

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор института-заместитель  
директора ФАКТ**

**М.А. Кудров**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Математические вопросы дискретизации пространства при компьютерном моделировании сложных пространственных течений
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра компьютерного моделирования
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.В. Лысенков, канд. техн. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры компьютерного моделирования 05.04.2023

## Аннотация

После изучения дисциплины "Математические вопросы дискретизации пространства при компьютерном моделировании сложных пространственных течений" у студента будут сформированы знания о процессе проведения вычислительного эксперимента, о физико-математической постановке для задач вычислительной аэродинамики, о понятии точности вычислительной методологии. Студент научится применять методы построения и анализа качества структурированных и неструктурированных расчетных сеток для задач вычислительной аэродинамики, которые опираются на знания математического анализа, теории функций комплексных переменных, методов решения дифференциальных уравнений.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- знакомство студентов с различными методами построения и адаптации расчетных сеток для задач вычислительной аэродинамики, рассмотрение вопросов влияния типов расчетных сеток на точность проведения вычислительного эксперимента, обучение их практическим навыкам реализации методов в программном коде. Рассматриваемые методы позволяют гарантировать качество построенной расчетной сетки.

#### Задачи дисциплины

- формирование у студентов знаний о процессе проведения вычислительного эксперимента, о физико-математической постановке для задач вычислительной аэродинамики, о понятии точности вычислительной методологии;
- обучение студентов методам построения и анализа качества структурированных и неструктурированных расчетных сеток для задач вычислительной аэродинамики, которые опираются на знания математического анализа, теории функций комплексных переменных, методов решения дифференциальных уравнений;
- приобретение студентами практических навыков написания программ построения структурированных расчетных сеток с использованием языка программирования C, C++.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок

исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре)	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- понятие вычислительного эксперимента и его этапы;
- область применения методов вычислительной аэродинамики;
- типы расчетных сеток и области их применения;
- различные методы построения одномерных, двумерных и трехмерных расчетных сеток;
- методы оценки качества расчетных сеток;
- методы адаптации расчетных сеток;
- методику определения влияния расчетной сетки на результаты вычислительного эксперимента.

уметь:

- точно сформулировать физико-математическую постановку для задач вычислительной аэродинамики;
- сформулировать требования к расчетной сетке для поставленной задачи;
- реализовать методы построения расчетной сетки в виде компьютерной программы;
- оценить качество построенной расчетной сетки.

владеть:

- методами построения одномерных, двумерных и трехмерных расчетных сеток;
- навыками построения расчетной сетки;
- методами адаптации структурированных расчетных сеток;
- методикой оценки качества расчетных сеток.

### 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	Введение. Понятие вычислительного эксперимента (ВЭ). Основные этапы. Спектр задач.	2			1
2	Физико-математическая постановка задач аэродинамики. Примеры математической постановки задач. Начальные и граничные условия.	2			1
3	Типы расчетных сеток. Неструктурированные расчетные сетки. Многоблочные структурированные расчетные сетки. Расчетные сетки для расчета пограничных слоев. Гибридные сетки. Химера.	2			1

4	Методы построения расчетных сеток. Метод конформного отображения.	2			1
5	Метод сечений. Метод построения поверхностей Кунса.	2			1
6	Метод многих поверхностей.	2			1
7	Метод трансфинитной интерполяции.	2			1
8	Практические занятия по написанию программ построения расчетных сеток.	2			1
9	Методика проверки качества расчетной сетки. Скошенность, вытянутость и коэффициент роста ячеек расчетной сетки.	4			1
10	Практическое занятие по написанию программы проверки качества расчетной сетки.	4			2
11	Адаптация расчетных сеток. Адаптивные и адаптированные расчетные сетки. Методы адаптации.	4			2
12	Практическое занятие. Влияние расчетной сетки на результаты расчетов.	2			2
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Введение. Понятие вычислительного эксперимента (ВЭ). Основные этапы. Спектр задач.

Введение. Понятие вычислительного эксперимента (ВЭ). Основные этапы. Спектр задач. Место курса в системе обучения. Цели и задачи курса. Предмет курса. Понятие вычислительного эксперимента. Области применения методов вычислительной аэродинамики. Этапы вычислительного эксперимента. Распространенные инструменты для решения задач вычислительного эксперимента.

##### 2. Физико-математическая постановка задач аэродинамики. Примеры математической постановки задач. Начальные и граничные условия.

Физико-математическая постановка задач аэродинамики. Примеры математической постановки задач. Начальные и граничные условия. Понятие физико-математической постановки задачи. Составные части физико-математической постановки задачи. Примеры современных задач вычислительной аэродинамики. Методы корректной математической постановки задачи. Влияние математической постановки задачи на точность решаемой задачи.

##### 3. Типы расчетных сеток. Неструктурированные расчетные сетки. Многоблочные структурированные расчетные сетки. Расчетные сетки для расчета пограничных слоев. Гибридные сетки. Химера.

Типы расчетных сеток. Неструктурированные расчетные сетки. Многоблочные структурированные расчетные сетки. Расчетные сетки для расчета пограничных слоев. Гибридные сетки. Химера. Типы расчетных сеток. Определения структурированной, неструктурированной и гибридной расчетных сеток. Положительные и отрицательные свойства типов расчетных сеток. Выбор типа расчетной сетки для конкретной задачи. Специальные расчетные сетки. Расчетные сетки типа химера.

#### 4. Методы построения расчетных сеток. Метод конформного отображения.

Метод конформного отображения. Типы методов построения расчетных сеток. Метод конформного отображения. Преимущества и недостатки. Область применения. Особенности применения. Примеры использования.

#### 5. Метод сечений. Метод построения поверхностей Кунса.

Метод сечений. Метод сечений. Преимущества и недостатки. Область применения. Особенности применения. Примеры использования.

#### 6. Метод многих поверхностей.

Метод построения поверхностей Кунса. Метод построения поверхностей Кунса. Преимущества и недостатки. Область применения. Особенности применения. Примеры использования.

#### 7. Метод трансфинитной интерполяции.

Метод многих поверхностей. Метод многих поверхностей. Преимущества и недостатки. Область применения. Особенности применения. Примеры использования.

#### 8. Практические занятия по написанию программ построения расчетных сеток.

Практические занятия по написанию программ построения расчетных сеток. Написание программ на языке C, C++ по построению двумерной расчетной сетки различными методами. Сравнение результатов работы различных методов.

#### 9. Методика проверки качества расчетной сетки. Скошенность, вытянутость и коэффициент роста ячеек расчетной сетки.

Методика проверки качества расчетной сетки. Скошенность, вытянутость и коэффициент роста ячеек расчетной сетки. Определение скошенности, вытянутости и коэффициента роста ячеек расчетной сетки. Методы их количественной оценки. Взвешенная оценка качества расчетной сетки.

#### 10. Практическое занятие по написанию программы проверки качества расчетной сетки.

Адаптация расчетных сеток. Адаптивные и адаптированные расчетные сетки. Методы адаптации.

#### 11. Адаптация расчетных сеток. Адаптивные и адаптированные расчетные сетки. Методы адаптации.

Влияние расчетной сетки на результаты расчетов. Написание программ на языке C, C++ по адаптации расчетной сетки. Определение влияния адаптации расчетной сетки на точность расчета.

#### 12. Практическое занятие. Влияние расчетной сетки на результаты расчетов.

Влияние расчетной сетки на результаты расчетов.

## **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. Теория разностных схем [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский .— 3-е изд., испр. — М. : Наука, 1989 .— 612 с.
2. Задачи и упражнения по численным методам [Текст] / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич, Е. А. Самарская ; Рос. акад. наук, Ин-т матем. моделирования, Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова - М.Эдиториал УРСС,2003

### Дополнительная литература

1. Методы решения сеточных уравнений [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский, Е. С. Николаев .— М. : Наука, 1978 .— 592 с.

## **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)**

используется мультимедийная доска.

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

Студент, изучающий дисциплину "Математические вопросы дискретизации пространства при компьютерном моделировании сложных пространственных течений", 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, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра компьютерного моделирования
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	А.В. Лысенков, канд. техн. наук, доцент, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре)	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математические вопросы дискретизации пространства при компьютерном моделировании сложных пространственных течений» обучающийся должен:

### знать:

- понятие вычислительного эксперимента и его этапы;
- область применения методов вычислительной аэродинамики;
- типы расчетных сеток и области их применения;
- различные методы построения одномерных, двумерных и трехмерных расчетных сеток;
- методы оценки качества расчетных сеток;
- методы адаптации расчетных сеток;
- методику определения влияния расчетной сетки на результаты вычислительного эксперимента.

### уметь:

- точно сформулировать физико-математическую постановку для задач вычислительной аэродинамики;
- сформулировать требования к расчетной сетке для поставленной задачи;
- реализовать методы построения расчетной сетки в виде компьютерной программы;
- оценить качество построенной расчетной сетки.

### владеть:



- методами построения одномерных, двумерных и трехмерных расчетных сеток;
- навыками построения расчетной сетки;
- методами адаптации структурированных расчетных сеток;
- методикой оценки качества расчетных сеток.

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

1. Метод сечений.
2. Метод построения поверхностей Кунса.
3. Метод многих поверхностей.
4. Метод трансфинитной интерполяции.
5. Методика проверки качества расчетной сетки.
6. Скошенность, вытянутость и коэффициент роста ячеек расчетной сетки.
7. Адаптация расчетных сеток.
8. Методы адаптации расчетных сеток.
9. Метод конформного отображения.
10. Адаптивные и адаптированные расчетные сетки..

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

1. Понятие вычислительного эксперимента (ВЭ).
2. Спектр задач ВЭ.
3. Физико-математическая постановка задач аэродинамики.
4. Примеры математической постановки задач.
5. Начальные и граничные условия.
6. Типы расчетных сеток.
7. Многоблочные структурированные расчетные сетки.
8. Расчетные сетки для расчета пограничных слоев. Гибридные сетки.
9. Химера.
10. Неструктурированные расчетные сетки.

Билет 1

Опишите суть постановки задачи аэродинамики

Билет 2

Приведите примеры математической постановки задач

#### **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 балла - 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 балла - 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 балла - 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 балл - 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**

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.