация содержания модуля

Модуль «Физические основы технологических процессов» относится к вариативной части образовательной программы (по выбору студента), изучается в пятом и шестом семестре и направлен на формирование результатов обучения, связанных со способностью осуществлять разработку и внедрение информационных технологий в технической физике и ядерной энергетике и обеспечение безопасности, целостности данных информационных систем технологических предприятий. Модуль состоит из двух дисциплин: «Статистическая термодинамика» и «Физическая гидрогазодинамика».

Изучение дисциплины «Статистическая термодинамика» позволит студентам овладеть знаниями в области статистических закономерностей макроскопических систем, основанных на законах механики частиц, квантовых и классических равновесных распределений. Важная роль отводится так же изучению неравновесных систем. В процессе освоения дисциплины «Физическая гидрогазодинамика» студентам предоставляется возможность получить комплексное всестороннее представление о феноменологических свойствах переноса массы, импульса и энергии в различных агрегатных состояниях сплошных сред.

Полученные в рамках модуля «Физические основы технологических процессов» знания могут быть применены в дальнейшем при изучении модуля «Моделирование и управление в технических системах».

## 2. СТРУКТУРА МОДУЛЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ ПО ДИСЦИПЛИНАМ

Наименования дисциплин с указанием, к какой части образовательной программы они относятся: базовой (Б), вариативной – по выбору вуза (ВВ), вариативной - по выбору студента (ВС).		Семестр изучения	Объем времени, отведенный на освоение дисциплин модуля							
			Аудиторные занятия, час.				Самостоятельная работа, включая все виды текущей аттестации, час.	Промежуточная аттестация (зачет, экзамен), час.	Всего по дисциплине	
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего			Часов	Зач. ед.
1.	(ВС) <i>Статистическая термодинамика</i>	5	34	17	17	68	72	Зачёт, 4	144	4
2.	(ВС) <i>Физическая гидрогазодинамика</i>	6	68	17	34	119	43	Экзамен, 18	180	5
<b>Всего на освоение модуля</b>			102	34	51	187	115	22	324	9

## 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИН В МОДУЛЕ

3.1.	Пререквизиты и постреквизиты в модуле	-
3.2.	Кореквизиты	Статистическая термодинамика, Физическая гидрогазодинамика

#### 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ МОДУЛЯ

##### 4.1. Планируемые результаты освоения модуля и составляющие их компетенции

Коды ОП, для которых реализуется модуль	Планируемые в ОХОП результаты обучения -РО, которые формируются при освоении модуля	Компетенции в соответствии с ФГОС ВО
09.03.02/01.01	РО-ТОП 3-1 Способность осуществлять в рамках производственно-технологической деятельности разработку и внедрение информационных технологий в технической физике, ядерной энергетике	способностью использовать технологии разработки объектов профессиональной деятельности в областях: безопасность информационных систем, управление технологическими процессами, техническая физика, энергетика, ядерная энергетика, в условиях экономики информационного общества (ПК-17);
09.03.02/01.01	РО-ТОП 3-2 Способность осуществлять в рамках сервисно-эксплуатационной деятельности обеспечение безопасности и целостности данных информационных систем технологических предприятий	способностью поддерживать работоспособность информационных систем и технологий в заданных функциональных характеристиках и соответствии критериям качества (ПК-30); способностью обеспечивать безопасность и целостность данных информационных систем и технологий (ПК-31); способностью адаптировать приложения к изменяющимся условиям функционирования (ПК-32)

##### 4.2. Распределение формирования компетенций по дисциплинам модуля

Дисциплины модуля		ПК-17	ПК-30	ПК-31	ПК-32
1	(ВС) <i>Статистическая термодинамика</i>	+	+	+	
2	(ВС) <i>Физическая гидрогазодинамика</i>	+	+		+

#### 5. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО МОДУЛЮ

##### 5.1. Весовой коэффициент значимости промежуточной аттестации по модулю:

$K = 0.4$

##### 5.2. Форма промежуточной аттестации по модулю:

Не предусмотрено

### **5.3. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО МОДУЛЮ**

#### **5.3.1. ОБЩИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО МОДУЛЮ**

Система критериев оценивания результатов обучения в рамках модуля опирается на три уровня освоения: пороговый, повышенный, высокий.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<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.

### **5.3.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО МОДУЛЮ**

#### **5.3.2.1. Перечень примерных вопросов для интегрированного экзамена по модулю**

Не предусмотрено

#### **5.3.2.2. Перечень примерных тем итоговых проектов по модулю.**

Не предусмотрено

### **6. ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ МОДУЛЯ**

<b>Номер листа изменений</b>	<b>Номер протокола заседания проектной группы модуля</b>	<b>Дата заседания проектной группы модуля</b>	<b>Всего листов в документе</b>	<b>Подпись руководителя проектной группы модуля</b>

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Статистическая термодинамика**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> <i>Физические основы технологических процессов</i>	<b>Код модуля 1133373</b>
<b>Образовательная программа</b> <i>Информационные системы в научно-технических и социально-экономических технологиях</i>	<b>Код ОП 09.03.02/01.01</b> <b>Учебный план № 5456</b>
<b>Направление подготовки</b> <i>Информационные системы и технологии</i>	<b>Код направления и уровня подготовки</b> <i>09.03.02</i>
<b>Уровень подготовки</b> <i>Бакалавр</i>	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> <i>Приказ от 12.03.2015, №219</i>

Екатеринбург, 2017

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Мелких А.В.	д.ф.-м.н., доцент	профессор	Технической физики	

**Руководитель модуля**

К.В. Звонарев

**Рекомендовано учебно-методическим советом института физико-технологического**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

В.В. Зверев

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

Р.Х.Токарева



# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

## **1.1. Аннотация содержания дисциплины**

В процессе освоения дисциплины студентам предоставляется возможность получить комплексное всестороннее представление о статистических закономерностях макроскопических систем, основанных на законах механики частиц, рассматриваются квантовые и классические равновесные распределения. Важная роль отводится так же изучению неравновесных систем.

## **1.2. Язык реализации программы - русский**

## **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

- способностью использовать технологии разработки объектов профессиональной деятельности в областях: безопасность информационных систем, управление технологическими процессами, техническая физика, энергетика, ядерная энергетика, в условиях экономики информационного общества (ПК-17);
- способностью поддерживать работоспособность информационных систем и технологий в заданных функциональных характеристиках и соответствии критериям качества (ПК-30);
- способностью обеспечивать безопасность и целостность данных информационных систем и технологий (ПК-31);

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:** современную картину мира на основе целостной системы естественно научных знаний.

**Уметь** использовать фундаментальные законы в области термодинамики в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения.

**Владеть** способностью к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества или процессы в реакторах, ускорителях, масс-спектрометрах, или воздействие на человека и биологические структуры.

## 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	5 семестр
1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
2.	Лекции	34	34	34
3.	Практические занятия	17	17	17
4.	Лабораторные работы	17	17	17
5.	<b>Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации</b>	72	10,2	72
6.	<b>Промежуточная аттестация</b>	4	0,25	<b>Зачет, 4</b>
7.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	<b>144</b>	<b>78,45</b>	<b>144</b>
8.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	<b>4</b>		<b>4</b>

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
<b>P1</b>	Основные положения классической статистической физики	<p>Фазовое пространство. Фазовая плотность вероятности. Уравнения Лагранжа. Временные и фазовые средние.</p> <p>Уравнение Лиувилля. Теорема Лиувилля. Аналогия движения фазовых точек и несжимаемой жидкости. Сохранение фазового объема.</p> <p>Распределения Гиббса и Максвелла-Больцмана.</p> <p>Первое начало термодинамики с точки зрения статистики. Статистическое определение энтропии. Основной алгоритм СФ.</p> <p>Статистическое обоснование третьего начала термодинамики. Энтропия – мера упорядоченности физической системы.</p> <p>Теорема о равнораспределении. Поступательные, колебательные и вращательные степени свободы.</p>
<b>P2</b>	Идеальные системы	<p>Расчет уравнения состояния, энтропии, свободной энергии и теплоемкости идеального газа. Парадокс Гиббса в классической физике.</p> <p>Распределение атомов газа в пространстве квантовых состояний. Распределения Ферми и Бозе.</p> <p>Вырожденный электронный газ в металлах. Уравнение состояния электронного газа. Теплоемкость электронного газа.</p>

		<p>Вырожденный Бозе-газ. Уравнение состояния вырожденного Бозе-газа. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Экспериментальное наблюдение явления Бозе-Эйнштейновской конденсации.</p> <p>Излучение абсолютно черного тела. Термодинамические параметры черного излучения. Уравнение состояния для излучения.</p> <p>Статистический вывод закона Стефана-Больцмана. Связь квантовых и классических распределений Гиббса. Парадокс Гиббса с точки зрения квантовой механики.</p> <p>Расчет статистических сумм и термодинамических параметров для вращательных степеней свободы. Вращательная теплоемкость.</p> <p>Расчет статистических сумм и термодинамических параметров для колебательных степеней свободы. Колебательная теплоемкость.</p> <p>Связь флуктуаций и энтропии. Распределение Гаусса. Флуктуации аддитивной величины, объема и энергии.</p>
<b>P3</b>	Неидеальные системы	<p>Неидеальные газы. Силы взаимодействия между молекулами. Виримальное уравнение состояния. Формула Ван-дер-Ваальса. Вывод формулы Ван-дер-Ваальса. Приведенное уравнение состояния. Формула Дебая. Термодинамические функции равновесной плазмы.</p> <p>Поведение системы вблизи критической точки. Критические индексы.</p> <p>Условия равновесия фаз. Бинодаль и спинодаль. Перегрев и переохлаждение.</p> <p>Кинетика фазовых переходов первого рода и проблема роста квазикристаллов. Кинетика распада метастабильных состояний. Стекла. Мозаики Пенроуза. Зельдовича-Неймана-Геринга.</p>
<b>P4</b>	Неравновесные системы	<p>Уравнения баланса тепла и числа частиц. Локальное равновесие. Диффузия и теплопроводность.</p> <p>Броуновское движение. Уравнение Ланжевена.</p> <p>Уравнение Фоккера-Планка. Формула Эйнштейна. Времена релаксации.</p> <p>Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии. Плотность производства энтропии.</p> <p>Основные положения линейной неравновесной термодинамики. Соотношения взаимности Онсагера. Теорема Пригожина. Принцип Кюри.</p> <p>Перекрестные явления в газах. Термодиффузия. Тепловое скольжение. Радиометрический эффект.</p> <p>Явления переноса в ультраразреженных газах. Перенос импульса и тепла. Рассеяние фотонов на поверхности.</p> <p>Диффузия газа в асимметричной мембране. Расчет потока частиц при наличии источника тепла. Интерпретация принципа Кюри для данного случая.</p> <p>Уравнение Мастера. Диффузия тяжелого газа в лег-</p>

		ком. Уравнение Паули. Вывод уравнения Фоккера-Планка из уравнения мастера. Причины необратимости в макросистемах. Парадоксы Пуанкаре-Цермелло и Лошмидта. Перемешивание и неустойчивость.
--	--	--

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

#### **3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины**

Объем модуля (зач.ед.): 9  
Объем дисциплины (зач.ед.): 4

Раздел дисциплины			Аудиторные занятия (час.)				Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																									
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу, теме (час.)	Всего аудиторной работы (час.)	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего самостоятельной работы студентов (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)						Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)										Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)			Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)	Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)				
								Всего (час.)	Лекция	Практ., семинар, занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум (магистратура)	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностранном языке*	Перевод иностранной литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего (час.)	Контрольная работа*	Коллоквиум*						
																													Зачет	Экзамен	Интегрированный экзамен по модулю	Проект по модулю
P1	Основные положения классической статистической физики	24	12	4	4	4	12	12	4	4	4																					
P2	Идеальные системы	34	16	8	4	4	18	16	8	4	4																2	1				
P3	Неидеальные системы	34	16	8	4	4	18	16	8	4	4															2		1				
P4	Неравновесные системы	48	24	14	5	5	24	24	14	5	5																					
	<b>Всего (час)</b> , без учета промежуточной аттестации:	<b>140</b>	<b>68</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>72</b>	<b>68</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>144</b>	<b>68</b>				<b>76</b>	В т.ч. промежуточная аттестация															4	0	<b>0</b>	0						

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

##### 4.1. Лабораторные работы

Код раздела, темы	Номер работы	Наименование работы	Время на выполнение работы (час.)
P1	1	Измерение показателя адиабаты акустическим методом	4
P2	2	Теплоемкость кристаллических тел	4
P3	3	Давление насыщенного пара жидкости и твердого тела	4
P4	4	Определение критических параметров двуокиси углерода	5
<b>Всего:</b>			17

##### 4.2. Практические занятия

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
P1	1	Фазовое пространство. Фазовая плотность вероятности. Теорема Лиувилля. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана.	4
P2	2	Распределение Ферми. Распределение Бозе. Фотоны.	4
P3	3	Газ Ван-дер-Ваальса. Плазма.	4
P4	4	Уравнение Баланса тепла. Броуновское движение. Уравнение баланса массы. Ультразреженные газы. Производство энтропии.	5
<b>Всего:</b>			17

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

###### 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. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

*не предусмотрено*

#### 4.3.8. Примерная тематика контрольных работ

Контрольная работа по темам:

- «Основные положения классической статистической физики»  
«Идеальные системы».

#### 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

1. Основные положения классической статистической физики.
2. Идеальные системы.

### 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (диалоговое обсуждение пройденного)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разра-ботка контента	Другие (указать, какие)
P1-P4	*			*	*			*				

### 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (Приложение 1)

### 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

### 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)

### 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 9.1.Рекомендуемая литература

##### 9.1.1.Основная литература

1. Ефремов, Ю.С. Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие / Ю.С. Ефремов. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 208 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428682](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428682).
2. Алтунин, К.К. Статистическая физика и термодинамика : учебно-методическое пособие / К.К. Алтунин. - 2-е изд. - М. : Директ-Медиа, 2014. - 83 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240555](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240555).

### 9.1.2. Дополнительная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Теоретическая физика. Т.V, часть 1, 5-е издание, М.: Физматлит, 2005. 616 с.
2. Скоков В.Н., Селезнев В.Д.. Введение в физику неравновесных процессов. Екатеринбург. УГТУ-УПИ. 2008. 233с.
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т.3. Теория неравновесных систем. Эдиториал УРСС, 2003. 448с.
4. Крапивский П.А., Кинетический взгляд на статистическую физику / П.А. Крапивский, С. Реднер, Э. Бен-Наим. – М.: Научный мир, 2012. 616 с.
5. Олемской А.И. Синергетика сложных систем: феноменология и статистическая теория. М.: КРАСАНД, 2009. 384с.

### 9.2.Методические разработки

1. Мелких А.В., Повзнер А.А., Шумихина К.А. Основы термодинамики и статистической физики. Учебное пособие. Екатеринбург. УГТУ-УПИ. 2009. 242с.
2. Мелких А.В., Повзнер А.А., Шумихина К.А. Элементы термодинамики и статистической физики: учебное пособие. Екатеринбург, УрФУ, 2010, 226с.
3. Мелких А.В., Повзнер А.А. Основы статистической физики. Часть I. Учебное пособие. УрФУ. 2011. 124 с.
4. Основные законы классической физики в примерах и задачах : учебное пособие / Л. Г. Малышев, К. А. Шумихина, А. В. Мелких, А. А. Повзнер. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 404 с.

### 9.3.Программное обеспечение

не используется.

### 9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

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

### 9.5.Электронные образовательные ресурсы

УМК Неравновесная статистическая термодинамика  
[http://study.urfu.ru/view/aid\\_view.aspx?AidId=6707](http://study.urfu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=6707)

УМК-Д Статистическая физика

[http://study.urfu.ru/view/aid\\_view.aspx?AidId=5372](http://study.urfu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=5372)

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Лекции и практические занятия проводятся в аудитории, оснащенной проектором с использованием мобильного компьютера (ноутбука). Компьютерный класс с установленным программным обеспечением п.9.3 и числом рабочих мест соответствующим числу студентов в группе. Допустимо один компьютер на двух обучающихся.



**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
к рабочей программе дисциплины

**6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины – 1**

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

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение лекций	5 семестр, 1 – 18 учебные недели	50
Коллоквиум	5 семестр, 12-13 учебные недели	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0,4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – зачет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0,6</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,25</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Выполнение заданий	5 семестр, 9 – 18 учебные недели	50
Выполнение контрольной работы	5 семестр, 17 учебная неделя	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрена</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям – 0</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0,25</b>		
<b>Текущая аттестация на лабораторных занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Выполнение заданий	5 семестр, 1 – 9 учебные недели	100
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным за-</b>		

занятиям - 1

Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – нет

Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – 0

**6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта**

Не предусмотрено

**6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины**

Не предусмотрено

## **7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.*

*В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.*

## **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 БРС**

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.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<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**  
*не предусмотрено*

**8.3.3. Примерные контрольные кейсы**  
*не предусмотрено*

**8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

1. В чем состоит отличие временных и фазовых средних?
2. Почему энтропия может считаться мерой беспорядка в системе?
3. В чем состоит основной алгоритм равновесной статистической физики?
4. Докажите теорему о равномерном распределении энергии по степеням свободы.
5. В чем состоит парадокс Гиббса в классической физике?
6. Почему химический потенциал Бозе-газа не может быть положительным?
7. Почему теплоемкость электронного газа в металле много меньше, чем теплоемкость решетки?
8. Почему явление конденсации Бозе-Эйнштейна не существует в идеальном газе фотонов?
9. При каких характерных температурах колебательные степени свободы молекул являются замороженными?
10. Почему вириальное уравнение состояния для реального газа не может быть применено к жидкости?
11. Почему метод получения уравнения состояния, примененный для реального газа, не применим к плазме?
12. В чем состоит проблема роста квазикристаллов?
13. Сформулируйте основные положения линейной неравновесной термодинамики.
14. Какова связь между средним квадратом смещения броуновской частицы и ее коэффициента диффузии?
15. В чем состоит принцип Кюри для неравновесных процессов?
16. Получите уравнение Фоккера-Планка из уравнения мастера.
17. В чем причины необратимости в макроскопических системах?

**8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**  
*не используются*

**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*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физическая гидрогазодинамика**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> <i>Физические основы технологических процессов</i>	<b>Код модуля 1133373</b>
<b>Образовательная программа</b> <i>Информационные системы в научно-технических и социально-экономических технологиях</i>	<b>Код ОП 09.03.02/01.01</b> <b>Учебный план № 5456</b>
<b>Направление подготовки</b> <i>Информационные системы и технологии</i>	<b>Код направления и уровня подготовки</b> <i>09.03.02</i>
<b>Уровень подготовки</b> <i>Бакалавр</i>	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> <i>Приказ от 12.03.2015, №219</i>

Екатеринбург, 2017

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	

**Руководитель модуля**

К.В. Звонарев

**Рекомендовано учебно-методическим советом института физико-технологического**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

В.В. Зверев

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

Р.Х.Токарева



# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА**

## **1.1. Аннотация содержания дисциплины**

В процессе освоения дисциплины студентам предоставляется возможность получить комплексное всестороннее представление о феноменологических свойствах переноса массы, импульса и энергии в различных агрегатных состояниях сплошных сред. 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.

## **1.2. Язык реализации программы - русский**

## **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

- способностью использовать технологии разработки объектов профессиональной деятельности в областях: безопасность информационных систем, управление технологическими процессами, техническая физика, энергетика, ядерная энергетика, в условиях экономики информационного общества (ПК-17);
- способностью поддерживать работоспособность информационных систем и технологий в заданных функциональных характеристиках и соответствии критериям качества (ПК-30);
- способностью адаптировать приложения к изменяющимся условиям функционирования (ПК-32).

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:** область применения сплошносредного 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 гидро- газодинамики; практически применять решения типовые задач.

**Владеть:** терминологической и понятийной базой; навыками проведения физических экспериментов по измерению параметров гидродинамических течений; математическим аппаратом гидро- газодинамики.

## 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6 семестр
1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>119</b>	<b>119</b>	<b>119</b>
2.	Лекции	68	68	68
3.	Практические занятия	17	17	17
4.	Лабораторные работы	34	34	34
5.	<b>Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации</b>	43	17,85	43
6.	<b>Промежуточная аттестация</b>	18	2,33	<b>Экзамен, 18</b>
7.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	<b>180</b>	139,18	<b>180</b>
8.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	<b>5</b>		<b>5</b>

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	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.
P2	Теория упругости	Тензор относительной деформации. Тензор деформации и тензор поворота. Тензор деформации, физический смысл его компонент. Полная деформация элемента объема. Силы массовые, объемные и поверхностные. Тензор напряжений. Сила давления. Работа внутренних Сохранение циркуляции скорости. 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 объема тела при деформации. Изменение свободной энергии деформируемой среды. Однородная деформация (растяжение стержня). Модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

		<p>на. 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.</p>
<b>Р3</b>	Идеальная жидкость	<p>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. Примеры 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 экvipотенциальных 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.</p>
<b>Р4</b>	Вязкая жидкость	<p>Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости. Урав-</p>

		<p>нение 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</p>
<b>P5</b>	Теория подобия	<p>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.</p>
<b>P6</b>	Турбулентность.	<p>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.</p>
<b>P7</b>	Пограничный слой.	<p>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 управления пограничным слоем. Турбулентный пограничный слой и кризис сопротивления. Изменение характера обтекания шара при увеличении числа Рейнольдса. Кризис сопротивления шара.</p>
<b>P8</b>	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 сужа-</p>

		<p>ющейся и расширяющейся трубке тока при до- и сверхзвуковом движении. Сопло Лаваля. 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 Лаваля 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.</p>

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

#### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины



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

##### 4.1. Лабораторные работы

Код раздела, темы	Номер работы	Наименование работы	Время на выполнение работы (час.)
P3-5	1	Измерение коэффициента сопротивления при течении воздуха в цилиндрической трубке	6
P1,P3	2	Бароэффект при взаимной диффузии газов	6
P7	3	Звуковая диафрагма	4
P3	4	Определение коэффициента вязкости газов методом нестационарного потока	6
P2,P3	5	Измерение расхода газа и скорости газа	6
P3,P4	6	Сопротивление обтекаемых тел	6
<b>Всего:</b>			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
P6	6	Движение жидкости в пограничном слое	2
P7	7	Основные законы газовой динамики	2
<b>Всего:</b>			17

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

###### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

1. Оценка слагаемых в системе уравнений сохранения.
2. Уравнения Прандтля в размерном и безразмерном виде.
3. Обтекание полубесконечной плоской пластинки с пограничным слоем.
4. Толщина пограничного слоя. Толщина вытеснения.
5. Отрыв пограничного слоя. Хорошо и плохо обтекаемые тела.
6. Турбулентный пограничный слой и кризис сопротивления.

#### 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. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

*не предусмотрено*

#### 4.3.8. Примерная тематика контрольных работ

1. Замкнутая система уравнений для идеальной жидкости. Уравнение Эйлера.
2. Уравнение Бернулли. Потенциальное движение жидкости. Уравнение стационарного, потенциального, изоэнтропического движения идеальной жидкости в поле силы тяжести.

#### 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

1. Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости. Замкнутая система уравнений сохранения. Граничные и начальные условия.
2. Вихревое движение вязкой жидкости.

### 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (диалоговое обсуждение пройденного)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P1-P7	*			*	*			*				

### 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (Приложение 1)

### 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

### 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)



## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1.Рекомендуемая литература**

#### **9.1.1.Основная литература**

1. Давыдова, М.А. Лекции по гидродинамике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2011. — 216 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/5264>.
2. Шинкин, В.Н. Механика сплошных сред: Курс лекций. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : МИСИС, 2010. — 235 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2079>.

#### **9.1.2. Дополнительная литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика –М.: Физматлит, 2011.-731 с.
2. Ильющин, А.А. Механика сплошной среды : учебник, Ленанд, Изд. 4-е, 2014.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука. 1970. Т.1. 492 с.; Т.2, 568с.
4. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. М.: ГИТТЛ. 1950. 814 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука. 1970. 736 с.
6. Прандтль Л. Гидроаэродинамика. Пер. с нем.. М.: Изд. иностр. лит., 1953.

### **9.2.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».

### **9.3.Программное обеспечение**

не требуется

### **9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Википедия – свободная энциклопедия: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

2. Зональная библиотека УрФУ: <http://lib.urfu.ru>

### 9.5. Электронные образовательные ресурсы

Портал <http://study.urfu.ru/> (Ресурс №2713, <http://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/2713>).

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Лекции и практические занятия проводятся в аудитории, оснащённой проектором с использованием мобильного компьютера (ноутбука). Аудитория Ф-112 для проведения всех лабораторных работ с установленным оборудованием, включающим экспериментальные установки.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1 к рабочей программе дисциплины

### 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины – 1

6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,6</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение лекций	6 семестр, 12 – 14 учебные недели	50
Коллоквиум	6 семестр, 15 – 16 учебные недели	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0,5</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0,5</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,3</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Выполнение домашней работы	6 семестр, 7 – 18 учебные недели	20
Выполнение контрольной работы	6 семестр, 18 учебная неделя	80

<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям– 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям– не предусмотрена</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям– 0</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0,1</b>		
<b>Текущая аттестация на лабораторных занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Выполнение заданий	6 семестр, 1 – 18 учебные недели	100
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям - 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям– нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям– 0</b>		

**6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта**  
Не предусмотрено

**6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины**  
Не предусмотрено

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**  
**к рабочей программе дисциплины**

**7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ  
НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.*

*В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.*

## **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 БРС**

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.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<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**  
*не предусмотрено*

**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. Изоэнтропическое движение. Плотность потока энтропии. Уравнение Эйлера в форме Громека. Граничные и начальные условия. Уравнение Бернулли. Потенциальное движение жидкости. Уравнение стационарного, потенциального, изоэнтропического 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 по-

- тенциала 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 Фридриха. 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 газовой 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 Лаваля. Истечение газа из резервуара через сужающийся насадок. Критическая скорость. Критическое отношение давлений. Максимальный массовый и объемный 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 косоугольной ударной волны. Предельная строфоида. Изменение скорости за косоугольной ударной волной. Слабые и сильные семейства ударных волн.
  52. Обтекание клина сверхзвуковым потоком. Отсоединённая ударная волна. Звуковой барьер. Удобнообтекаемые 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 «вмороженности» 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.

**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*