

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова  
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала МГУ в городе  
Сарове

/В.В. Восовдин/



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Параллельное программирование**

---

**Уровень высшего образования:**

**магистратура**

---

**Направление подготовки / специальность:**

**02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" (3++)**

---

**Направленность (профиль)/специализация ОПОП:**

**Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика**

---

**Форма обучения:**

**очная**

---

Саров 2022

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" программы магистратуры - приказ МГУ 30 августа 2019 года № 1054 (в редакции приказа МГУ от 11 сентября 2019 года № 1109)

## **1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Параллельное программирование

## **2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Подготовка научно-педагогических кадров в магистратуре.

## **3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ**

Направление 02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии". Направленность (профиль) Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика.

## **4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина входит в вариативную часть магистерской образовательной программы «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных», изучается в 1-м семестре.

## **5. АННОТАЦИЯ**

Современная наука, передовые инновационные технологии не могут развиваться без использования высокопроизводительных вычислительных систем. На переднем фронте этих систем находятся системы с рекордной производительностью - суперкомпьютеры. Умение ставить и реализовывать задачи для таких систем является неотъемлемой частью профессиональной подготовки специалистов во многих областях, и, в первую очередь, для специалистов по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика». Постоянное развитие аппаратных возможностей высокопроизводительных систем диктуют актуальность задачи изучения и освоения методов разработки программного обеспечения для таких систем. Курс «Параллельное программирование» посвящен изучению и освоению на практике базовых технологий параллельного программирования для высокопроизводительных вычислительных систем. Рассматриваются основы параллельных вычислений, особенности архитектур современных высокопроизводительных вычислительных систем, технологии параллельного программирования MPI, OpenMP, OpenACC. Особое внимание в курсе уделяется проблемам эффективности и надежности параллельных программ. Теоретические занятия по курсу сопровождаются практикумом, в рамках которого студенты разрабатывают параллельные программы и исследуют эффективность их выполнения.

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ**

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
<p>УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий, формулировать научно-обоснованные гипотезы, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности.</p>	<p><b>Знать</b> историю развития прикладной математики и информатики, особенности возникновения и развития основных методов, понятий, идей, научных теорий в прикладной математике и информатике; методы критического анализа проблемных ситуаций в области прикладной математики и информатики; методологию научного познания.</p> <p><b>Уметь</b> Критически анализировать проблемные ситуации в области прикладной математики и информатики на основе системного подхода</p> <p><b>Владеть</b> Способен формулировать научно-обоснованные гипотезы в профессиональной области.</p>
<p>ОПК-3. Способен создавать и анализировать математические и информационные модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные результаты и создавать инновационные методы решения задач в области информатики и математического моделирования.</p>	<p><b>Знать:</b> математические и информационные модели, необходимые для решения задач, связанных с реализацией профессиональной деятельности.</p> <p><b>Уметь:</b> применять математические и информационные модели для решения задач, связанных с реализацией профессиональной деятельности с учетом их ограничений и границы применимости.</p> <p><b>Владеть:</b> способность создавать инновационные методы решения задач, связанных с реализацией профессиональной деятельности.</p>
<p>ПК-2. Способен в рамках задачи, поставленной специалистом более высокой квалификации, проводить научные исследования и (или) осуществлять разработки в области информатики и информационно-коммуникационных технологий с получением научного и (или) научно-практического результата.</p>	<p><b>Знать:</b> Принципы выбора математических моделей реальных явлений и процессов; типовые методы и алгоритмы исследования моделей реальных явлений и процессов.</p> <p><b>Уметь:</b> создавать алгоритмические и математические модели типовых прикладных задач; проводить формализацию задачи, строить описательные и прогнозные модели с помощью современных программных аналитических средств, оценивать и интерпретировать полученные результаты.</p> <p><b>Владеть:</b> опыт проведения научных исследований в области информатики и информационно-коммуникационных технологий с получением научного или научно-практического результата.</p>
<p>МПК-1 Способность понимать и применять в исследовательской и</p>	<p><b>Знать:</b></p>

<p>прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах.</p>	<p>масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, используемые при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах;  <b>Уметь:</b>  разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах;  <b>Владеть:</b>  навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации.</p>
---	---

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

## 7. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов.

72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 часов занятий лекционного типа, 36 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 0 часов групповых консультаций, 0 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 4 часа промежуточной аттестации.

36 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

## 8. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям, дискретной математике, программированию на языке C/C++, алгоритмам и структурам данных, основам параллельного программирования.

## 9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются элементы дистанционных технологий обучения: все материала курса (презентации лекций, теоретические задания в форме тестов с автоматической проверкой ответов, практические задания по программированию и т.д.) доступны всем студентам в сети Интернет. Практические задания выполняются 1) использованием технологии параллельного программирования MPI; 2) с использованием технологии параллельного программирования OpenMP; 3) с использованием технологии параллельного программирования OpenACC. По результатам практических заданий студенты оформляют отчеты.

## 10. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
<b>Архитектура параллельных вычислительных систем. Введение в распределенные вычисления</b>										
<b>Тема 1. Архитектура параллельных вычислительных систем. Классификация. Векторно-конвейерные компьютеры. Параллельные компьютеры с общей памятью. Вычислительные системы с распределенной памятью. Гибридные архитектуры</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>

<b>Тема 2. Распределенные и параллельные файловые системы</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 3. Распределенная разделяемая память (DSM). Модели консистентности памяти</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 4. Процессы и нити. Взаимодействующие процессы. Канал передачи данных, его свойства. Виды обменов. Синхронные, асинхронные буферизованные и небуферизованные. Односторонние коммуникации</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 5. Вычислительные ресурсы МГУ им. М.В. Ломоносова. Системное и прикладное программное обеспечение. Менеджеры управления ресурсами. Системы управления прохождением задач.</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Основы параллельного программирования</b>										
<b>Тема 6. Базовые параллельные методы. Метод сдваивания. Метод геометрического параллелизма. Метод конвейерно-</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>

го параллелизма										
Тема 7. Параллельные методы умножения матрицы на вектор. Параллельные методы умножения матриц. Параллельные методы обработки графов. Методы параллельной сортировки данных	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 8. Ускорение, эффективность параллельных алгоритмов. Закон Амдала. Слабая и сильная масштабируемость. Оценка времени выполнения обменов	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 9. Методы и подходы для оптимизации последовательных и параллельных программ. Инструментальные средства для профилирования и анализа производительности	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 10. Методы и средства функциональной отладки параллельных программ. Динамический контроль корректности, сравнительная отладка	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2

<b>Модели и технологии параллельного программирования</b>										
<b>Тема 11. Модель общей памяти. Технология OpenMP</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 12. Модель передачи сообщений. Технология MPI</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 13. Модель параллелизма по данным. Технология DVM</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 14. Гибридная модель программирования MPI/OpenMP</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 15. Разработка гетерогенных параллельных программ с помощью OpenACC</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 16. Альтернативные технологии параллельного программирования. Unified Parallel C. Co-array Fortran. Chapel. X10</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 17. Автоматизация разработки параллельных программ</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>
<b>Тема 18. Отказы в распределенных системах. Контрольные точки. Отказоустойчивость. User Level</b>	<b>6</b>	2	2	-	-	-	<b>4</b>	2	-	<b>2</b>

<b>Failure Mitigation</b>										
<b>Итого</b>	<b>108</b>						<b>72</b>			<b>36</b>

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

## 12. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература:

- 1) Якобовский М.В. Введение в параллельные методы решения задач. Учебное пособие. Серия: "Суперкомпьютерное образование". Издательство МГУ. 2013.
- 2) Лацис А.О. Параллельная обработка данных: учеб. пособие для студ. вузов. Издательский центр "Академия". 2010. Издательство: Академия.
- 3) Вл. В. Воеводин, В. В. Воеводин. Параллельные вычисления - СПб., БХВ-Петербург, 2002, 608 с.
- 4) Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: Учеб. пособие. Предисл.: В.А.Садовничий. - Серия "Суперкомпьютерное образование". М.: Издательство Московского университета, 2012.-344 с.

Дополнительная учебно-методическая литература:

- 1) OpenMP Application Programming Interface. Version 5.1. November, 2020. URL: <https://www.openmp.org/wp-content/uploads/OpenMP-API-Specification-5-1.pdf>
- 2) MPI: A Message-Passing Interface Standard. Version 4.0 (Draft). November 15, 2020. URL: <https://www.mpi-forum.org/docs/drafts/mpi-2020-draft-report.pdf>
- 3) The OpenACC Application Programming Interface. Version 3.1. November, 2020. URL: <https://www.openacc.org/sites/default/files/inline-images/Specification/OpenACC-3.1-final.pdf>
- 4) Э. Таненбаум, М. ван Стеен. Распределенные системы. Принципы и парадигмы - М.: Питер, 2003 - 876 с. - Классика computer science; ISBN 5-272-00053-6

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://dvm-system.org>
- 2) <http://x10-lang.org/>
- 3) <https://chapel-lang.org/>
- 4) <https://fault-tolerance.org>

- 5) <https://upc.lbl.gov/>
- 6) <http://hpc.cs.msu.ru/>
- 7) <https://parallel.ru/cluster/lomonosov2.html>

Лицензионное программное обеспечение, в том числе отечественного производства  
 При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86\_64
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86\_64
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrains PyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrains CLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team

21. Программный продукт Haskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Информационные технологии, используемые в процессе обучения: в процессе обучения используются приложения Google Docs, среда разработки MS Visual Studio, технологии параллельного программирования MPI, OpenMP, OpenACC, DVM.

Материально-техническая база: для преподавания дисциплины аудитория, оборудованная проектором.

### **13. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ**

Русский

### **14. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ**

к.ф.- м.н., доцент Бахтин Владимир Александрович (bakhtin@cs.msu.ru)

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Параллельное программирование»**

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – онлайн тестирования и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
З1 (ОПК-5) Знать: современные суперкомпьютерные технологии для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	В целом сформированные, но неполные знания о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	Сформированные систематические знания о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	онлайн тестирование, экзамен
У1 (ОПК-5) Уметь:	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в применении в	В целом сформированное, но не систе-	Сформированное, но содержащее отдель-	Сформированное систематическое	домашние задания,

<p>применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>		<p>исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>математическое умение в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>ные пробелы умение в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>умение в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>практические задания по параллельному программированию</p>
<p>В1 (ОПК-5) Владеть: навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>В целом сформированное, но не систематическое владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных сис-</p>	<p>Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вы-</p>	<p>Сформированное систематическое владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычисли-</p>	<p>домашние задания, практические задания по параллельному программированию</p>

современных высокопроизводительных вычислительных системах			темах	числительных системах	тельных системах	
32 (МПК-2) Знать: масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, используемые при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	В целом сформированные, но неполные знания о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	Сформированные систематические знания о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	онлайн тестирование, экзамен
У2 (МПК-2) Уметь: разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы для проведения крупномас-	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных	В целом сформированное, но не систематическое умение в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического моделирования и	Сформированное систематическое умение в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического моделирования и	домашние задания, практические задания по параллельному программированию

штабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах		системах	данных на суперкомпьютерных системах	обработки данных на суперкомпьютерных системах	обработки данных на суперкомпьютерных системах	
В2 (МПК-2) Владеть: навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владения навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	Сформированное систематическое владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	домашние задания, практические задания по параллельному программированию
З3 (МПК-3) Знать: основные методы и подходы для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	В целом сформированные, но неполные знания об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	Сформированные систематические знания об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	онлайн тестирование, экзамен
У3 (МПК-3) Уметь: оценивать эффективность	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в оценке эффективности распределенных алгоритмов	В целом сформированное, но не систематическое умение в оценке эффективно-	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение в оценке эффектив-	Сформированное систематическое умение в оценке эффективности рас-	домашние задания, практические задания по па-

распределенных алгоритмов			сти распределенных алгоритмов	ности распределенных алгоритмов	предельных алгоритмов	раллельному программированию
ВЗ (МПК-3) Владеть: навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	Сформированное систематическое владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	домашние задания, практические задания по параллельному программированию

## Фонды оценочных средств

### Примерный online-тест для текущего контроля успеваемости.

#### Вопросы

Технология программирования OpenMP

Найдите ошибку в следующем фрагменте программы:

```
#define N 10
int A[N];
#pragma omp parallel for
for(int i = 1; i < 100; i++) {
    A[i] = A[i-1] + A[i+1]
}
```

- такой цикл нельзя выполнять параллельно, т.к. между витками цикла существует зависимость по данным
- не определен класс (private или shared) для индексной переменной цикла i
- массив A должен быть объявлен общим (shared) для всех нитей
- в данном фрагменте программы ошибки нет

Найдите ошибку в следующем фрагменте программы:

```
#pragma omp parallel default(shared)
{
    int i;
    #pragma omp for lastprivate(i)
    for (i=0; i<n; i++) {
        i+=2;
        work(i);
    }
}
```

- индексная переменная цикла, витки которого распределяются между нитями при помощи директивы for, не может быть указана в клаузе lastprivate
- изменение значения индексной переменной цикла for внутри цикла (при помощи оператора i+=2) не допускается
- в данном фрагменте программы ошибки нет

### Типовые домашние задания.

1. В транспьютерной матрице размером  $4 \times 4$ , в каждом узле которой находится один процесс, необходимо выполнить операцию передачи сообщения длиной  $N$  байт всем процессам от одного (MPI\_BCAST) - процесса с координатами  $(0,0)$ . Получить временную оценку работы алгоритма. Оценить сколько времени потребуется для выполнения операции MPI\_BCAST, если все процессы выдали ее одновременно. Время старта равно 100, время передачи байта равно 1 ( $T_s=100$ ,  $T_b=1$ ). Процессорные операции, включая чтение из памяти и запись в память, считаются бесконечно быстрыми.
2. В транспьютерной матрице размером  $4 \times 4$ , в каждом узле которой находится один процесс, необходимо выполнить операцию нахождения максимума среди 16 чисел (каждый процесс имеет свое число). Найденное максимальное значение должно быть получено на процессе с координатами  $(0,0)$ . Оценить сколько времени потребуется для выполнения операции MPI\_REDUCE, если все процессы выдали эту операцию редукиции одновременно. Время старта равно 100, время передачи байта равно 1 ( $T_s=100$ ,  $T_b=1$ ). Процессорные операции, включая чтение из памяти и запись в память, считаются бесконечно быстрыми.
3. В транспьютерной матрице размером  $4 \times 4$ , в каждом узле которой находится один процесс, необходимо переслать очень длинное сообщение (длиной  $L$  байт) из узла с координатами  $(0,0)$  в узел с координатами  $(3,3)$ . Сколько времени потребуется для этого, если передача сообщений точка-точка выполняется в буферизуемом режиме MPI? А сколько времени потребуется при использовании синхронного режима и режима готовности? Время старта равно 100, время передачи байта равно 1 ( $T_s=100$ ,  $T_b=1$ ). Процессорные операции, включая чтение из памяти и запись в память, считаются бесконечно быстрыми.
4. Консистентное и строго консистентные множества контрольных точек. Дайте оценку накладных расходов на синхронную фиксацию строго консистентного множества контрольных точек для сети из 10 ЭВМ с шинной организацией (без аппаратных возможностей ширококовещания), если накладные расходы на синхронную фиксацию консистентного множества равны  $T_1$ . Время старта (время "разгона" после получения доступа к шине для передачи сообщения) равно 100, время передачи байта равно 1 ( $T_s=100$ ,  $T_b=1$ ). Доступ к шине ЭВМ получают последовательно в порядке выдачи запроса на передачу (при одновременных запросах - в порядке номеров ЭВМ). Процессорные операции, включая чтение из памяти и запись в память, считаются бесконечно быстрыми.

### Примерные практические задания по параллельному программированию.

1. С помощью технологии OpenMP[MPI|OpenACC|DVM] разработать программу для решения системы линейных алгебраических уравнений.
2. С помощью технологии OpenMP[MPI|OpenACC|DVM] разработать программу, которая выполняет умножение 2-х-матриц.
3. С помощью технологии OpenMP[MPI|OpenACC|DVM] разработать программу, которая выполняет сортировку большого массива данных.

4. Ускорить выполнение MPI-программы, за счет ее дополнительного распараллеливания с помощью технологий OpenMP|OpenACC.
5. Ускорить выполнение программы за счет использования параллельного ввода-вывода.
6. Найти ошибку в параллельной программе.
7. Оптимизировать выполнение параллельной программы.
8. Реализовать контрольные точки в параллельной программе.
9. С помощью ULFM реализовать параллельную программу, устойчивую к сбою.

В каждом задании требуется:

- a) Реализовать параллельную версию программы.
- b) Исследовать масштабируемость полученной параллельной программы: построить графики зависимости времени исполнения от числа ядер/процессоров для различного объема входных данных. Для каждого набора входных данных найти количество ядер/процессоров, при котором время выполнения программы перестает уменьшаться. Оптимальным является построение трёхмерного графика: по одной из осей время работы программы, по другой - количество ядер/процессоров и по третьей - объём входных данных.
- c) Определить основные причины недостаточной масштабируемости программы при максимальном числе используемых ядер/процессоров.
- d) Подготовить отчет о выполнении задания, включающий: описание реализованного алгоритма, графики зависимости времени исполнения от числа ядер/процессоров для различного объема входных данных, текст программы.

#### **Примерные вопросы для экзамена на промежуточной аттестации.**

1. Архитектура параллельных вычислительных систем. Классификация. Векторно-конвейерные компьютеры. Параллельные компьютеры с общей памятью. Вычислительные системы с распределенной памятью. Гибридные архитектуры
2. Распределенные и параллельные файловые системы
3. Распределенная разделяемая память (DSM). Модели консистентности памяти
4. Процессы и нити. Взаимодействующие процессы. Канал передачи данных, его свойства. Виды обменов. Синхронные, асинхронные буферизованные и небуферизованные. Односторонние коммуникации
5. Вычислительные ресурсы МГУ имени М.В.Ломоносова. Системное и прикладное программное обеспечение. Менеджеры управления ресурсами. Системы управления прохождением задач.

6. Базовые параллельные методы. Метод сдваивания. Метод геометрического параллелизма. Метод конвейерного параллелизма
7. Параллельные методы умножения матрицы на вектор. Параллельные методы умножения матриц
8. Параллельные методы обработки графов
9. Методы параллельной сортировки данных
10. Ускорение, эффективность параллельных алгоритмов. Закон Амдала. Слабая и сильная масштабируемость. Оценка времени выполнения обменов
11. Методы и подходы для оптимизации последовательных и параллельных программ. Инструментальные средства для профилирования и анализа производительности
12. Методы и средства функциональной отладки параллельных программ. Динамический контроль корректности, сравнительная отладка
13. Модель общей памяти. Основные возможности технологии OpenMP
14. Модель передачи сообщений. Основные возможности технологии MPI
15. Модель параллелизма по данным. Основные возможности технологии DVM
16. Гибридная модель программирования MPI/OpenMP
17. Разработка гетерогенных параллельных программ с помощью OpenACC
18. Альтернативные технологии параллельного программирования. Unified Parallel C. Co-array Fortran. Chapel. X10
19. Автоматизация разработки параллельных программ
20. Отказы в распределенных системах. Контрольные точки. Отказоустойчивость. User Level Failure Mitigation

#### **Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Для контроля знаний студентов по данной дисциплине необходимо проводить текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль выполняется в виде защит практических и индивидуальных работ, проверки домашних заданий. Промежуточный контроль проводится в виде экзамена, на котором обсуждаются теоретические вопросы курса. Оценивание знаний, умений и навыков производится на основе балльно-рейтинговой системы. При рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах. Предполагается 5 форм контроля, по которым студенты получают баллы:

1. Посещаемость лекций (макс. 10 баллов).
2. Посещаемость семинаров (макс. 10 баллов).
3. Выполнение домашних заданий к каждой лекции (макс. 20 баллов).
4. Выполнение практических заданий по параллельному программированию (макс. 40 баллов).
5. Экзамен (макс. 20 баллов).

Итоговая оценка за курс рассчитывается исходя из набранных студентом баллов (от 0 до 100 баллов). Критерии оценок:

- «5»  $\geq$  90 баллов;
- «4»  $\geq$  70 баллов;
- «3»  $\geq$  50 баллов;
- «2»  $<$  50 баллов.