

**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>	Практикум по вычислительной аэрофизике
<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

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.К. Алексеев, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедре аэрофизической механики и управления движением 06.04.2020

## 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 численного моделирования течений сплошной среды, разреженных газов, теплопередачи в разрушающихся теплозащитных материалах. Студенты работают с прикладными пакетами и техническими средствами, предназначенными для работы с современными моделями и методами численного исследования течений сплошной среды, разреженных газов, теплопередачи в разрушающихся теплозащитных материалах.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по современному состоянию методов численного моделирования течений сплошной среды, разреженных газов, теплопередачи в разрушающихся теплозащитных материалах.

#### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания и минимальный набор технических средств по современным моделям и методам численного исследования течений сплошной среды, разреженных газов, теплопередачи в разрушающихся теплозащитных материалах.

### 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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, методы и теории численного решения задач аэрофизики и теплофизики;
- современные вычислительные методы в механике сплошных сред, базовый набор прикладных программных средств.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения прикладных и технологических задач;
- формировать физические модели и вычислимые математические постановки для моделируемых физических процессов;
- составлять эффективные и работоспособные численные модели;
- осуществлять верификацию численных методов и валидацию используемых физических моделей;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и вычислительные методики;
- 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;
- навыками постановки и вычислительного моделирования как с помощью доступных программных средств так и с помощью средств собственной разработки.

#### 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	Уравнение теплопроводности		7		3
2	Программа FlexPDE		6		3
3	Численные методы решения уравнений Эйлера		5		3
4	Программное обеспечение для аэродинамических расчетов		3		3
5	Анализ эффективности численных схем		9		3
6	Метод Монте-Карло прямого моделирования течений разреженного газа		6		3
7	Работы на комплексе Bird-2D		5		3
8	Практические занятия по расчету свободномолекулярной аэродинамики с использованием Программного комплекса RuSat.		4		3
9	Программа SMILE		8		3
10	Методы визуализации		7		3
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: 1 (Осенний)

#### 1. Уравнение теплопроводности

Уравнение теплопроводности. Метод трехточечной прогонки. Интегро-интерполяционный метод. Конечно-элементные методы.

#### 2. Программа FlexPDE

Принципы работы в программе FlexPDE.

#### 3. Численные методы решения уравнений Эйлера

Уравнение Дарси. Численные методы решения уравнений Эйлера, TVD, ENO, WENO.

#### 4. Программное обеспечение для аэродинамических расчетов

Обзор программного обеспечения для аэродинамических расчетов.

#### 5. Анализ эффективности численных схем

Вводный курс (Linux, Aeroshape) (2-3 занятия)

Работы на комплексе FlowVision

### Семестр: 2 (Весенний)

#### 6. Метод Монте-Карло прямого моделирования течений разреженного газа

Обзор метода Монте-Карло, используемого для прямого моделирования течений разреженного газа.

#### 7. Работы на комплексе Bird-2D

Обзор комплекса Bird-2D. Работа с программным комплексом.

#### 8. Практические занятия по расчету свободномолекулярной аэродинамики с использованием Программного комплекса RuSat.

Программный комплекс RuSat. Возможности, методы расчета, подготовка исходных данных для расчета, запуск задач, просмотр результатов. Практические занятия по расчету свободномолекулярной аэродинамики с использованием Программного комплекса RuSat.

#### 9. Программа SMILE

Программа SMILE. Подготовка исходных данных для расчета, запуск задач, просмотр результатов. Практические занятия по расчету обтекания тел в переходном режиме с использованием программы SMILE.

#### 10. Методы визуализации

Методы визуализации задач вычислительной аэрофизики.

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

необходимое оборудование для практических занятий: учебная аудитория, персональные компьютеры.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Теория разностных схем [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский .— 3-е изд., испр. — М. : Наука, 1989 .— 612 с.
1. Toro E. F., Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics, Berlin: Springer Verlag, 2006

### Дополнительная литература

1. Press W. H., Flannery B. P., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Numerical Recipes in Fortran 77: The Art of scientific computing, Cambridge Univ. Press, 1992

## **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://www.openfoam.com/> Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox  
<http://www.pdesolutions.com/> FlexPDE – программа, предназначенная для построения моделей решения дифференциальных уравнений методом конечных элементов  
[www.tecplot.com/](http://www.tecplot.com/) графический постпроцессор для задач вычислительной аэрогазодинамики  
<http://geuz.org/gmsh/> FE бесплатный сеточный генератор (включает tetrahedra, prisms, hexahedra and pyramids)

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система);  
пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.  
программа FlexPDE, Bird-2D, программный комплекс RuSat, программа SMILE.

## **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 семинаров, учебной и научной литературе);

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате опросов на занятиях и индивидуальных консультаций.

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<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>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** А.К. Алексеев, д-р физ.-мат. наук, доцент

## 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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Практикум по вычислительной аэрофизике» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, методы и теории численного решения задач аэрофизики и теплофизики;
- современные вычислительные методы в механике сплошных сред, базовый набор прикладных программных средств.

### уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения прикладных и технологических задач;
- формировать физические модели и вычисляемые математические постановки для моделируемых физических процессов;
- составлять эффективные и работоспособные численные модели;
- осуществлять верификацию численных методов и валидацию используемых физических моделей;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и вычислительные методики;
- 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;
- навыками постановки и вычислительного моделирования как с помощью доступных программных средств так и с помощью средств собственной разработки.

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

Текущий контроль осуществляется в форме устного опроса на занятиях.

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

Аттестация по дисциплине «Практикум по вычислительной аэрофизике» осуществляется в форме дифференцированного зачета в 9 семестре и в форме дифференцированного зачета в 10 семестре.

Примеры вопросов к зачёту:

1. Уравнение теплопроводности
2. Метод трехточечной прогонки
3. Интегро-интерполяционный метод. Конечно-элементные методы.
4. Программа FlexPDE
5. Численные методы решения уравнений Эйлера
6. Уравнение Дарси
7. Программное обеспечение для аэродинамических расчетов
8. Анализ эффективности численных схем

Примеры билетов для дифференцированного зачета:

БИЛЕТ № 1

1. Уравнение теплопроводности.
2. Программа FlexPDE
3. Комплекс Bird-2D

БИЛЕТ № 2

1. Метод трехточечной прогонки
2. Метод Монте-Карло прямого моделирования течений разреженного газа.
3. Методы визуализации

БИЛЕТ № 3

1. Численные методы решения уравнений Эйлера
2. Программа SMILE.
3. Конечно-элементные методы.

### **Критерии оценивания**

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

оценка «не зачтено» 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.

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 зачета:

Зачет ставится по результатам успешного ответа на вопросы зачета.

При проведении устного дифференцированного зачёта обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачёте не должен превышать двух астрономических часов.

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

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

По завершении отведенного на опрос времени, экзаменатор должен выставить обучающемуся оценку в соответствии с вышеприведенными критериями.