

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 11:11:12

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Г. Балашов



« 05 » 2023 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Параллельные вычисления»

Направление подготовки — 01.03.04 «Прикладная математика»

Направленность (профиль) - «Компьютерная математика и математическое  
моделирование»

Москва 2023

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных  
**Компетенция ПК-3** «Способен применять современные математические методы и программные технологии обработки и анализа данных» 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 подкомпетенций
ПК-4.ПарВыч. Способность применять существующие программные среды и разрабатывать собственные параллельные программные средства для решения прикладных задач методами математического и компьютерного моделирования	Разработка параллельных численных алгоритмов и создание, отладка, проверка работоспособности, модификация прикладного параллельного программного обеспечения современных компьютерных и суперкомпьютерных вычислительных систем	<b>Знает</b> - базовые принципы формирования математических моделей; - базовые численные методы решения прикладных задач; - базовые программные среды и инструменты параллельного программирования <b>Умеет</b> - формулировать модельные прикладные задачи, - применять современные численные методы их решения, - 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 математических задачи. <b>Имеет опыт</b> разработки парал-

		лельных алгоритмов и программ для решения конкретных фундаментальных и прикладных математических задач, в том числе базовых 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	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
4	7	4	144	32	16	16	44	Эк (36)

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
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 параллельные 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 двумерных 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 двумерных 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. Измерение производительности персонального компьютера. Примеры.
		1	Создание локальных параллельных процессов. Обмен данными между локальными 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, возведение в степень, а также при вычислениях функций: $\sin(x)$ , $\exp(x)$ , $\ln(x)$ .
		1	Решение задачи одномерного численного интегрирования с помощью распараллеливания 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 вычислительных узлов.
		1	Решение задачи сортировки распределенного массива вещественных чисел большой размерности.
3	3	1	Численное решение задачи Коши для системы ОДУ 1-го порядка большой размерности.
		1	Решение спектральной задачи для вещественной симметричной матрицы с помощью QR-алгоритма. Поиск глобального минимума функции двух переменных методом кривых Пеано.
4	4	1	Численное решение линейной и квазилинейной пространственно одномерных 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 теплопроводности 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 теплопроводности 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](http://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: 04.11.2020).
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: 15.03.2023).
3. Сандерс Дж. (Sanders J.). Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров = CUDA by Example: An Introduction to general-purpose GPU Programming / 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: 15.03.2023).
4. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ 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: 15.03.2023)

### 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: 15.03.2023). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Лань : Электронно-библиотечная система Издательства Лань. - СПб., 2011-. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.03.2023). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

3. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Информатика и информационные технологии»: Информационная система; URL: <https://habr.com/> (дата обращения: 15.03.2023). — Режим доступа: общедоступный.
4. Крупнейший веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки; URL: <https://github.com/> (дата обращения: 15.03.2023). — Режим доступа: общедоступный.
5. Общероссийский математический портал; URL: <http://www.mathnet.ru/> (дата обращения: 15.03.2023). — Режим доступа: общедоступный.
6. Портал по параллельным вычислениям НИВЦ МГУ; URL: <http://www.parallel.ru> (дата обращения: 15.03.2023). — 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 необходимости 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 Института Прикладной Математики им. М.В. Келдыша РАН	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступа к учебному кластеру ИПМ им. М.В. Келдыша РАН	1. Компилятор Intel Parallel Studio XE Professional Edition for C++ Linux 2. Средство параллельного программирования Intel MPI Library for Linux
Помещение для самостоятельной работы обучающихся Института Прикладной Математики им. М.В. Келдыша РАН	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступа к учебному кластеру ИПМ им. М.В. Келдыша РАН	1. Компилятор Intel Parallel Studio XE Professional Edition for C++ Linux 2. Средство параллельного программирования Intel MPI Library for Linux 3. SSH-клиент putty (свободно распространяемое ПО)

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-4.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.

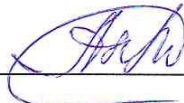
Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме от 0 до 46 баллов), активность в семестре (в сумме от 0 до 4 баллов) и сдача экзамена (от 0 до 50 баллов).

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

### РАЗРАБОТЧИК:

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

Рабочая программа дисциплины «Параллельные вычисления» по направлению подготовки 01.03.04 «Прикладная математика», направленность (профиль) «Компьютерная математика и математическое моделирование», разработана на кафедре ВМ-1 и утверждена на заседании кафедры 25.04 2023 года, протокол № 11

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 /