Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Гаврилов Сергей Александров Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Должность: И.О. Рефедеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Дата подписания: 11.06.2025 12:35:11

«На циональный исследовательский университет

Уникальный программный ключ:

f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Г. Балашов

X01 » 04

202 % г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Параллельные вычисления»

Направление подготовки — 02.03.01 «Математика и компьютерные науки» Направленность (профиль) - «Компьютерная математика и анализ данных»

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных **Компетенция ПК-2** «Способен применять вычислительные методы к решению естественнонаучных и прикладных задач» сформулирована:

- 1) в результате анализа требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам на рынке труда, а также консультаций с ведущими работодателями;
 - 2) на основе профессионального стандарта» 06.001 «Программист»

Обобщенная трудовая функция «D Разработка требований и проектирование программного обеспечения»

Трудовые функции: «D/03.6 Проектирование программного обеспечения»

| Подкомпетенции, формируемые в дисциплине | Задачи профессиональной деятельности | Индикаторы достижения под- компетенций |
|--|--------------------------------------|---|
| ПК-2.ПарВыч. | Разработка параллельных | Знает |
| Способность | численных алгоритмов и | - базовые принципы формирования |
| применять сущест- | создание, отладка, про- | математических моделей; |
| вующие программ- | верка работоспособности, | - базовые численные методы |
| ные среды и разра- | модификация прикладно- | решения прикладных задач; |
| батывать собствен- | го параллельного про- | - базовые программные среды и |
| ные параллельные | граммного обеспечения | инструменты параллельного |
| программные сред- | современных компьютер- | программирования |
| ства для решения | ных и суперкомпьютер- | Умеет |
| прикладных задач | ных вычислительных сис- | - формулировать модельные |
| методами математи- | тем | прикладные задачи, |
| ческого и компью- | 4 2 | - применять современные |
| терного моделиро- | э. | численные методы их решения, |
| вания | 0.00 | - разрабатывать параллельные |
| | | реализации численных алгоритмов, |
| | = | - выбирать оптимальное сочетание |
| | | базовой программной среды и |
| | | инструментов параллельного |
| | | программирования в целях решения |
| | | компьютерными средствами |
| | | прикладных задач, |
| | | - решать с помощью |
| | | существующих программных сред |
| | | и собственных параллельных |
| | | программных средств конкретные |
| | | фундаментальные и прикладные |
| | 8. | математических задачи. |
| | | <i>Имеет опыт</i> разработки парал- |

| | лельных алгоритмов и программ |
|---|-----------------------------------|
| | для решения конкретных фунда- |
| | ментальных и прикладных матема- |
| _ | тических задач, в том числе базо- |
| | вых задач математической физики. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине:

- 1. Владение знаниями и умениями по основам линейной алгебры и аналитической геометрии, математического анализа, дискретной математики, информатики, теории дифференциальных уравнений (обыкновенных и в частных производных), методов вычислительной математики.
- 2. Владение знаниями и умениями по курсам программирования на языке С, объектно-ориентированного программирования на языке С++.
- 3. Владение английским языком на уровне общего образовательного курса технического вуза.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

| Курс | Семестр | сость | ИКОСТЬ (Часы) | Контактная работа | | | льная (часы) | чная |
|------|---------|--------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|
| | Cer | Общая трудоёмкость | Общая трудоёмкость (часы) | Лекции (часы) | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) | Самостоятельная работа (часы) | Промежуточная |
| 4 | 7 | 4 | 144 | 32 | 16 | 16 | 44 | Эк (36) |

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| | Контакти | ная работа | | ельная работа | | |
|---------------------------------------|--|------------|--------------------------------|---------------------------|--|--|
| № и наименование модуля | Лекции (часы) Лабораторные работы (часы) | | Практические занятия (часы) | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля | |
| 1. Введение в параллельные вычисления | 4 | 2 | 2 | 8 | Выполнение и защита лабораторных работ 1-2 | |

| | Контакт | ная работа | | ельная работа | |
|---|---------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| № и наименование модуля | Лекции (часы) | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля |
| 2. Параллельное программирование | 4 | 2 | 2 | 6 | Выполнение и защита лабораторных работ 3-4 |
| 3. Решение основных математических задач, возникающих при проектировании электронных приборов | 4 | 2 | 2 | 6 | Выполнение и защита лабораторных работ 5-6 |
| 4. Одномерные краевые и начально- краевые задачи | 4 | 2 | 2 | 6 | Выполнение и защита лабораторных работ 7-8 |
| 5. Многомерные краевые и начально- краевые задачи | 8 | 4 | 4 | 10 | Выполнение и защита лабораторных работ 9-10 |
| 6. Решение краевых и начально-краевых задач в криволинейных областях | 8 | 4 | 4 | 10 | Защита лабораторных работ 11-12 Защита индивидуального комплексного задания |

4.1. Лекционные занятия

| № модуля дисциплины | № лекции | Объем занятий (часы) | Краткое содержание |
|------------------------|----------|-------------------------|---|
| 1 | 1 | 2 | Введение в параплельные вычисления. Производительность вычислительных систем, методы ее оценки и способы повышения. |
| | 2 | 2 | Архитектуры параллельных вычислительных систем. |
| 2 | 3 | 2 | Принципы построения параллельных алгоритмов. Виды параллелизма. Организация параллельных процессов. Примеры. |
| | 4 | 2 | Средства параллельного программирования. Методы разработки параллельных программ. Проблемы балансировки загрузки. |
| 3 | 5 | 2 | Параллельные алгоритмы в задачах математической физики. Численные методы и параллельные алгоритмы решения ОДУ. |
| | 6 | 2 | Параллельные алгоритмы решения спектральных и экстремальных задач. |
| 4 | 7 | 2 | Численные методы и параллельные алгоритмы решения пространственно-одномерных краевых задач |
| | 8 | 2 | Численные методы и параллельные алгоритмы решения пространственно-одномерных начально-краевых задач |

| 5 | 9,10 | 4 | Численные методы и параллельные алгоритмы решения начально-краевых задач для параболических уравнений |
|---|-------|---|--|
| | 11,12 | 4 | Численные методы и параллельные алгоритмы решения краевых задач для эллиптических уравнений |
| 6 | 13,14 | 4 | Численные методы и параллельные алгоритмы решения краевых и начально- краевых задач в двухмерных криволинейных областях. Общая методология. Методы нерегулярных шаблонов и фиктивных областей. |
| | 15,16 | 4 | Численные методы и параллельные алгоритмы решения краевых и начально-краевых задач в двухмерных криволинейных областях. Метод нерегулярных сеток. |

4.2. Практические занятия

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Краткое содержание |
|------------------------|----------------------------|-------------------------|---|
| 1 | 1 | 1 | Работа с персональным компьютером под управлением ОС Windows и Linux. |
| | | 1 | Измерение производительности персонального компьютера. Примеры. Создание локальных параллельных процессов. Обмен данными между локаль- |
| | | 1 | ными параллельными процессами. Библиотека PThreads и стандарт OpenMP. Примеры. |
| 2 | 2 | 1 | Стандарт MPI. Основные группы функций MPI. Обмены MPI типа точка-точка. Коллективные функции MPI. Групповые вычисления. Примеры. |
| | | 1 | Организация различных схем обменов. Виртуальные топологии. Гибридные схемы вычислений. Примеры. |
| 3 | 3 | 1 | Параллельная реализация численного решения задачи Коши для ОДУ и для системы ОДУ 1-го порядка. Примеры. |
| | | 1 | Параллельная реализация численного решения спектральной задачи. Параллельная реализация численного решения задачи поиска минимума функции многих переменных. Примеры. |
| 4 | 4 | 1 | Параллельная реализация численного решения линейной и квазилинейной пространственно одномерных краевых задач. Примеры. |
| | | 1 | Параллельная реализация численного решения линейного и квазилинейного пространственно одномерного уравнения теплопроводности. Примеры. |
| 5 | 5 | 1 | Параллельная реализация численного решения задачи Дирихле для двумерного уравнения Пуассона прямыми и итерационными методами. Примеры. |
| | | 1 | Параллельная реализация численного решения начально-краевых задач для двумерного уравнения теплопроводности и двумерного уравнения колебаний струны. Примеры. |
| | 6 | 1 | Параллельная реализация численного решения задачи Дирихле для двумерного уравнения Пуассона прямыми и итерационными методами. |
| | | 1 | Параллельная реализация численного решения начально-краевых задач для двумерного уравнения теплопроводности и двумерного уравнения колебаний струны. |
| 6 | 7 | 2 | Параллельная реализация численного решения задачи Дирихле для двумерного уравнения Пуассона в криволинейной области на треугольной сетке. |
| | 8 | 2 | Параллельная реализация численного решения начально-краевой задачи для трехмерного уравнения теплопроводности в многосвязной области, составленной из параллелепипедов. |

4.3. Лабораторные занятия

| № модуля дисциплины | № лабораторной работы | Объем занятий (часы) | Краткое содержание |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| 1 | 1 | 1 | Измерение производительности персонального компьютера на элементарных |
| | | | операциях с двойной точностью: сложение, вычитание, умножение, деление, |
| | | 1 | возведение в степень, а также при вычислениях функций: $\sin(x)$, $\exp(x)$, $\ln(x)$. |
| | | 1 | Решение задачи одномерного численного интегрирования с помощью распа- |
| | 2 | -1 | раллеливания по процессам и трэдам в рамках одного вычислительного узла. |
| 2 | 2 | 1 | Решение задач двух- и трехмерного численного интегрирования с помощью |
| | | | распараллеливания по процессам и трэдам в рамках нескольких вычислитель- |
| | | 1 | ных узлов. |
| | | 1 | Решение задачи сортировки распределенного массива вещественных чисел |
| 3 | 3 | 1 | большой размерности. |
| 3 | ן ט | 1 | Численное решение задачи Коши для системы ОДУ 1-го порядка большой |
| 1 | | 1 | размерности. |
| | | 1 | Решение спектральной задачи для вещественной симметричной матрицы с помощью QR-алгоритма. Поиск глобального минимума функции двух пере- |
| | | | помощью QR-алгоритма. Поиск глобального минимума функции двух пере- менных методом кривых Пеано. |
| 4 | 4 | 1 | Численное решение линейной и квазилинейной пространственно одномерных |
| 7 | 7 | 1 | краевых задач для ОДУ 2-го порядка. |
| | | 1 | Численное решение начально-краевых задач для линейного и квазилинейного |
| | | • | пространственно одномерного уравнения теплопроводности. |
| 5 | 5 | 2 | Численное решение задачи Дирихле для двумерного уравнения Пуассона |
| | | _ | прямыми и итерационными методами. |
| | 6 | 2 | Численное решение начально-краевых задач для двумерного уравнения теп- |
| | | | лопроводности и двумерного уравнения колебаний струны. |
| 6 | 7 | 2 | Численное решение задачи Дирихле для двумерного уравнения Пуассона в |
| | | | криволинейной области на треугольной сетке. |
| | 8 | 2 | Численное решение начально-краевой задачи для трехмерного уравнения теп- |
| | | | лопроводности в многосвязной области, составленной из параллелепипедов. |

4.4. Самостоятельная работа студентов

| № модуля дисциплины | Объем занятий (часы) | Вид СРС |
|------------------------|-------------------------|---|
| 1 | 4 | Выполнение и подготовка к защите лабораторных работ 1,2 |
| 2 | 4 | Выполнение и подготовка к защите лабораторных работ 3,4 |
| 3 | 4 | Выполнение и подготовка к защите лабораторных работ 5,6 |
| 4 | 4 | Выполнение и подготовка к защите лабораторных работ 7,8 |
| 5 | 4 | Выполнение и подготовка к защите лабораторных работ 9,10 |
| 6 | 4 | Выполнение и подготовка к защите лабораторных работ 11,12 |
| 5-6 | 29 | Выполнение индивидуального комплексного задания |

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрено

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, http://orioks.miet.ru):

Общее

✓ Методические указания студентам по изучению дисциплины:

При изучении теоретических основ по модулям 1-6 необходимо использование материалов с сайта преподавателя, в том числе конспекта лекций и семинарских занятий.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины складывается из материалов на сайте преподавателя (http://polyakov.imamod.ru/arc/stud/index21.html) и удаленного доступа по протоколу ssh к учебному кластеру ИПМ им. М.В.Келдыша РАН по адресу imm10.keldysh.ru.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

- 1. Богачев К.Ю. Основы параллельного программирования: Учеб. пособие / К.Ю. Богачев. 3-е изд., электронное. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 345 с. (Математика). URL: https://e.lanbook.com/book/70745 (дата обращения: 15.02.2024).
- 2. Боресков А.В. Основы работы с технологией CUDA / А.В. Боресков, А.А. Харламов. М. : ДМК Пресс, 2010. 232 с. URL: https://e.lanbook.com/book/1260 (дата обращения: 15.02.2024).
- 3. Сандерс Дж. (Sanders J.).Технология СUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров = CUDA by Example: An Introduction to general-purpose GPU Programmong / Сандерс Дж., Э. Кэндрот; [пер. с англ.]; Предисл. Дж. Донгарра; науч. ред. А.В. Боресков. М. : ДМК Пресс, 2011. 232 с. URL: https://e.lanbook.com/book/3029 (дата обращения: 15.02.2024).
- 4. Уильямс Э. Параллельное программирование на С++ в действии: Практика разработки многопоточных программ: Пер. с англ. А.А. Слинкина / Э. Уильямс. М. : ДМК Пресс, 2012. 672 с. URL: https://e.lanbook.com/book/4813 (дата обращения: 15.02.2024)

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

- 1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека: сайт. Москва, 2000 -. URL: https://www.elibrary.ru/defaultx.asp (дата обращения: 15.02.2024). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
- 2. Лань: Электронно-библиотечная система Издательства Лань. СПб., 2011-. URL: https://e.lanbook.com (дата обращения: 15.02.2024). Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ.

- 3. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Информатика и информационные технологии»: Информационная система; URL: https://habr.com/ (дата обращения: 15.02.2024). Режим доступа: общедоступный.
- 4. Крупнейший веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки; URL: https://github.com/ (дата обращения: 15.02.2024). Режим доступа: общедоступный.
- 5. Общероссийский математический портал; URL: http://www.mathnet.ru/ (дата обращения: 15.02.2024). Режим доступа: общедоступный.
- 6. Портал по параллельным вычислениям НИВЦ МГУ; URL: http://www.parallel.ru (дата обращения: 15.02.2024). Режим доступа: общедоступный.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В данном курсе применяется классическая модель обучения, реализуемая в очном или удаленном (через Интернет) режимах. Преподаватель читает лекции, используя слайды, приводя примеры на доске или на специальном интернет-ресурсе. Студенты могут задавать вопросы во время изложения материала.

Основной формой активных и интерактивных форм проведения занятий в данном курсе являются обсуждения на лекционных, практических и лабораторных занятиях вопросов теории, предлагаемых (студентами, преподавателем) методов решения задач с анализом возможных или возникающих ошибок в решениях.

Обсуждение идет со всей группой. Преподаватель является организатором обсуждения, может заострить внимание на необходимость обсуждения некоторых вопросов, наличие ошибок, помогает выделить в выдвигаемых студентами гипотезах, утверждениях верные идеи. Каждый студент может выдвинуть гипотезу, решение, а также критически их оценить.

Типовой сценарий лекционного занятия включает в себя, как правило, следующие этапы:

- 1. Изложение лекционного материала преподавателем.
- 2. Обсуждение лекционного материала студентами и преподавателем.
- 3. Подведение итогов, обобщение и систематизация.

Типовой сценарий практического (семинарского) занятия включает в себя, как правило, следующие этапы:

- 1. Изложение преподавателем постановки и методов решения практической задачи, представление типовых программ.
 - 2. Анализ и тестирование студентами типовых программ.
 - 3. Обсуждение эффективности предложенного программного решения.
 - 4. Подведение итогов, обобщение и систематизация.

Типовой сценарий лабораторного занятия включает в себя, как правило, следующие этапы:

- 1. Изложение преподавателем постановки задачи, возможных численных методов ее решения, возможных программных реализаций.
 - 2. Обсуждение деталей лабораторного задания.
- 3. Подведение итогов, выработка рекомендаций к выполнению лабораторного задания.

Контроль за усвоением материала производится на основе анализа выполнения учащимися лабораторных работ.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы | Перечень программного обеспечения |
|---|---|--------------------------------------|
| Компьютерный класс | Компьютерная техника с | 1. Компилятор Intel Parallel |
| Института Прикладной | возможностью | Studio XE Professional Edition for |
| Математики им. М.В. | подключения к сети | C++ Linux |
| Келдыша РАН | «Интернет» и доступа к | 2. Средство параллельного |
| | учебному кластеру ИПМ | программирования Intel MPI |
| | им. М.В. Келдыша РАН | Library for Linux |
| Помещение для | Компьютерная техника с | 1. Компилятор Intel Parallel |
| самостоятельной работы | возможностью | Studio XE Professional Edition for |
| обучающихся Института | подключения к сети | C++ Linux |
| Прикладной Математики | «Интернет» и доступа к | 2. Средство параллельного |
| им. М.В. Келдыша РАН | учебному кластеру ИПМ | программирования Intel MPI |
| | им. М.В. Келдыша РАН | Library for Linux |
| | | 3. SSH-клиент putty (свободно |
| | | распространяемое ПО) |

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-2.ПарВыч. Способность применять существующие программные среды и разрабатывать собственные параллельные программные средства для решения прикладных задач методами математического и компьютерного моделирования.

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: http://orioks.miet.ru/.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Лекции, практические занятия и лабораторные работы проводятся контактно (в очном или удаленном режиме) в соответствии с расписанием. Посещение занятий

обязательно. Дополнительной формой работы являются консультации, их посещать необязательно.

В период изучения дисциплины студентам предоставляется в электронном виде учебные материалы лекций, задания для лабораторных работ, а также «Методические рекомендации студентам по изучению дисциплины». Материалы размещаются по адресу http://polyakov.imamod.ru/arc/stud/index21.html.

Важное значение придается соблюдению сроков сдачи контрольных мероприятий. Задержка в сдаче приводит к уменьшению числа баллов, начисляемых за выполнение, вплоть до полной их потери. Выполнение текущих лабораторных работ рассматривается как проявление активности студента при обучении и соответственно отражается в структуре контрольных мероприятий.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме от 0 до 46 баллов), активность в семестре (в сумме от 0 до 4 баллов) и сдача экзамена (от 0 до 50 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в OPИOКС// URL: http://orioks.miet.ru/.

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор каф. ММ, д.ф.-м.н. Толяков С.В./

| Рабочая программа дисциплины «Параллельные вычисления» по направлению подготовки 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», направленность (профиль) «Компьютерная математика и анализ данных», разработана на кафедре ВМ-1 и утверждена на заседании кафедры 25.03 2024 года, протокол № $8.$ |
|---|
| Заведующий кафедрой ВМ-1/ А.А. Прокофьев / |
| лист согласования |
| Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества Начальник АНОК/ И.М. Никулина / |
| Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ |

Директор библиотеки ______/ Т.П. Филиппова /