

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ НА
НЕОРТОГОНАЛЬНЫХ СЕТКАХ**

Направление подготовки
(специальность)

[1] 01.04.02 Прикладная математика и
информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	3	108	16	16	0	40	0	Э
Итого	3	108	16	16	0	40	0	

АННОТАЦИЯ

Курс является логическим продолжением курса «Численные методы», читаемого студентам бакалавриата кафедры «Прикладная математика» НИЯУ МИФИ, и во многом обобщает результаты, полученные в рамках указанного курса. Рассматривается применение аппарата математического моделирования для решения прикладных задач, связанных с описанием реальных физических процессов. Освещаются классические и современные методы построения сеточных аппроксимаций дифференциальных моделей со сложной геометрией. Большое внимание уделено применению метода конечных объемов на индексных и нерегулярных сетках. Подробно рассматривается метод динамической адаптации для численного решения нелинейных задач на сетках малой размерности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются освоение основных идей численных методов основанных на применении неортогональных сеток при решении важных прикладных задач и использование данной методики как готового инструмента практической работы при проектировании и разработке систем матобеспечения, математической обработке данных технических, экономических и других задач, построении алгоритмов и организации вычислительных процессов на ЭВМ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с материалами следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: численные методы, уравнения математической физики, линейная алгебра, математический анализ.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам численных методов, практикума на ЭВМ, римановой геометрии и тензорного анализа. Необходимо уметь работать с матрицами, решать дифференциальные и интегральные уравнения, знать дифференциальное и интегральное исчисление, владеть различными высокоуровневыми языками программирования.

Полученные в результате освоения данной дисциплины навыки и знания используются, при подготовке дипломных проектов, при проведении научно-поисковых исследований.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	3-ОПК-1 [1] – Знать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики, методы математического моделирования. У-ОПК-1 [1] – Уметь использовать методы математического моделирования для решения задач

	<p>фундаментальной и прикладной математики. В-ОПК-1 [1] – Владеть методами математического моделирования и основами их использования</p>
<p>ОПК-2 [1] – Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач</p>	<p>З-ОПК-2 [1] – Знать основные понятия, математические методы решения прикладных задач, принципы математического моделирования и методы верификации. У-ОПК-2 [1] – Уметь применять полученную теоретическую базу для решения практических задач В-ОПК-2 [1] – Владеть основными математическими методами решения прикладных задач</p>
<p>ОПК-3 [1] – Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности</p>	<p>З-ОПК-3 [1] – Знать основные методы и принципы математического моделирования, методы построения математических моделей типовых профессиональных задач, способы нахождения решений математических моделей и содержательной интерпретации полученных результатов. У-ОПК-3 [1] – Уметь составлять математические модели типовых профессиональных задач, находить способы их решения и профессионально интерпретировать смысл полученного результата. В-ОПК-3 [1] – Владеть методами построения математических моделей типовых профессиональных задач, способами нахождения решений математических моделей и содержательной интерпретации полученных результатов</p>

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
<p>построение математических моделей и исследование их аналитическими методами, разработка алгоритмов, методов, программного обеспечения, инструментальных средств по тематике проводимых научно-исследовательских</p>	<p>математическое моделирование; математическая физика; обратные и некорректно поставленные задачи, численные методы; теория вероятностей и математическая статистика; дискретная математика;</p>	<p>ПК-1 [1] - способен проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001,</p>	<p>З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования. ;</p>

<p>проектов; исследование систем методами математического прогнозирования и системного анализа</p>	<p>нелинейная динамика; математические модели сложных систем (теория, алгоритмы, приложения); программная инженерия; прикладные интернет- технологии; системное и прикладное программное обеспечение; информационные системы и их исследование методами математического прогнозирования и системного анализа; математическое и информационное обеспечение экономической деятельности; математические методы и программное обеспечение защиты информации; математическое и программное обеспечение компьютерных сетей; алгоритмы, библиотеки и пакеты программ, продукты системного и прикладного программного обеспечения; системное и прикладное программное обеспечение</p>	<p>06.017</p>	<p>У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи; оценивать результаты исследований; формулировать результаты проведенного исследования в виде конкретных рекомендаций, проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива. ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических средств научных исследований, методами анализа и синтеза научной информации.</p>
--	--	---------------	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>1 Семестр</i>							
1	Раздел 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	Раздел 2	9-16	8/8/0		25	КИ-16	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1,

							3- ОПК- 2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3- ОПК- 3, У- ОПК- 3, В- ОПК- 3, 3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК- 2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3- ОПК- 3, У- ОПК- 3, В- ОПК- 3, 3,

							З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
--	--	--	--	--	--	--	------------------------------

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	16	0
1-8	Раздел 1	8	8	0
1 - 2	Тема 1. Основные понятия теории разностных схем Дискретизация дифференциальных уравнений. Определения аппроксимации, устойчивости и точности разностных схем и теорема об их взаимосвязи. Методы построения разностных схем: метод конечных разностей, интегро-интерполяционный метод, проекционно-сеточные методы. Методы исследования устойчивости разностных схем. Метод рядов Фурье, метод энергетических неравенств, принцип максимума, спектральный метод. Пределы детализации и формулировка моделей сплошных сред. Методы повышения устойчивости явных схем для параболических уравнений. Уравнения газовой динамики. Лагранжевы и эйлеровы переменные.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	Тема 2. Методы численного решения одномерных уравнений диффузии Уравнение теплопроводности с нелинейной зависимостью коэффициента теплопроводности и источников тепла от температуры. Постановки задач с краевыми условиями. Аппроксимация уравнения теплопроводности на неравномерных пространственных сетках. Итерационные реализации метода прогонки для решения нелинейных систем сеточных уравнений теплопроводности. Постановка разностной задачи о формировании неподвижных фронтов для одномерной квазилинейной	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

	задачи теплопроводности с однородными граничными условиями.			
6 - 8	Тема 3. Теоретические основы метода конечных элементов Метод конечных элементов. Метод взвешенных невязок Метод Бубнова-Галеркина. Обобщенные решения и слабая постановка задачи. Аппроксимация и сходимость метода Бубнова-Галеркина Вариационно-сеточные методы. Метод Ритца, метод наименьших квадратов. Метод конечных элементов. Двумерное уравнение Пуассона, линейная задача теории упругости. Разрывный метод Галеркина. Решение нестационарной задачи конвекции-диффузии.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Раздел 2	8	8	0
9 - 11	Тема 4. Метод конечных объемов для численного решения многомерных задач Постановка двумерной и трехмерной задач теплопроводности. Начальные условия. Краевые условия. Условия на контактных границах в сложных областях. Метод конечных объемов на индексных сетках. Конечно-объемная аппроксимация двумерного уравнения теплопроводности на четырехугольных сетках. Конечно-объемная аппроксимация трехмерных задач газовой динамики на индексных сетках.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	Тема 5. Метод конечных объемов для стационарной задачи конвекции-диффузии Операторные формы записи стационарных уравнений конвекции диффузии. Свойства операторов диффузионного и конвективного переноса в консервативной, неконсервативной и симметричных формах. Метод конечных объемов для стационарной задачи конвекции диффузии на треугольных сетках. Многоугольники Вороного, триангуляция Делоне, сеточные операторы переноса, их свойства и связь между ними. Условия монотонности схем вида $C_{\{1,2\}} u + Du=f(x)$. Построение безусловно монотонных схем для стационарной задачи конвекции-диффузии.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	Тема 6. Метод динамической адаптации для гиперболических уравнений Тема 6. Метод динамической адаптации для гиперболических уравнений Уравнения газовой динамики. Эйлеровы и лагранжевы переменные. Запись уравнений газовой динамики в произвольной нестационарной системе координат. Выбор функции преобразования. Принцип квазистационарности. Соотношения на разрывах и граничные условия. Построение разностной схемы для задачи газовой динамики в нестационарной системе координат.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Расчет ударных волн без явного выделения разрыва. Расчет ударных волн с явным выделением разрыва.			
16	Тема 7. Метод динамической адаптации для параболических уравнений Запись дифференциальных моделей в подвижных системах координат. Принцип квазистационарности. Начальные и граничные условия в подвижных системах координат. Применение принципа квазистационарности для нелинейной задачи теплопроводности. Задача о формировании неподвижных фронтов. Задача о распространении тепловых волн. Динамическая адаптация в нелинейных уравнениях конвекции-диффузии. Уравнение Бакли — Леверетта. Уравнение Бюргерса.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
	Численное решение стационарной задачи конвекции диффузии Реализовать алгоритм численного решения тестовой задачи с использованием условно монотонной схемы второго порядка, безусловно монотонной схемы первого порядка и схемы второго порядка с монотонизатором.
	Численное решение задачи теплопроводности на индексной сетке Реализовать алгоритм численного решения тестовой задачи с использованием схемы с контрольными объемами и схемы с кусочно-линейной реконструкцией.
	Численное решение одномерных задач на подвижных сетках Реализовать алгоритм численного решения двух тестовых задач (на выбор: задача для уравнения Хопфа, уравнения нелинейной теплопроводности, задача Стефана, задача для уравнения Бакли-Леверетта, Бюргерса).

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции и семинары проводятся в традиционной форме. При выполнении домашнего задания студенты широко используют компьютерные технологии. Часть занятий, в частности получение ряда важных постановок задач, проведения математических выкладок и анализа результатов проводится в интерактивной форме дискуссии и предполагает активное участие студентов в освоении материала. Обязательным требованием является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
ОПК-2	З-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
ОПК-3	З-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в

			ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 90 Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2012
2. ЭИ Б 30 Численные методы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 519 Ч-67 Численные методы Кн.1 Численный анализ, Москва: Академия, 2013
2. 519 Ч-67 Численные методы Кн.2 Методы математической физики, Москва: Академия, 2013
3. 519 Ч-67 Численные методы решения уравнений с частными производными Ч.1 Разностные схемы для решения уравнения конвективного переноса (одномерное уравнение), С. А. Губин [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Проведение лекционных и практических занятий

В рамках курса предусмотрено проведение лекционных и практических занятий. Лекционные и практические занятия проводятся с применением современных образовательных технологий. Используя прослушанный на лекциях материал, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

Большая часть лекционных и практических занятий проводится в интерактивной форме с привлечением мультимедийных технологий. В рамках занятий проводится активное обсуждение и анализ современных научных работ, вопросов и затруднений возникающих в процессе подготовки заданий.

На каждом занятии отмечается посещаемость студентов.

При изучении курса студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой дисциплины, взять в библиотеке рекомендованную литературу.

2. Организация контроля успеваемости студентов

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использованием фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

При проведении текущего контроля успеваемости по дисциплине используются

- Лабораторные работы

Рубежный контроль проводится на 8 и 16 (на 1 семестре) неделе. Промежуточный контроль выставляется на основе экзамена.

Для допуска к экзамену необходимо закрыть на положительную оценку все предложенные в рамках текущего контроля задания.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Проведение лекционных и практических занятий

В рамках курса предусмотрено проведение лекционных и практических занятий. Лекционные и практические занятия проводятся с применением современных образовательных технологий. Используя прослушанный на лекциях материал, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

Практика показала, что для наиболее эффективного усвоения студентами материала данной дисциплины необходимо использовать интерактивные формы проведения занятий с привлечением мультимедийных технологий. В рамках занятий следует проводить активное обсуждение и анализ современных научных работ, проводить групповой поиск ответов на вопросы возникающие у студентов при подготовке заданий и во время лекционных занятий. Основной упор на лекционных занятиях должен делаться на понимание излагаемого материала и умение его использовать при выполнении заданий.

На каждом занятии следует отмечать посещаемость студентов. Рекомендуется не допускать студентов до сдачи контрольных мероприятий регулярно пропускающих занятия.

На первом занятии необходимо ознакомить студентов с программой дисциплины, а также предложить литературу, которая потребуется для успешного освоения материала.

2. Организация контроля успеваемости студентов

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использованием фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

При проведении текущего контроля успеваемости по дисциплине используются

- Лабораторные работы

Рубежный контроль проводится на 8 и 16 (на 1 семестре) неделе. Промежуточный контроль выставляется на основе экзамена.

Для допуска к экзамену необходимо закрыть на положительную оценку все предложенные в рамках текущего контроля задания.

Автор(ы):

Шильников Кирилл Евгеньевич