

**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>	Параллельное программирование в геофизике
<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>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (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 04.04.2022

## Аннотация

Курс «Параллельное программирование в геофизике» является естественным продолжением курсов «Численные методы в задачах геофизики», «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» и «Сеточно-характеристические методы в задачах геофизики». К основным задачам всех этих курсов можно отнести формирование у студентов способности реализовывать сложные модели, использующиеся для решения геофизических задач.

Ключевой особенностью горных пород можно считать их сложное внутреннее строение, которое приводит к необходимости создания сложных моделей для описания геофизических процессов. Численное моделирование этих процессов требует использования значительных вычислительных ресурсов, что естественным образом приводит к необходимости распараллеливания вычислений. В рамках курса студенты вспомнят основные принципы параллельных вычислений, а также рассмотрят ряд задач геофизики, численное моделирование которых необходимо выполнять с использованием параллельных вычислений.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Усвоение методологии, основных методов и подходов использования параллельных вычислений при численном моделировании геофизических процессов.

### Задачи дисциплины

1. Закрепление знаний, связанных с численными методами решения физических задач, в том числе, задач геофизики.
2. Получение опыта численной программной реализации численного моделирования геофизических процессов с использованием параллельных вычислений.

## 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

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

основные методы параллельных вычислений при численном моделировании геофизических процессов.

уметь:

использовать параллельное программирование для моделирования 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:

навыками распараллеливания сложных вычислительных процессов в применении к задачам прикладной геофизики.

### 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	Основы параллельного программирования	11			11
3	Моделирование задач сейсморазведки	6	4		10
4	Моделирование задач геомеханики	4	4		8
5	Моделирование задач фильтрации	5	4		9
6	Моделирование температурных полей	3	3		6
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: 3 (Осенний)

##### 1. Введение

Цель, задачи курса и его место в образовательном процессе.

##### 2. Основы параллельного программирования

Распараллеливание вычисления. Последовательная и параллельная парадигмы в программировании. Вложенные циклы и их разделение по вычислительным потокам. Распараллеливание простых и вложенных циклов. Методы организации вычислений. Разделение модели по процессам и областям. Организация передачи данных. Суперкомпьютерные технологии. Программная реализация параллельных вычислений.

##### 3. Моделирование задач сейсморазведки

Постановка задачи сейморазведки. Основные уравнения, предположения и модели. Задача распространения упругой волны в теле с неоднородностью, упорядоченной системой неоднородностей. Разделение области. Численное моделирование распространения продольной и поперечной упругой волны в микронеоднородной среде: программная реализация.

#### 4. Моделирование задач геомеханики

Задача о формировании напряженно-деформированного состояния микронеоднородной среды, помещенной в обстановку неравномерного сжатия. Переход в пластический режим. Численное моделирование пластического течения микронеоднородной среды. Моделирование микроразрушения, создания, развития и взаимодействия трещин. Численное моделирование разрушения цилиндрического образца в обстановке псевдотрехосного сжатия: программная реализация.

#### 5. Моделирование задач фильтрации

Задача о течении многофазной жидкости в пористой среде. Методы моделирования фильтрации. Задание системы каналов фильтрации. Проблемы течения в зонах пересечения каналов фильтрации. Численное моделирование фильтрации флюида в среде с известной внутренней структурой: программная реализация.

#### 6. Моделирование температурных полей

Задача о формировании равновесного температурного поля при нестационарных граничных условиях. Аналогия между температурными и фильтрационными задачами. Особенности формирования температуры. Численное моделирование нагрева цилиндрического образца горной породы с известной внутренней структурой: программная реализация.

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

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

### 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. Численные методы [Текст] / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников ; под ред. А. И. Кибзуна - М. Физматлит, 2006

#### 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

### 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 «Параллельное программирование в геофизике» используются различные образовательные технологии – аудиторные занятия проводятся в виде лекций и семинаров с использованием ПК и компьютерного проектора.

## **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.

**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:** 2  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Параллельное программирование в геофизике» обучающийся должен:

### знать:

основные методы параллельных вычислений при численном моделировании геофизических процессов.

### уметь:

использовать параллельное программирование для моделирования 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:

навыками распараллеливания сложных вычислительных процессов в применении к задачам прикладной геофизики.

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

Пример задания контрольной работы: дан геофизический процесс, предложить метод его численного программирования с использованием параллельных вычислений, обосновать метод распараллеливания

Пример задачи домашнего задания: смоделировать процесс насыщения водой образца горной породы, изначально насыщенного пластовым флюидом. Дана модель внутренней структуры образца, а также необходимые физические свойства породы и обоих флюидов.

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

##### Перечень контрольных вопросов

1. Особенности параллельных вычислений.
2. Чем отличается распараллеливание простых и вложенных циклов?
3. Как следует распараллеливать вычисления в задачах сейсморазведки?
4. Можно ли распараллеливать вычисления в задачах многофазной фильтрации по фазам?
5. В чем отличия и сходства распараллеливания вычислений в задачах фильтрации и формировании температурных полей?

##### Примеры контрольных заданий

1. Дана многосвязная область, в которой протекает некий физический процесс. Предложить схему разделения области для оптимальной организации параллельных вычислений.
2. Предложить схему распараллеливания вычислений для моделирования пластического течения в плоской задаче.
3. Предложить программную реализацию численного моделирования прогрева цилиндра, на одном торце которого температуры растет как заданный вектор значений в разные моменты времени.
4. Предложить программную реализацию численного моделирования распространения упругой волны в кубическом образце, в центре которого находится полость в форме эллипсоида вращения.
5. Предложить программную реализацию численного моделирования течения суспензии в трубе.

##### 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.