

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОГЛАСОВАНО**

**Заведующий кафедрой**

**Базовая кафедра**  
**вычислительных и**  
**информационных технологий**  
**(ВиИТ\_ФМиИ)**  
наименование кафедры

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий ОП ВО

**УТВЕРЖДАЮ**

**Заведующий кафедрой**

**Базовая кафедра вычислительных**  
**и информационных технологий**  
**(ВиИТ\_ФМиИ)**

наименование кафедры

**д-р физ.-мат. наук Шайдуров В.В.**

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий дисциплину

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ С**  
**ПРИМЕНЕНИЕМ**  
**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ**  
**ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Дисциплина Б1.В.03 Математическое моделирование с применением  
высокопроизводительных вычислений

Направление подготовки / 02.04.01 Математика и компьютерные науки  
специальность Магистерская программа 02.04.01.01  
Математическое и компьютерное

Направленность  
(профиль)

Форма обучения

очная

Год набора

2020

Красноярск 2021

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования с учетом профессиональных стандартов по укрупненной группе

020000 «КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ НАУКИ»

Направление подготовки /специальность (профиль/специализация)

Направление 02.04.01 Математика и компьютерные науки Магистерская программа 02.04.01.01 Математическое и компьютерное моделирование

Программу к.ф.-м.н., доцент, Кареева Е.Д.  
составили

## 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

<b>ПК-4:Способен использовать современные методы разработки и реализации алгоритмов на базе языков программирования и пакетов прикладных программ</b>	
Уровень 1	Современные методы разработки алгоритмов на базе языков программирования
Уровень 2	Современные методы разработки алгоритмов и реализации алгоритмов на базе языков программирования
Уровень 3	Современные методы разработки алгоритмов и реализации алгоритмов на базе языков программирования, а также пакеты прикладных программ
Уровень 1	Реализовывать данные методы на базе языков программирования
Уровень 2	Разрабатывать и реализовывать данные методы на базе языков программирования
Уровень 3	Разрабатывать и реализовывать данные методы на базе языков программирования, а также с помощью пакетов прикладных программ
Уровень 1	Навыком пользования пакетом прикладных программ
Уровень 2	Навыком пользования пакетом прикладных программ, а так же навыком реализации приложений с помощью языков программирования
Уровень 3	Навыком пользования пакетом прикладных программ, а так же навыком реализации и разработки приложений с помощью языков программирования
<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>	
Уровень 1	Текущие математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе
Уровень 2	Текущие математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, а также базовые приемы исследования таких моделей
Уровень 3	Текущие математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, а также базовые приемы разработки и исследования таких моделей
Уровень 1	Исследовать базовые математические модели в естественных науках,

	промышленности и бизнесе
Уровень 2	Исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе
Уровень 3	Исследовать и разрабатывать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе
Уровень 1	Навыком программирования полученных моделей с учетом возможностей современных информационных технологий
Уровень 2	Навыком программирования и исследования полученных моделей с учетом возможностей современных информационных технологий
Уровень 3	Навыком программирования и исследования полученных моделей с учетом возможностей современных информационных технологий и компьютерной визуализации

#### 1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Высокопроизводительные вычисления» согласно учебному плану является обязательной дисциплиной вариативной части профессионального цикла (Б1.В.ОД.5) по направлению 02.04.01 «Математика и компьютерные науки».

Дисциплина изучается в первом семестре магистратуры и направлена на продолжение формирования основных общенаучных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций студента.

Изучение дисциплины опирается на базовые знания о параллельном и многопоточном программировании, полученных в бакалавриате и позволяет углубленно изучить теорию и практику согласованного параллельного программирования.

При изучении дисциплины «Высокопроизводительные вычисления» студенты, в соответствии с квалификационной характеристикой, должны использовать знания, полученные при изучении следующих дисциплин бакалаврской программы:

- дискретная математика;
- математическое моделирование;
- базы данных
- численные методы;
- операционные системы;
- языки и технологии программирования;
- параллельное программирование.

Информация, полученная при изучении дисциплины «Высокопроизводительные вычисления», с одной стороны продолжает цикл дисциплин, связанных с информатикой, программированием (в том числе многопоточном и параллельном) и вычислительной техникой на уровне бакалавриата, с другой стороны дает возможность самостоятельного применения параллельного программирования в

будущей профессиональной деятельности.

1.5 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется с применением ЭО и ДОТ

<https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=11690>

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		1
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>7 (252)</b>	<b>7 (252)</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>1,58 (57)</b>	<b>1,58 (57)</b>
занятия лекционного типа	0,53 (19)	0,53 (19)
занятия семинарского типа		
в том числе: семинары		
практические занятия	1,06 (38)	1,06 (38)
практикумы		
лабораторные работы		
другие виды контактной работы		
в том числе: групповые консультации		
индивидуальные консультации		
иная внеаудиторная контактная работа:		
групповые занятия		
индивидуальные занятия		
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>4,42 (159)</b>	<b>4,42 (159)</b>
изучение теоретического курса (ТО)		
расчетно-графические задания, задачи (РГЗ)		
реферат, эссе (Р)		
курсовое проектирование (КП)	Нет	Нет
курсовая работа (КР)	Нет	Нет
<b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>	<b>1 (36)</b>

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

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

№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа (акад. час)	Занятия семинарского типа		Самостоятельная работа, (акад. час)	Формируемые компетенции
			Семинары и/или Практические занятия (акад. час)	Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Обзор области высокопроизводительных вычислений. Архитектуры современных ВС, технологии и средства согласованного параллельного программирования	5	2	0	43	
2	Технология OpenMP	6	12	0	41	
3	Технология MPI	6	8	0	32	
4	Совмещение технологий OpenMP и MPI при программировании для SMP-узловых кластеров Совмещение технологий OpenMP и MPI при программировании для SMP-узловых кластеров	2	16	0	43	
Всего		19	38	0	159	



### 3.2 Занятия лекционного типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	Введение. Высокопроизводительные вычислительные системы.	1	0	0
2	1	Балансировка вычислительной нагрузки по процессам (нитьям).	2	0	1
3	1	Замер времени выполнения программы. Оптимизация компилятора. Ускорение и эффективность параллельной программы.	2	0	1
4	2	Введение в технологию OpenMP. Основная идея.	2	0	1
5	2	Технология OpenMP. Способы распределения работы по нитьям.	2	0	1
6	2	Технология OpenMP. Способы синхронизации нитей.	2	0	1
7	3	Введение в технологию MPI.	2	0	1
8	3	Двухточечные обмены в библиотеке MPI.	2	0	1
9	3	Коллективные обмены в библиотеке MPI.	2	0	1
10	4	Архитектура современного высокопроизводительного кластера. Совмещение технологий OpenMP и MPI. Эффективность гибридных программ.	2	0	1
Всего			10	0	0

### 3.3 Занятия семинарского типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	Работа на кластере СФУ.	2	0	1
2	2	Программная модель OpenMP.	4	0	2
3	2	Технология OpenMP. Способы распределения работы по нитям.	4	0	4
4	2	Технология OpenMP. Синхронизация нитей. Эффективность применения технологии OpenMP для различных типов алгоритмов.	4	0	4
5	3	Создание приложения с помощью библиотеки MPI. Различные способы двухточечного обмена в MPI.	4	0	4
6	3	Двухточечные обмены пакетами сообщений (отложенные операции обмена сообщениями). Коллективные обмены в MPI. Эффективность применения технологии MPI для различных типов алгоритмов.	4	0	8
7	4	Сравнение и совмещение технологий OpenMP и MPI.	4	0	4
8	4	Выполнение индивидуального задания	12	0	24
Всего			28	0	51

### 3.4 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
Всего					

#### 4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	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, 2016

#### 5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

#### 6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

6.1. Основная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Сиротинина Н. Ю., Миркес Е. М., Кареева Е. Д.	Параллельные вычислительные системы: учебно-методический комплекс дисциплины	Красноярск: ИПК СФУ, 2007
Л1.2	Кареева 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, 2007
Л1.3	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, 2012

Л1.4	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, 2012
6.2. Дополнительная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Дал У. -, Дейкстра Э. У., Хоор К. А., Любимский Э. З., Мартынюк В. В.	Структурное программирование: перевод с английского	Москва: Мир, 1975
Л2.2	Воеводин В. В.	Математические модели и методы в параллельных процессах: монография	Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986
Л2.3	Ортега Д. М., Икрамов Х. Д., Капорин И. Е., Икрамов Х. Д.	Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем	Москва: Мир, 1991
Л2.4	Гергель В. П.	Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем: учебник для студентов вузов	Москва: Изд-во МГУ, 2010
Л2.5	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, 2010
Л2.6	Линев А. В., Боголепов Д. К., Бастраков С. И., Гергель В. П.	Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур: учебник для студентов вузов	Москва: Изд-во МГУ, 2010
Л2.7	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, 2010
Л2.8	Мальшкин В. Э., Корнеев В. Д.	Параллельное программирование мультимедийных компьютеров: [учебник для вузов]	Новосибирск: Издательство НГТУ, 2011
Л2.9	Таненбаум Э., Бос Х.	Современные операционные системы	Москва: Питер, 2015

Л2.1 0	Таненбаум Э., ван Стеен М.	Распределенные системы: принципы и парадигмы: монография	Санкт-Петербург: Питер, 2003
Л2.1 1	Богачёв К.Ю.	Основы параллельного программирования: учебное пособие	Москва: БИНОМ, 2015
Л2.1 2	Рихтер Дж	Windows для профессионалов: создание эффективных Win32 приложений с учетом специфики 64-разрядной версии Windows	СПб.: Питер, 2001
<b>6.3. Методические разработки</b>			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	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, 2016

### **7 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Э1	Информационно-аналитические материалы по параллельным вычислениям	<a href="http://www.parallel.ru">http://www.parallel.ru</a>
Э2	Информационно-аналитические материалы Центра компьютерного моделирования Нижегородского университета	<a href="http://www.hpcc.unn.ru/">http://www.hpcc.unn.ru/</a>
Э3	Информационные материалы по MPI	<a href="http://www.mpi-forum.org">http://www.mpi-forum.org</a>
Э4	Информационные материалы по OpenMP	<a href="http://openmp.org">http://openmp.org</a>
Э5	Материалы по многопоточному программированию и стандарту POSIX. Multi-Threaded Programming With POSIX Threads	<a href="http://users.actcom.co.il/~choo/lupg/tutorials/multi-thread/multi-thread.html">http://users.actcom.co.il/~choo/lupg/tutorials/multi-thread/multi-thread.html</a>
Э6	Национальный открытый университет. Курсы по суперкомпьютерным технологиям	<a href="http://www.intuit.ru/studies/courses?service=0&amp;option_id=95&amp;service_path=1">http://www.intuit.ru/studies/courses?service=0&amp;option_id=95&amp;service_path=1</a>
Э7	Портал научной группы профессора Кутепова Виталия Павловича	<a href="http://psipv.appmat.ru/content/education/PsipvPlan.aspx">http://psipv.appmat.ru/content/education/PsipvPlan.aspx</a>
Э8	Портал «Топ 500 Supercomputers Sites»	<a href="http://www.top500.org">http://www.top500.org</a>
Э9	Сайт компании Intel	<a href="http://www.intel.com">http://www.intel.com</a>
Э10	Сайт, посвященный библиотеке LinPack	<a href="http://www.netlib.org/linpack">http://www.netlib.org/linpack</a>
Э11	Сайт профессора А.И. Легалова с публикациями по моделям параллельных вычислений и методам	<a href="http://www.softcraft.ru">http://www.softcraft.ru</a>

	параллельного программирования	
Э12	Спецификации стандарта MPI	<a href="http://www.mpi-forum.org/docs/docs.html">http://www.mpi-forum.org/docs/docs.html</a>
Э13	Спецификации стандарта OpenMP	<a href="http://openmp.org/wp/openmp-specifications/">http://openmp.org/wp/openmp-specifications/</a>
Э14	Учебный курс «Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование» \\ Нижегородский госуниверситет им. Н.И.Лобачевского. Факультет Вычислительной математики и кибернетики. Авторский коллектив под руководством проф. Гергеля В.П.:	<a href="http://www.software.unn.ac.ru/ccam/mskurs/RUS/HTML/cs338_ppr_materials.htm">http://www.software.unn.ac.ru/ccam/mskurs/RUS/HTML/cs338_ppr_materials.htm</a>
Э15	Patrick Lam. Course ECE 459: Programming for Performance	<a href="http://patricklam.ca/p4p/notes/">http://patricklam.ca/p4p/notes/</a>

## **8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Занятия лекционного типа проводятся в традиционном виде, а также, если возможно, в виде on-line интерактивных видеоконференций с возможностью получения вопросов от студентов и оперативного ответа на них преподавателя.

Лекционный материал сопровождается презентациями и демонстрацией примеров программ, в том числе, с помощью удаленной работы на одной из доступных высокопроизводительных систем.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации в зависимости от нозологии:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

## **9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **9.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

9.1.1	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.
9.1.2	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.
9.1.3	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.
9.1.4	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++.
9.1.5	Помимо этого целесообразно иметь выход в сеть Сибирского федерального университета для подключения к суперкомпьютеру, имеющимся кластерным системам и вычислительным системам с многоядерной архитектурой.

## 9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем

9.2.1	Не требуется.
-------	---------------

## 10 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.