

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Численные методы в задачах геофизики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра прикладной геофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

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

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Н.В. Дубиня, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры прикладной геофизики 28.01.2022

## Аннотация

Курс «Численные методы в задачах геофизики» тесно связан с курсом «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных», но нацелен на практическое применение полученных теоретических знаний. В рамках курса предполагается повторение основных навыков, полученных в ходе прохождения предыдущих курсов, связанных с численным моделированием и программированием. Особенностью курса является практическая направленность решаемых задач: в ходе курса будут рассмотрены задачи моделирования различных процессов, связанных с геофизикой: распространения сейсмических волн, фильтрации флюидов в пористых средах, формирования термических полей в литосфере, медленных механических и тектонических процессов в Земной коре. Будут рассмотрены существующие на данный момент подходы к численному моделированию этих процессов, проведены практические занятия по программной реализации этих подходов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- усвоение методологии, основных методов и подходов к математическому моделированию геофизических полей и процессов, получение практических навыков численного моделирования геофизических процессов.

### Задачи дисциплины

- закрепление знаний, связанных с численными методами решения физических задач, в том числе, задач геофизики;
- получение опыта решения практических задач геофизики.

## 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 физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	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 математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	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-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-3.1 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
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные методы численного моделирования геофизических процессов,
- основные подходы к программной реализации этих методов.

уметь:

- численно моделировать процессы распространения сейсмических волн в геосредах, фильтрации флюидов в пористых средах, температурных поля в массивах горных пород, перераспределения напряжений и деформаций в массиве горных пород при внешних механических воздействиях.

владеть:

следующими навыками:

- визуализации геолого-геофизической информации и результатов её обработки и интерпретации;
- разработки специализированных программ для ЭВМ.

### 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	1			1
2	Математическое программирование и организация вычислений	13	6		19
3	Численные методы	6	2		8
4	Численное моделирование геофизических полей и процессов	10	7		17
Итого часов		30	15		45
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. Введение

Цель, задачи курса и его место в образовательном процессе.

## 2. Математическое программирование и организация вычислений

Принципы построения ЭВМ. Процессор, оперативная память, ПЗУ, системная шина. Периферийные устройства. Операционные системы. Общие принципы организации операционных систем. Многопроцессные и многопоточные системы. Разделение времени, памяти и других ресурсов. Система прерываний. Операционные системы Windows, UNIX (Linux, Free BSD, Sun OS и т.д.). Общие принципы математического программирования. Структурное программирование. Объектно-ориентированное программирование. Пакетный и диалоговый режимы обработки. Управление событиями пользовательского интерфейса. Языки программирования высокого уровня. Объектно-ориентированные языки. Специальные системы математических расчётов. Параллельные вычисления. Организация вычислений в многопроцессорных системах и кластерах.

## 3. Численные методы

Задачи аппроксимации и интерполяции функций. Интерполяция полиномами. Наилучшее равномерное приближение. Численное интегрирование функций. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы. Итерационные методы. Численное решение задач метода наименьших квадратов. Система нормальных уравнений, метод SVD-разложения. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем. Разностные схемы. Численное решение уравнений в частных производных. Методы конечных разностей, конечных элементов и конечных объемов.

## 4. Численное моделирование геофизических полей и процессов

Методы расчёта полей времён сейсмических волн в слоистых и трёхмерно- неоднородных средах. Лучевые методы. Метод, основанный на численном решении уравнения эйконала. Методы расчёта волновых полей. Методы расчёта электромагнитных полей в коре Земли. Моделирование фильтрации флюидов в пористых средах. Расчёт термических полей в литосфере Земли. Вклад радиоактивности. Континентальная изотерма. Модели формирования океанической литосферы, океаническая изотерма. Формирование напряженно-деформированного состояния Земной коры. Статическая определимость. Численное моделирование перераспределения напряжений и деформаций в массивах горных пород при внешних механических воздействиях. Моделирование необратимых механических процессов. Динамические, статические и квазистатические процессы. Расширенный метод конечных элементов, моделирование хрупкого разрушения. Специальные методы моделирования геофизических процессах. Метод динамики частиц.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Уравнения математической физики [Текст] : учебник для вузов : рек. М-вом образования РФ / А. Н.Тихонов, А. А. Самарский ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 7-е изд. — М. : Изд-во МГУ ; Наука, 2004 .— 798 с.
2. Теория вероятностей и случайных процессов. Основы математического аппарата и прикладные аспекты [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Н. Тутубалин .— М. : Изд-во МГУ, 1992 .— 396 с.
3. Формалев, В. Ф. Численные методы [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников ; под ред. А. И. Кибзуна — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Физматлит, 2006 — 400 с. - Библиогр.: с. 391-393.

### Дополнительная литература

1. Лекции по математической физике [Текст] / А. Г. Свешников, А. Н. Боголюбов, В. В. Кравцов - М.Изд-во Моск. гос. ун-та : Наука,2004

2. Геодинамика : Геологические приложения физики сплошных сред [Текст]. В 2 ч. Ч. 1, Geodynamics Applications of Continuum Physics to Geological Problems, сборник лекций/Д. Теркот, Дж. Шуберт , -М., Мир, 1985
3. Геодинамика : Геологические приложения физики сплошных сред [Текст]. В 2 ч. Ч. 2, Geodynamics Applications of Continuum Physics to Geological Problems, сборник лекций/Д. Теркот, Дж. Шуберт , -М., Мир, 1985

**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)**

При реализации программы дисциплины «Численные методы в задачах геофизики» используются различные образовательные технологии – аудиторные занятия проводятся в виде лекций и семинаров с использованием ПК и компьютерного проектора, возможно использование студенческой версии ПО Abaqus.

**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 и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра прикладной геофизики  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

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

**Разработчик:** Н.В. Дубиня, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	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 математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	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-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-3.1 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
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численные методы в задачах геофизики» обучающийся должен:

### знать:

- основные методы численного моделирования геофизических процессов,
- основные подходы к программной реализации этих методов.

### уметь:

- численно моделировать процессы распространения сейсмических волн в геосредах, фильтрации флюидов в пористых средах, температурных поля в массивах горных пород, перераспределения напряжений и деформаций в массиве горных пород при внешних механических воздействиях.

### владеть:

следующими навыками:

- визуализации геолого-геофизической информации и результатов её обработки и интерпретации;
- разработки специализированных программ для ЭВМ.

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

Пример задания контрольной работы:

1. Дано трансцендентное уравнение. Написать программу, ищущую его корень одним из известных методов

Пример задачи домашнего задания:

1. Определить динамику распространения фронта давления в цилиндрическом образце пористой среды при скачкообразном изменении давления на одном из торцов. Выполнить программную реализацию процесса фильтрации, визуализировать процесс установления фильтрации

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

Перечень контрольных вопросов

1. Основные методы численного решения уравнений.
2. Методы численного моделирования физических процессов: конечно-разностные методы, конечно-элементные методы.
3. Принципы построения ЭВМ.
4. Сходимость и устойчивость численных методов.
5. Принципы решения задачи формирования термических полей.

Примеры контрольных заданий

1. Определения явных и неявных численных методов, примеры их применения в задачах геофизики
2. Критерии сходимости численных методов в задачах механики, гидродинамики, электромагнетизма
3. Причины неприменимости численных методов для решения конкретных задач
4. Подходы к моделированию пластического течения горных пород
5. Уравнение эйконала и методы его решения

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**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.