

**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:	Практикум по математическому моделированию
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.А. Данилов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике 02.06.2020

Аннотация

В ходе практикума студенты самостоятельно программируют численные методы решения уравнений диффузии и нестационарных уравнений конвекции-диффузии. Обсуждаются алгоритмы дискретизации по времени и пространству, методы исследования сходимости и численного интегрирования.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Цель курса - освоение студентами фундаментальных знаний в области математического моделирования, изучение современных методов решения линейных и нелинейных систем уравнений, технологий построения расчетных сеток, методов дискретизации краевых задач, а также областей их практического применения.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области вычислительных технологий и математического моделирования как дисциплин, обеспечивающих технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов современным методам решения больших систем, технологиям построения расчетных сеток, методам дискретизации краевых задач, и ознакомление с их приложениями;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами по математическому моделированию в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области информатики и вычислительной техники, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области информатики и вычислительной техники и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
 современные проблемы вычислительной математики;
 современные тренды в развитии вычислительных технологий;
 постановку проблем моделирования физических процессов;
 о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
 представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
 работать на современном компьютерном оборудовании;
 абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
 пользоваться справочной литературой научного и прикладного характера для быстрого поиска необходимых математических и физических данных и понятий.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов численного эксперимента;
 научной картиной мира;
 навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном компьютерном оборудовании;
 навыками освоения большого объема информации;
 культурой постановки и моделирования физических задач.

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	Формулировка задач и расчетные сетки. Метод конечных разностей для уравнения диффузии. Метод конечных элементов для уравнения диффузии.		8		4
2	Метод конечных объемов для уравнения диффузии. Проверка сходимости численного метода на аналитическом решении. Формулировка нестационарных задач.		8		4
3	Дискретизация по времени. Дискретизация по пространству.		8		4
4	Численное интегрирование с помощью квадратурных формул Гаусса-Чебышева.		6		3
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: 1 (Осенний)

1. Формулировка задач и расчетные сетки. Метод конечных разностей для уравнения диффузии. Метод конечных элементов для уравнения диффузии.

Формулировка задач и расчетные сетки Формулировка задач стационарной диффузии, граничных условий, описание используемых расчетных сеток.

Метод конечных разностей для уравнения диффузии Описание метода конечных разностей для стационарного уравнения диффузии на прямоугольных сетках. Шаблон матрицы жесткости. Особенности метода.

Метод конечных элементов для уравнения диффузии Описание метода конечных элементов для стационарного уравнения диффузии на прямоугольных сетках. Набор базисных функций. Шаблон матрицы жесткости. Особенности метода.

2. Метод конечных объемов для уравнения диффузии. Проверка сходимости численного метода на аналитическом решении. Формулировка нестационарных задач.

Метод конечных объемов для уравнения диффузии Описание метода конечных объемов для стационарного уравнения диффузии на прямоугольных сетках. Шаблон матрицы жесткости. Особенности метода.

Проверка сходимости численного метода на аналитическом решении Вид аналитического решения. Методы вычисления C и L_2 норм ошибок.

Формулировка нестационарных задач Формулировка задач нестационарной диффузии-конвекции, граничных условий.

3. Дискретизация по времени. Дискретизация по пространству.

Дискретизация по времени. Явная схема. Неявная схема. Схема Кранка-Николсон.

Дискретизация по пространству уравнения диффузии-конвекции. Метод конечных разностей. Метод конечных элементов. Метод конечных объемов.

4. Численное интегрирование с помощью квадратурных формул Гаусса-Чебышева.

Численное интегрирование с помощью квадратурных формул Гаусса-Чебышева.

Численное решение нестационарной задачи диффузии-конвекции. Исследование сходимости разработанной схемы на негладких решениях нестационарной задачи диффузии-конвекции.

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

Необходимое оборудование для семинаров: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

Обеспечение самостоятельной работы — электронная библиотека ИВМ РАН.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Василевский Ю., Капырин И.. Практикум по современным вычислительным технологиям и основам математического моделирования. - М.: Макс-ПРЕСС, 2009. - 60с. ISBN 978-5-89407-357-6
2. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра. Теория и приложения. - М.: Мир, 2001. - 430с. ISBN 5-03-003402-1.
3. Тыртышников Е.Е. Методы численного анализа. - М.: Академия, 2007. 320с. ISBN 978-5-7695-3925-1.
4. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. 2nd Edition. SIAM, 2003.

Дополнительная литература

- 1.Марчук Г. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989.
2. Джордж А., Лю И. Численное решение больших разреженных систем уравнений. М.: Мир, 1984.
- 3.Kelley C.T. Iterative Methods for Linear and Nonlinear Equations. SIAM, Philadelphia, 1995.
- 4.Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Численные методы решения задач конвекции-диффузии. -М.: Эдиториал УРСС, 1999.
- 5.Hughes T.J.R. and Brooks A.N. A multidimensional upwind scheme with no crosswind diffusion // Finite Element Methods for Convection Dominated Flows. 1979. V. 34, P. 19-35.
- 6.Владимиров В.С. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1981.

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

доступные через Internet электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса

<http://www.inm.ras.ru/library/Vassilevski/yuv-kapyrin-svt-prak.pdf>.

Интегрированные системы

<http://www.alberta-fem.de/>

<http://www.scicomp.ucsd.edu/~reb/software.html>

<http://scicomp.ucsd.edu/~mholst/codes/mc/index.html>

Генераторы сеток

<http://www.andrew.cmu.edu/user/sowen/mesh.html>

<http://sourceforge.net/projects/ani2d>

Библиотеки приложений

<http://www-users.cs.umn.edu/~saad/software/SPARSKIT/sparskit.html>

<http://www.cise.ufl.edu/research/sparse/umfpack/>

<http://users.wpi.edu/~walker/NITSOL/>

<http://www.caam.rice.edu/software/ARPACK/>

Визуализация

<http://www.geomview.org/>

<http://www-xdiv.lanl.gov/XCM/gmv/>

Электронные презентации

<http://www.nsu.ru/education/powerpoint/>

<http://prosper.sourceforge.net/>

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

Информационные ресурсы: доступные через Internet электронные конспекты, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

<http://www.inm.ras.ru/library/Vassilevski/yuv-kapyrin-svt-prak.pdf>.

Библиотеки приложений

<http://www-users.cs.umn.edu/~saad/software/SPARSKIT/sparskit.html>

<http://www.cise.ufl.edu/research/sparse/umfpack/>

Визуализация

<http://www.geomview.org/>

<http://www.paraview.org/>

<http://www.generalmeshviewer.com/>

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, алгоритмы.

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 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 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 вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.А. Данилов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области информатики и вычислительной техники, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области информатики и вычислительной техники и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Практикум по математическому моделированию» обучающийся должен:

знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
современные проблемы вычислительной математики;
современные тренды в развитии вычислительных технологий;
постановку проблем моделирования физических процессов;
о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
работать на современном компьютерном оборудовании;
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
пользоваться справочной литературой научного и прикладного характера для быстрого поиска необходимых математических и физических данных и понятий.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов численного эксперимента;
научной картиной мира;
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном компьютерном оборудовании;
навыками освоения большого объема информации;
культурой постановки и моделирования физических задач.

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

1. Метод конечных разностей.
2. Метод конечных элементов.
3. Метод конечных объемов.
4. Какие шаблоны у матриц жесткости разных методов аппроксимации уравнения диффузии?
5. Опишите используемые в практикуме схемы дискретизации по времени, их достоинства и недостатки.
6. Опишите применение МКР для дискретизации уравнения конвекции-диффузии.
7. Опишите применение МКЭ для дискретизации уравнения конвекции-диффузии.
8. Опишите применение МКО для дискретизации уравнения конвекции-диффузии.
9. Какие условия определяют необходимость введения регуляризации в схемах?
10. Опишите алгоритм приближенного интегрирования функции с помощью кубатурных формул Гаусса-Чебышева.

Примерный перечень билетов:

Билет №1

1. Метод конечных разностей.
2. Опишите применение МКР для дискретизации уравнения конвекции-диффузии.

Билет №1

1. Метод конечных элементов.
2. Опишите применение МКО для дискретизации уравнения конвекции-диффузии.

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.

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