

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Экспериментальная аэродинамика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: М.А. Котов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

## **Аннотация**

Курс "Экспериментальная аэродинамика" предусматривает изучение основ современной экспериментальной аэродинамики, описания измерительных устройств и методов расчета и проектирования аэродинамических установок, а также способов определения различных аэродинамических характеристик.

Задачи дисциплины:

- освоение студентами базовых знаний в области прикладной аэродинамики;
- приобретение знаний в областях аэродинамического расчета;
- изучение принципов устройства и работы аэродинамических труб, измерительных приборов и устройств;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области экспериментальной аэродинамики;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов прикладной аэродинамики.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

фундаментальные понятия современной экспериментальной аэродинамики;  
современные проблемы экспериментальной аэродинамики;  
основные методы функционирования газодинамических стенов;  
основные методы экспериментальной регистрации физических величин.

Уметь:

пользоваться методами экспериментального моделирования для решения фундаментальных и прикладных задач в области газодинамики;  
производить оценки погрешностей получаемых результатов;  
делать качественные выводы в изучаемой физической проблеме;  
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности.

Владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
культурой постановки и проведения экспериментального моделирования физических задач;  
навыками грамотной обработки результатов экспериментального моделирования и сопоставления с другими экспериментальными и теоретическими данными;  
практикой экспериментального исследования и решения прикладных задач газодинамики.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Принципы устройства и работы аэродинамических установок
2. Моделирование в аэрофизическом эксперименте
3. Измерительные приборы и устройства
4. Модели ударно-волнового взаимодействия

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

- изучение основ современной экспериментальной аэродинамики, описания измерительных устройств и методов расчета и проектирования аэродинамических установок, а также способов определения различных аэродинамических характеристик.

### **Задачи дисциплины**

- освоение студентами базовых знаний в области прикладной аэродинамики;
- приобретение знаний в областях аэродинамического расчета;
- изучение принципов устройства и работы аэродинамических труб, измерительных приборов и устройств;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области экспериментальной аэродинамики;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов прикладной аэродинамики.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

фундаментальные понятия современной экспериментальной аэродинамики;  
 современные проблемы экспериментальной аэродинамики;  
 основные методы функционирования газодинамических стендов;  
 основные методы экспериментальной регистрации физических величин.

уметь:

пользоваться методами экспериментального моделирования для решения фундаментальных и прикладных задач в области газодинамики;  
 производить оценки погрешностей получаемых результатов;  
 делать качественные выводы в изучаемой физической проблеме;  
 получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
 культурой постановки и проведения экспериментального моделирования физических задач;  
 навыками грамотной обработки результатов экспериментального моделирования и сопоставления с другими экспериментальными и теоретическими данными;  
 практикой экспериментального исследования и решения прикладных задач газодинамики.

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Принципы устройства и работы аэродинамических установок	15			7
2	Моделирование в аэрофизическом эксперименте	15			8
3	Измерительные приборы и устройства	15			7
4	Модели ударно-волнового взаимодействия	15			8
Итого часов		60			30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Принципы устройства и работы аэродинамических установок

История создания и развития установок, основные понятия, классификация аэродинамических труб, основные требования. Трубы дозвуковых скоростей. Незамкнутые/замкнутые аэродинамические трубы. Трубы околосзвуковых скоростей. Установки с низкой турбулентностью и переменной плотностью. Сверхзвуковые аэродинамические трубы. Трубы кратковременного действия, установки адиабатического сжатия, расчет параметров и принцип работы. Импульсные аэродинамические установки. Описание, принципы работы и технические характеристики. Ударные трубы. Устройство, принцип работы, расчет параметров.

##### 2. Моделирование в аэрофизическом эксперименте

Критерии моделирования, условия динамического подобия потоков. Подобие сил давления и сил инерции. Условия подобия сил давления и сил инерции. Подобие сил давления и сил инерции. Условия подобия в несжимаемой/сжимаемой жидкости. Подобие аэродинамических сил и сил упругости. Рассмотрение коэффициентов подобия аэродинамических сил. Тепловое подобие потоков. Рассмотрение теплового подобия потоков. Моделирование при гиперзвуковых скоростях. Сопла сверхзвуковых труб, рабочие части гиперзвуковых аэродинамических установок. Идеальное течение в сверх- и гиперзвуковых трубах. Описание течений и принципов функционирования элементов конструкции установок. Баллистические трассы. Описание течений и принципов функционирования элементов конструкции установок. МГД ускорение потоков воздуха. Описание течений и принципов функционирования элементов конструкции установок.

##### Семестр: 8 (Весенний)

##### 3. Измерительные приборы и устройства

Измерение давления. Манометры. Способы и средства измерения физических величин. Виды манометров, принцип работы. Измерительные приборы и устройства. Измерение Разрежения. Вакуумметры. Виды вакуумметров, принцип работы. Измерение давления в ходе эксперимента. Датчики давления. Типы датчиков, принцип их работы. Применники давления газа. Применники статического и полного давлений. Измерение скорости потока.

Термоанемометры, пленочные датчики, измерение турбулентности и определение направления потока. Приборы для тепловых измерений в аэродинамических трубах.

Способы и средства измерения тепловых величин во время эксперимента. Измерение аэродинамических характеристик. Основные понятия. Внешние аэродинамические весы.

Измерение аэродинамических характеристик. Внутренние аэродинамические весы.

Методы визуальной регистрации газодинамических параметров. Описание оптических методов, средств и приборов измерений. Методы визуальной регистрации газодинамических параметров.

Теневые методы. Методы визуальной регистрации газодинамических параметров.

Интерферометры. Методы визуальной регистрации газодинамических параметров.

Тепловизоры.

#### 4. Модели ударно-волнового взаимодействия

Модели ударно-волнового взаимодействия геометрических примитивов. Особенности течения около модели конуса в сверхзвуковом потоке. Особенности течения около модели клина в сверхзвуковом потоке. Модели ударно-волнового взаимодействия геометрических элементов летательного аппарата. Особенности течения около геометрических моделей элементов перспективных высокоскоростных летательных аппаратов.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Райзер Ю.П. Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков. Долгопрудный: Интеллект, 2011.
2. Краснов Н.Ф. Прикладная аэродинамика. М.: Высшая школа, 1974.
3. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента, 2005.
4. Звегинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия, 2011.

#### Дополнительная литература

1. Васильев Л.А. Теневые методы, 1968.
2. Радциг А.Н. Экспериментальная гидроаэромеханика, Изд-во МАИ, 2004.

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

### 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

не предусмотрены.

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	М.А. Котов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальная аэродинамика» обучающийся должен:

### знать:

фундаментальные понятия современной экспериментальной аэродинамики;  
современные проблемы экспериментальной аэродинамики;  
основные методы функционирования газодинамических стендов;  
основные методы экспериментальной регистрации физических величин.

### уметь:

пользоваться методами экспериментального моделирования для решения фундаментальных и прикладных задач в области газодинамики;  
производить оценки погрешностей получаемых результатов;  
делать качественные выводы в изучаемой физической проблеме;  
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности.

### владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
культурой постановки и проведения экспериментального моделирования физических задач;  
навыками грамотной обработки результатов экспериментального моделирования и сопоставления с другими экспериментальными и теоретическими данными;  
практикой экспериментального исследования и решения прикладных задач газодинамики.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету 7 семестра:

1. Основные сведения из аэродинамики.
2. Основы динамики жидкости и газа.
3. Принципы устройства и работы аэродинамических установок.
4. Классификация аэродинамических труб.
5. Критерии подобия потоков.
6. Трубы дозвуковых скоростей.
7. Трубы околосзвуковых скоростей.
8. Теория скачков уплотнения.



Вопросы к дифференцированному зачету 8 семестра:

1. Сверхзвуковые аэродинамические трубы.
2. Ударные трубы.
3. Методы экспериментальных исследований.
4. Измерительные приборы и устройства.
5. Измерение давления в аэродинамическом эксперименте.
6. Измерение температуры и теплового потока в аэродинамическом эксперименте.
7. Регистрация аэродинамических характеристик.
8. Оптические способы регистрации в аэродинамическом эксперименте.
9. Техника и методы измерения параметров газовых течений.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.