

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Экспериментальная аэродинамика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра аэрофизической механики и управления движением
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: Г.А. Трашков, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедре аэрофизической механики и управления движением 03.03.2023

## Аннотация

Изучение дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистранта, формирование соответствующих компетенций.

В учебной дисциплине рассматриваются основные теоретические понятия, концепции и подходы в области методов экспериментального исследования аэрогазодинамики ракетносителей и возвращаемых аппаратов. Студенты изучают различные прикладные и технологические задачи, связанные с проведением аэрогазодинамических экспериментов, учатся формировать математические постановки для экспериментального моделирования аэрогазодинамических процессов.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по современному состоянию и методам экспериментального исследования аэрогазодинамики ракетносителей и возвращаемых аппаратов.

#### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания по современным моделям и методам экспериментального исследования аэрогазодинамики.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, методы и теории в области экспериментальной аэрогазодинамики;
- современные расчетные и экспериментальные методы, используемые при анализе экспериментальных данных аэрогазодинамики.

уметь:

- решать прикладные и технологические задачи, связанные проведением аэрогазодинамических экспериментов;
- формировать математические постановки для экспериментального моделирования аэрогазодинамических процессов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методики анализа;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками самостоятельной работы;
- навыками критического и конструктивного анализа информации, присутствующей в научных публикациях и в интернете.

#### 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. работа
1	Основы моделирования аэрогазодинамических процессов		4		4
2	Методы моделирования движения летательных аппаратов		4		4
3	Моделирование в аэродинамических трубах (АДТ)		4		4
4	Методы и средства исследований		5		4
5	Моделирование на газодинамических установках		5		4
6	Принципы комплексной экспериментальной отработки аэрогазодинамики летательных аппаратов		4		4
7	Анализ летных экспериментов		4		6
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

###### 1. Основы моделирования аэрогазодинамических процессов

1. Гипотезы и принципы моделирования.
2. Понятие и типы подобия течений.
3. Системы уравнений для натурного объекта и его модели.
4. Безразмерные параметры подобия; их физический смысл.
5. Параметры подобия струйных течений.
6. Дополнительные условия подобия в турбулентных течениях.

7. Безразмерные аэродинамические коэффициенты.
8. Критериальные зависимости.

## 2. Методы моделирования движения летательных аппаратов

1. Моделирование в неподвижной среде.
2. Моделирование в аэродинамических трубах.
3. Методы аналогий.
4. «Вычислительный эксперимент».

## 3. Моделирование в аэродинамических трубах (АДТ)

1. Классификация АДТ.
2. Принципиальные схемы и принципы работы различных типов АДТ.
3. Особенности моделирования в АДТ.

## 4. Методы и средства исследований

1. Методы исследований.
2. Средства исследований.
3. Объекты испытаний.
4. Средства измерений и регистрации.

## 5. Моделирование на газодинамических установках

1. Гипотезы и принципы моделирования.
2. Принципы работы газодинамических установок.
3. Моделирование на газодинамических установках.

## 6. Принципы комплексной экспериментальной отработки аэрогазодинамики летательных аппаратов

1. Методы моделирования движения летательных аппаратов.
2. Комплексная экспериментальная отработка аэрогазодинамики летательных аппаратов.

## 7. Анализ летных экспериментов

1. Принципы проведения лётных экспериментов.
2. Анализ проведённых испытаний.

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

Учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теория и практика аэродинамического эксперимента [Текст] / Е. Л. Бедржицкий, Б. С. Дубов, А. Н. Радциг - М. Изд-во МАИ, 1990

### Дополнительная литература

1. Основы экспериментальной аэродинамики [Текст] : уч. пособие для вузов / Н. А. Закс .— М. : Гос. изд-во оборон. пром-ности, 1953 .— 372 с.
2. Аэродинамика летательных аппаратов [Текст] : учебник для студ. вузов / Н. С. Аржаников, Г. С. Садекова .— М. : Высшая школа, 1983 .— 360 с.

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

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/fluid.htm> Мир Математических Уравнений  
<http://elibrary.ru/defaultx.asp> российский информационно-аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 19 млн научных статей и публикаций  
[www.mathnet.ru/](http://www.mathnet.ru/) Общероссийский математический портал  
<http://www.netlib.org/na-digest-html/> Netlib, a collection of mathematical software, papers, and databases  
<http://www.cfd-online.com/> Ресурс по вычислительной газодинамике CFD Online  
<http://arxiv.org/> Open access to 993,562 e-prints in Physics, Mathematics, Computer Science

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

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

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

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе).

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате опросов по рассмотренным темам и индивидуальных консультаций.

Критерием качества владения материалом служит умение анализировать и применять на практике полученную информацию соответствующего уровня сложности.

На занятиях используются классические технологии, информационные технологии целенаправленно не применяются ввиду первостепенной важности для данного курса освоения аналитической техники при анализе постановок прямых и обратных задач, анализа устойчивости численных методов, корректности постановок, погрешности, вывода систем сопряженных уравнений.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Космические технологии  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
кафедра аэрофизической механики и управления движением  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** Г.А. Трашков, ассистент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальная аэродинамика» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, методы и теории в области экспериментальной аэрогазодинамики;
- современные расчетные и экспериментальные методы, используемые при анализе экспериментальных данных аэрогазодинамики.

### уметь:

- решать прикладные и технологические задачи, связанные проведением аэрогазодинамических экспериментов;
- формировать математические постановки для экспериментального моделирования аэрогазодинамических процессов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методики анализа;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- навыками самостоятельной работы;
- навыками критического и конструктивного анализа информации, присутствующей в научных публикациях и в интернете.

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

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

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

список вопросов к экзаменам:

1. Гипотезы и принципы моделирования.
2. Безразмерные аэродинамические коэффициенты.
3. Принципиальные схемы и принципы работы различных типов АДТ
4. Понятие и типы подобия течений.
5. Особенности моделирования в АДТ.
6. Средства измерений и регистрации в трубном эксперименте.
7. Критериальные зависимости.
8. Принципы комплексной экспериментальной отработки аэрогазодинамики летательных аппаратов.
9. Средства измерений и регистрации в натурном эксперименте.
10. Принципы проведения лётных экспериментов.

Примеры экзаменационных билетов:

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Гипотезы и принципы моделирования.
2. Особенности моделирования в АДТ.
3. Средства измерений и регистрации в трубном эксперименте.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2**

1. Безразмерные аэродинамические коэффициенты.
2. Принципиальные схемы и принципы работы различных типов АДТ
3. Понятие и типы подобия течений.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3**

1. Критериальные зависимости.
2. Принципы комплексной экспериментальной отработки аэрогазодинамики летательных аппаратов.
3. Средства измерений и регистрации в натурном эксперименте.

#### **Критерии оценивания**

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе некоторые неточности;



оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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

Порядок проведения устного экзамена:

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами и любой другой литературой.