

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б1.В.02 Математическое моделирование с применением  
высокопроизводительных вычислений

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

02.04.01 Математика и компьютерные науки

Направленность (профиль)

02.04.01.01 Математическое и компьютерное моделирование

Форма обучения

очная

Год набора

2023

Красноярск 2023

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили \_\_\_\_\_

к.ф.-м.н., доцент, Кареева Е.Д.

\_\_\_\_\_  
должность, инициалы, фамилия

## **1 Цели и задачи изучения дисциплины**

### **1.1 Цель преподавания дисциплины**

Дисциплина «Высокопроизводительные вычисления» предназначена для изучения средств и методов создания приложений для различных архитектур вычислительных систем (ВС). При изучении дисциплины уделяется особое внимание получению практических навыков написания параллельных программ в терминах конкретных библиотек и/или языковых реализаций для ВС как с общей, так и распределенной памятью (в том числе, многоядерных и кластерных архитектур).

В рамках изучения дисциплины рассматриваются базовые сведения о ряде систем программирования, позволяющие начать разработку параллельных программ для параллельных ВС с общей и распределенной памятью. Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, позволяют в дальнейшем перейти к более детальному освоению инструментальных средств разработки параллельных программ.

### **1.2 Задачи изучения дисциплины**

При изучении дисциплины учащиеся должны решить следующие основные задачи.

1. Получить представление об особенностях архитектуры различных классов ПВС, задачах, которые невозможно решить без помощи высокопроизводительных вычислений и параллельного программирования.

2. Изучить основные проблемы, возникающие при программировании для ВС с общей памятью и пути их разрешения, понять особенности синхронизации и взаимодействия потоков.

3. Рассмотреть основные концепции и средства, предлагаемые в области параллельного программирования.

4. Получить практические навыки программирования с использованием технологии OpenMP.

5. Провести сравнительный анализ теоретических основ и различных языковых реализаций механизма синхронизации и взаимодействия потоков для ВС с общей памятью.

6. Изучить основные проблемы, возникающие при программировании для ВС с распределенной памятью и пути их разрешения, понять особенности синхронизации и взаимодействия процессов.

7. Рассмотреть SPMD-модель организации параллельных вычислений на основе одновременного выполнения одной и той же программы на нескольких процессорах с организацией взаимодействия процессов при помощи передачи сообщений.

8. Получить практические навыки программирования с использованием библиотеки передачи сообщений MPI для ВС с распределенной памятью.

**1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-4: Способен использовать современные методы разработки и реализации алгоритмов на базе языков программирования и пакетов прикладных программ</b>	
ПК-4.1: Применяет современные методы реализации алгоритмов на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования	<p>Современные методы реализации базовых алгоритмов программирования</p> <p>Современные методы реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования</p> <p>Современные методы реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования, а также алгоритмы, реализующиеся в пакетах прикладных программ</p> <p>Применять методы реализации базовых алгоритмов программирования</p> <p>Применять современные методы реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования</p> <p>Применять современные методы реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования, а также алгоритмы, реализующиеся в пакетах прикладных программ</p> <p>Навыком использования методов реализации базовых алгоритмов программирования</p> <p>Навыком использования методов реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования</p> <p>Навыком использования современных методов реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования, а также алгоритмов, реализующиеся в пакетах прикладных программ</p>

<p>ПК-4.2: Разрабатывает и реализовывает алгоритмы математических моделей на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования</p>	<p>Современные методы реализации базовых алгоритмов программирования  Современные методы реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования  Современные методы реализации нескольких алгоритмов для решения базовых задач программирования, а также алгоритмы, реализующиеся в пакетах прикладных программ  Реализовывать базовые алгоритмы программирования  Разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения задач программирования  Разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения</p>
	<p>задач программирования, в том числе с помощью пакетов прикладных программ  Навыком реализации базовых алгоритмов программирования  Навыком разработки и реализации алгоритмов решения задач программирования  Навыком разработки и реализации алгоритмов решения задач программирования, в том числе с помощью пакетов прикладных программ</p>
<p><b>ПК-5: Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий, программирования и компьютерной техники</b></p>	

<p>ПК-5.1: Формулирует математические постановки классических моделей, применяемых в естественных науках, промышленности и бизнесе</p>	<p>Математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических уравнений  Математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений  Математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений в частных производных  Формулировать математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических уравнений  Формулировать математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических дифференциальных уравнений  Формулировать математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений в частных производных  Базовым математическим аппаратом для формулировки постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических уравнений</p>
	<p>Базовым математическим аппаратом для формулировки постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений  Базовым математическим аппаратом для формулировки постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений в частных производных</p>

<p>ПК-5.2: Создает, исследует и анализирует математические модели, применяемые в естественных науках, промышленности и бизнесе</p>	<p>Методы анализа математических постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических уравнений  Методы анализа математических постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений  Методы анализа математических постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений в частных производных  Исследовать и анализировать математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических уравнений  Исследовать и анализировать математические постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений  Исследовать и анализировать математические</p>
	<p>постановки классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений в частных производных  Навыком исследования и анализа математических постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических уравнений  Навыком исследования и анализа математических постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений  Навыком исследования и анализа математических постановок классических задач естествознания в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений в частных производных</p>

<p>ПК-5.3: Применяет языки программирования и пакеты прикладных программ для проведения математического моделирования при помощи компьютерной техники</p>	<p>Базовые алгоритмы численного решения задач в виде алгебраических уравнений  Базовые алгоритмы численного решения задач в виде алгебраических и дифференциальных уравнений  Базовые алгоритмы численного решения задач в виде алгебраических и дифференциальных уравнений, существующие пакеты прикладных программ, применяемые для математического моделирования  Реализовывать базовые алгоритмы численного решения задач в виде алгебраических уравнений  Реализовывать базовые алгоритмы численного решения задач в виде алгебраических и дифференциальных уравнений  Реализовывать базовые алгоритмы численного решения задач в виде алгебраических и дифференциальных уравнений, использовать существующие пакеты прикладных программ, применяемые для математического моделирования  Навыком реализации базовых алгоритмов</p>
	<p>численного решения задач в виде алгебраических уравнений  Навыком реализации базовых алгоритмов численного решения задач в виде алгебраических и дифференциальных уравнений  Навыком реализации базовых алгоритмов численного решения задач в виде алгебраических и дифференциальных уравнений и использования существующих пакетов прикладных программ, применяемых для математического моделирования</p>

#### 1.4 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется с применением ЭО и ДОТ

URL-адрес и название электронного обучающего курса: <https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=11690>.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	е
		1
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>1,56 (56)</b>	
занятия лекционного типа	0,5 (18)	
практические занятия	1,06 (38)	
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>4,44 (160)</b>	
курсовое проектирование (КП)	Нет	
курсовая работа (КР)	Нет	
<b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>	

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

		Контактная работа, ак. час.							
№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
				Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
		Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС
<b>1. Обзор области высокопроизводительных вычислений. Архитектуры современных ВС, технологии и средства</b>									
	1. Введение. Высокопроизводительные вычислительные системы.	1							
	2. Балансировка вычислительной нагрузки по процессам (нитьям).	1	1						
	3. Замер времени выполнения программы. Оптимизация компилятора. Ускорение и эффективность параллельной программы.	2	1						
	4. Работа на кластере СФУ.			2	1				
	5. Обзор области высокопроизводительных вычислений. Архитектуры современных ВС, технологии и средства согласованного параллельного программирования							44	
<b>2. Технология OpenMP</b>									
	1. Введение в технологию OpenMP. Основная идея.	2	1						

2. Технология OpenMP. Способы распределения работы по нитям.	2	1						
3. Технология OpenMP. Способы синхронизации нитей.	2	1						
4. Программная модель OpenMP.			4	2				
5. Технология OpenMP. Способы распределения работы по нитям.			4	4				
6. Технология OpenMP. Синхронизация нитей. Эффективность применения технологии OpenMP для различных типов алгоритмов.			4	4				
7. Технология OpenMP							41	
<b>3. Технология MPI</b>								
1. Введение в технологию MPI.	2	1						
2. Двухточечные обмены в библиотеке MPI.	2	1						
3. Коллективные обмены в библиотеке MPI.	2	1						
4. Создание приложения с помощью библиотеки MPI. Различные способы двухточечного обмена в MPI.			4	4				
5. Двухточечные обмены пакетами сообщений (отложенные операции обмена сообщениями). Коллективные обмены в MPI. Эффективность применения технологии MPI для различных типов алгоритмов.			4	8				
6. Технология MPI							32	
<b>4. Совмещение технологий OpenMP и MPI при программировании для SMP-узловых кластеров Совмещение технологий</b>								
1. Архитектура современного высокопроизводительного кластера. Совмещение технологий OpenMP и MPI. Эффективность гибридных программ.	2	1						
2. Сравнение и совмещение технологий OpenMP и MPI.			4	4				
3. Выполнение индивидуального задания			12	24				

4. Совмещение технологий OpenMP и MPI при программировании для SMP-узловых кластеров							43	
Всего	18	9	38	51			160	

## 4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 4.1 Печатные и электронные издания:

1. Сиротинина Н. Ю., Миркес Е. М., Каропова Е. Д. Параллельные вычислительные системы: учебно-методический комплекс дисциплины (Красноярск: ИПК СФУ).
2. Каропова Е. Д., Кузьмин Д. А., Легалов А. И., Редькин А. В., Удалова Ю. В., Федоров Г. А. Средства разработки параллельных программ: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины(Красноярск: ИПК СФУ).
3. Антонов А. С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по напр. 010400 "Прикладная математика и информатика", 010300 "Фундаментальная информатика и информационные технологии"(Москва: Изд-во Московского университета).
4. Гергель В. П. Современные языки и технологии параллельного программирования: учебник для студентов вузов, обуч. по направлениям 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундаментальная информатика и информационные технологии"(Москва: Издательство Московского университета).
5. Дал У. -, Дейкстра Э. У., Хоор К. А., Любимский Э. З., Мартынюк В. В. Структурное программирование: перевод с английского(Москва: Мир).
6. Воеводин В. В. Математические модели и методы в параллельных процессах: монография(Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.).
7. Ортега Д. М., Икрамов Х. Д., Капорин И. Е., Икрамов Х. Д. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем(Москва: Мир).
8. Гергель В. П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем: учебник для студентов вузов (Москва: Изд-во МГУ).
9. Корняков К. В., Кустикова В. Д., Мееров И. Б., Сиднев А. А., Сысоев А. В., Шишков А. В., Гергель В. П. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью: учебник для студентов вузов(Москва: Изд-во МГУ).
10. Линев А. В., Боголепов Д. К., Бахраков С. И., Гергель В. П. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур: учебник для студентов вузов(Москва: Изд-во МГУ).
11. Старченко А. В., Данилкин Е. А., Лаева В. И., Проханов С. А., Старченко А. В. Практикум по методам параллельных вычислений: учебник для студентов вузов(Москва: Изд-во МГУ).
12. Малышкин В. Э., Корнеев В. Д. Параллельное программирование мультимедийных компьютеров: [учебник для вузов](Новосибирск: Издательство НГТУ).
13. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы(Москва: Питер).
14. Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы: принципы и парадигмы: монография(Санкт-Петербург: Питер).

15. Богачёв К.Ю. Основы параллельного программирования: учебное пособие(Москва: БИНОМ).
16. Рихтер Дж Windows для профессионалов: создание эффективных Win32 приложений с учетом специфики 64-разрядной версии Windows(СПб.: Питер).
17. Кареева Е. Д. Основы многопоточного и параллельного программирования: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Прикладная математика и информатика" и "Фундаментальная информатика и информационные технологии"(Красноярск: СФУ).

**4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Лекционные занятия должны проводиться в аудитории, оснащенной проекционным оборудованием, обеспечивающим показ компьютерных презентаций. Используемый при этом компьютер должен быть оснащен программным обеспечением, позволяющим выполнять необходимые примеры программного кода.
2. Компьютер может быть оснащен любой из операционных систем, обеспечивающих поддержку инструментальных средств, необходимых для проведения занятий. В настоящее время основной упор сделан на использование операционной системы Windows. Однако возможно и использование ОС Linux, которая содержит программные средства, позволяющие использовать как уже разработанное методическое обеспечение, так и применяемые программы.
3. Для успешного проведения лекционных занятий необходимо обеспечить показ презентаций в формате MS Power Point и Adobe Acrobat Reader. Внимание! Презентации содержат специфические объекты и плохо отображаются в формате Open Office.
4. Также необходимо иметь установленные средства для отображения исходных текстов программ на используемых в примерах языках программирования (C++, C). В простейшем случае это могут быть обычные текстовые редакторы. Однако целесообразнее использовать текстовые редакторы с подсветкой синтаксиса или среды разработки, обеспечивающие отображение исходных текстов с подсветкой. Желательна установка ПО со средой разработки, позволяющей собрать проект, откомпилировать и запустить его как в обычном режиме, так и в режиме отладки. Для ОС Windows – это может быть как продукт Visual C, входящий в пакет Microsoft Visual Studio версии не ниже 6.0. Возможно использование более простой среды, например, Borland C или свободно распространяемого компилятора MinGW C++.

5. Помимо этого целесообразно иметь выход в сеть Сибирского федерального университета для подключения к суперкомпьютеру, имеющимся кластерным системам и вычислительным системам с многоядерной архитектурой.

#### **4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Не требуется.

#### **5 Фонд оценочных средств**

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

#### **6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Лекционные занятия должны проводиться в аудитории, оснащенной проекционным оборудованием, обеспечивающим показ компьютерных презентаций.

Лабораторные работы должны проводиться в компьютерном классе. Желательно, чтобы используемые компьютеры были многоядерными (многопроцессорными системами на общей памяти).

Для проведения лабораторных работ необходим доступ к одному из высокопроизводительных кластеров по протоколам ssh и sftp.