

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Математические модели в вычислительной физике
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математического моделирования и прикладной математики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 135 всего, в том числе:

лекции: 90 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Всего часов: 270, всего зач. ед.: 6

Программу составил: Б.Н. Четверушкин, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры математического моделирования и прикладной математики
02.04.2024

Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые вопросы, связанные с применением методов математического моделирования и вычислительной физики для решения задач механики сплошной среды. В рамках курса основное внимание будет уделено основным вопросам математического моделирования как средства получения нового знания, способам построению математических моделей механики сплошной среды, вопросам численного решения соответствующих начально-краевых задач для уравнений в частных производных, составляющих математические модели механики сплошной среды. Значительное внимание будет уделено непосредственно «вычислительной физике» дисциплине на стыке механики сплошной среды, вычислительных алгоритмов и вопрос эффективного решения задач с применением современных суперкомпьютеров.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- Изучение основ теории и методов оптимального управления.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области математического моделирования и вычислительной математики для решения задач механики сплошных сред;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных исследований по тематике курса;
- приобретение навыков по постановке и исследованию прикладных задач.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, методы, математического моделирования в механике сплошной среды;
- основные классы моделей механики сплошной среды;
- основные понятия вычислительной математики и численных методов, основные классы вычислительных алгоритмов и способы их построения;
- основные свойства соответствующих математических объектов, типовые классы моделей, описывающихся параболическими, гиперболическими, эллиптическими уравнениями.

уметь:

- понять поставленную задачу, идентифицировать ее контекст и обоснованно выделять направления ее решения;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач моделирования в механике сплошной среды;
- оценивать корректность постановок задач;
- самостоятельно ориентироваться в необходимых классах вычислительных алгоритмов, идентифицировать и обосновывать выбор целевого алгоритма;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области математического моделирования в механике сплошной среды в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач моделирования в механике сплошной среды;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов;
- предметным механики сплошной среды, навыками грамотного описания решения задач , анализа и представления полученных результатов.

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	Математическое моделирование как дисциплина.	20	10		30
2	Способы построения математических моделей в механике сплошной среды.	20	10		30
3	Модели механики сплошной среды	20	10		30
4	Фундаментальные свойства моделей как математических систем уравнений.	10	5		15
5	Основные классы методов решения гиперболических, эллиптических и параболических задач.	10	5		15
6	Программы и (супер)компьютеры.	10	5		15
Итого часов		90	45		135
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		270 час., 6 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Математическое моделирование как дисциплина.

Физический объект исследования, математическая модель, вычислительный алгоритм, программа. Критерии выбора и обоснования моделей. Критерии качества моделей.

2. Способы построения математических моделей в механике сплошной среды.

«Кинетический» и «феноменологический» подходы. Основные понятия рациональной термомеханики сплошной среды. Законы сохранения, балансовые уравнения. Энтропийное неравенство. Определяющие соотношения и способы их построения. Процедура Колмана-Нолла. Критерии корректности математических моделей.

3. Модели механики сплошной среды

Вязкий сжимаемый теплопроводный газ или жидкость. Несжимаемая гидродинамика. Уравнения теории упругости и термоупругости. Постановки краевых задач. Свойства соответствующих систем уравнений в частных производных. Модели типа диффузной границы.

Семестр: 2 (Весенний)

4. Фундаментальные свойства моделей как математических систем уравнений.

Гиперболические, параболические и эллиптические уравнения и системы уравнений. Их характеристические свойства. Связь между характером протекания физического процесса и свойствами описывающих его уравнений.

5. Основные классы методов решения гиперболических, эллиптических и параболических задач.

Абстрактный численный метод и его основные свойства. Аппроксимация, устойчивость и сходимость. Методы конечных объемов, конечных элементов. Консервативность и когда она необходима. Алгоритмические аспекты методов.

6. Программы и (супер)компьютеры.

Архитектуры современных вычислительных комплексов. Зачем нужны суперкомпьютеры? Связь между архитектурой вычислительного комплекса, алгоритмами и моделью. Предсказательное моделирование.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном, доской.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в вычислительную физику [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Р. П. Федоренко ; под ред. А. И. Лобанова. — 2-е изд., испр. и доп. — Долгопрудный : Интеллект, 2008. — 504 с.
2. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред [Текст] = A First Course in Rational Continuum Mechanics, монография/К. Трусделл, -М., Мир, 1975

3. Вычислительные процессы и системы [Текст]. Вып. 8/под ред. Г. И. Марчука, -М., Наука, 1991
1. Галанин М. П., Савенков Е. Б. Методы численного анализа математических моделей / Галанин М. П., Савенков Е. Б. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 590

Дополнительная литература

1. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений [Текст] / А. Г. Куликовский, Н. В. Погорелов, А. Ю. Семенов, -М., ФИЗМАТЛИТ, 2012
1. Марчук Г.И., Агошков В.И. Введение в проекционно-сеточные методы - : Наука, 1981

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

Журналы по математическому моделированию (Математическое моделирование, Квантовая электроника, ЖТФ, Письма в ЖТФ, Physica Status Solidi b, Physical Review B и др.), доступные через Internet научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>, <http://www.sciencemag.org/> электронные конспекты лекций.

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

Необходимое программное обеспечение Power Station 4.0, MATLAB.

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, понятия, аксиомы, методы доказательств.

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;
- выполнение лабораторных работ, для осознания связей между теорией и практическими навыками.
- подготовку к дифференцированным зачетам.

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 лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математического моделирования и прикладной математики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Б.Н. Четверушкин, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математические модели в вычислительной физике» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, методы, математического моделирования в механике сплошной среды;
- основные классы моделей механики сплошной среды;
- основные понятия вычислительной математики и численных методов, основные классы вычислительных алгоритмов и способы их построения;
- основные свойства соответствующих математических объектов, типовые классы моделей, описывающихся параболическими, гиперболическими, эллиптическими уравнениями.

уметь:

- понять поставленную задачу, идентифицировать ее контекст и обоснованно выделять направления ее решения;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач моделирования в механике сплошной среды;
- оценивать корректность постановок задач;
- самостоятельно ориентироваться в необходимых классах вычислительных алгоритмов, идентифицировать и обосновывать выбор целевого алгоритма;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области математического моделирования в механике сплошной среды в устной и письменной форме.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач моделирования в механике сплошной среды;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов;
- предметным механики сплошной среды, навыками грамотного описания решения задач , анализа и представления полученных результатов.

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 в 9 семестре

1. Эллиптические системы уравнений и описываемые ими математические модели.
2. Параболические системы уравнений и описываемые ими математические модели.
3. Гиперболические системы уравнений и описываемые ими математические модели.
4. Абстрактный вычислительный алгоритм. Его свойства. Сходимость. Устойчивость. Аппроксимация.
5. Основные способы построения разностных схем. Разностные методы. Проекционные и проекционно-сеточные методы.
6. Метод конечных объемов. Применение для эллиптических уравнений.
7. Метод конечных объемов. Применение для параболических уравнений.
8. Метод конечных объемов. Применение для гиперболических уравнений.
9. Проекционно-сеточные методы. Метод конечных элементов для эллиптических и параболических задач.
10. Проекционно-сеточные методы. Метод конечных элементов для гиперболических задач.

Вопросы в 10 семестре

1. Какие численные методы используются для решения дифференциальных уравнений в вычислительной физике?
2. Как строятся математические модели для описания физических процессов в различных областях физики (например, механики, электродинамики, квантовой физики) с целью их численного анализа?
3. Какие методы конечных разностей и конечных элементов применяются для моделирования поведения материалов и структур в вычислительной физике?
4. Какие алгоритмы параллельных вычислений используются для эффективной реализации математических моделей в вычислительной физике?
5. Какие методы оптимизации применяются для настройки параметров математических моделей в вычислительной физике с целью улучшения точности и скорости вычислений?
6. Какие математические методы используются для моделирования течения жидкостей, газов и плазмы в вычислительной физике?
7. Какие численные методы применяются для решения задач теплопроводности и теплопереноса в математических моделях в вычислительной физике?
8. Какие методы анализа данных и статистики используются для интерпретации результатов численных моделей в вычислительной физике?

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.