

19г
20

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



_____ К.С. Хорьков

« 30 » 08 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Параллельное программирование и основы суперкомпьютерных технологий

направление подготовки / специальность

_____ 01.03.02 Прикладная математика и информатика
(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

_____ Математическое и компьютерное моделирование, программирование и системный анализ
(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир

2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение математических моделей и методов параллельного программирования для многопроцессорных вычислительных систем, а также практическое освоение приемов и техник разработки параллельных программ.

Задачи:

- изучение основных понятий и принципов параллельных вычислений
- освоение современных технологий разработки параллельных программ
- овладение инструментарием разработки параллельных программ

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Параллельное программирование и основы суперкомпьютерных технологий» относится к дисциплинам обязательной части учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-2. Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	ОПК-2.1. Знает математические основы, основные положения и концепции в области программирования. ОПК-2.1. Умеет осуществлять обоснованный выбор математических и компьютерных методов, а также необходимого программного обеспечения при решении задач профессиональной деятельности. ОПК-2.3. Владеет навыками применения математических и компьютерных методов и программного обеспечения при решении конкретных задач.	Знать: расширенные знания в области математики; математические основы, основные положения и концепции в области программирования; архитектура языков программирования; основная терминология в области программного обеспечения; Уметь: осуществлять обоснованный выбор математических и компьютерных методов, а также необходимого программного обеспечения при решении задач профессиональной деятельности; Владеть навыками применения данных методов и программного обеспечения при решении конкретных задач;	Отчёты по лабораторным работам. Контрольные вопросы к лабораторным работам.
ОПК-4. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.1. Знает принципы работы и использования современных информационных технологий в профессиональной деятельности, основные требования информационной безопасности. ОПК-4.2. Умеет осуществлять обоснованный выбор необходимых информационных технологий при решении задач профессиональной деятельности. ОПК-4.3. Владеет практическими навыками использования информационно-коммуникационных технологий при решении задач профессиональной деятельности.	Знать: основные положения и концепции прикладного и системного программирования, архитектуры компьютеров и сетей; современные языки программирования; технологии создания и эксплуатации программных продуктов и программных комплексов; основные требования информационной безопасности; Уметь: осуществлять обоснованный выбор необходимых информационных технологий при решении задач профессиональной деятельности; Владеть • практическими навыками использования информационно-коммуникационных технологий при решении задач профессиональной деятельности;	Отчёты по лабораторным работам. Контрольные вопросы к лабораторным работам.
ОПК-5. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные	ОПК-5.1. Знает основные положения и концепции прикладного и системного программирования, архитектуры компьютеров и сетей. ОПК-5.2. Умеет разрабатывать	Знать: • принципы построения параллельных вычислительных систем и способы повышения их быстродействия; • особенности современных языков	Отчёты по лабораторным работам. Контрольные

<p>программы, пригодные для практического применения.</p>	<p>алгоритмы и компьютерные программы с использованием современных языков и инструментов программирования. ОПК-5.3. Владеет технологиями создания и эксплуатации программных продуктов и программных комплексов.</p>	<p>программирования для создания параллельных программ; Умеет: • разрабатывать параллельные алгоритмы и программы с использованием современных языков и инструментов программирования; Владеет: технологиями создания и эксплуатации программ для параллельных и высокопроизводительных вычислений;</p>	<p>вопросы к лабораторным работам. Контрольные вопросы к рейтинг-контролю.</p>
<p>ПК-1. Способен проектировать и реализовывать программное обеспечение в соответствии с требованиями</p>	<p>ПК-1.1. Знает методологии разработки программного обеспечения и технологии программирования, языки формализации функциональных спецификаций, принципы построения архитектуры программного обеспечения и виды архитектуры программного обеспечения, основные концепции и атрибуты качества программного обеспечения. ПК-1.2. Умеет проводить анализ исполнения требований, вырабатывать варианты их реализации, проводить оценку и обоснование рекомендуемых решений, выбирать и использовать средства и варианты реализации программного обеспечения. ПК-1.3. Владеть навыками оценки возможностей, времени и трудоемкости реализации требований к программному обеспечению, разработки и согласования технических спецификаций на программное обеспечение, формирования и предоставления отчетности в соответствии с установленными регламентами, проектирования структур данных, баз данных, программных интерфейсов.</p>	<p>Знать: возможности современных и перспективных средств разработки программных продуктов, технических средств; методологии разработки программного обеспечения и технологии программирования; методологии и технологии проектирования и использования баз данных; методы и средства проектирования программного обеспечения и баз данных; языки формализации функциональных спецификаций; принципы построения архитектуры программного обеспечения и виды архитектуры программного обеспечения; типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения; основные концепции и атрибуты качества программного обеспечения; механизмы авторизации и аутентификации; стили написания кода; Уметь: проводить анализ исполнения требований; вырабатывать варианты реализации требований; проводить оценку и обоснование рекомендуемых решений; выбирать средства и варианты реализации программного обеспечения; использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения; применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных, программных интерфейсов; Владеть: навыками оценки возможностей, времени и трудоемкости реализации требований к программному обеспечению; навыками согласования требований к программному обеспечению с заинтересованными сторонами; навыками оценки и согласования сроков выполнения поставленных задач; навыками разработки и согласования технических спецификаций на программное обеспечение; навыками формирования и предоставления отчетности в соответствии с установленными регламентами; навыками проектирования структур данных, баз данных, программных интерфейсов; • навыками выбора стиля написания кода;</p>	<p>Отчёты по лабораторным работам. Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p>

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Основы параллельных вычислений. Многопоточное программирование.	7	1-6	12	-	8	4	22	рейтинг-контроль №1
2	Стандарты и технологии разработки параллельных программ	7	7-12	12	-	20	8	37	рейтинг-контроль №2
3	Проблемные вопросы параллельного программирования	7	13-18	12	-	8	4	22	рейтинг-контроль №3
Всего за 7 семестр:		-	-	36	-	36	-	81	экзамен, 27
Наличие в дисциплине КИ/КР		-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине		-	-	36	-	36	-	81	экзамен, 27

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Основы параллельных вычислений. Многопоточное программирование.

1) Производительность вычислительных систем Единицы измерения производительности. Способы оценки.

2) Классификация вычислительных систем

3) Методы увеличения производительности вычислительных систем. Векторная обработка. Конвейерная обработка. Параллельная обработка.

4) Методы разработки параллельных программ. Распараллеливание данных. Распараллеливание команд.

5) Характеристики параллельных алгоритмов. Степень параллелизма. Ускорение. Эффективность.

6) Закон Амдала

7) Многозадачность. Процессы и потоки.

8) Реализация многозадачности в операционных системах, алгоритмы планирования.

9) Разработка многопоточных программ. POSIX/Windows Threads

10) Многопоточность в современных языках программирования. Объектно-ориентированный подход.

11) Пулы потоков

12) Локальное хранилище потока (Local Thread Storage)

Раздел 2. Стандарты и технологии разработки параллельных программ

13) Стандарт OpenMP. Назначение, поддержка в компиляторах. Переменные окружения, функции, директивы.

14) Разработка параллельных программ на основе OpenMP

15) Введение в высокопроизводительные и распределённые вычисления. Стандарт MPI

16) Разработка параллельных программ на основе MPI. Базовые функции, точечный обмен между процессами

17) Коллективный обмен между процессами.

Раздел 3. Проблемные вопросы параллельного программирования

18) Проблемы взаимодействия задач в параллельных программах. Гонки и тупики.

19) Объекты синхронизации взаимодействующих задач на основе блокировок

20) Алгоритмы неблокирующей синхронизации, атомарные операции

21) Параллельные структуры данных

- 22) Асинхронное программирование
- 23) Особенности параллельных программ для графических процессоров (GPU)

Содержание практических/лабораторных занятий по дисциплине

Лабораторная работа №1 Разработка многопоточных программ.

Функции WinAPI для создания потоков. Класс `std::thread`. Типовая модель параллельной программы. Ожидание завершения рабочих потоков. Измерение характеристик последовательного и параллельного алгоритма.

Лабораторная работа №2 Технология OpenMP

Изучение функций и директив OpenMP. Модель выполнения OpenMP-программы. Решение задач линейной алгебры средствами OpenMP.

Лабораторная работа №3 Стандарт MPI

Библиотечные реализации MPI. Типовая структура MPI-программы. Запуск MPI-программы. Утилита `mpirun/mpirxes`. Применение функции MPI для распределенных вычислений.

Лабораторная работа №4 Синхронизация и балансировка параллельных задач

Разработка многопоточной программы на платформе .Net. Использование общих данных в нескольких потоках. Динамическое распределение вычислений между потоками. Очереди ожидания потоков.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №1

- 1) Оценки производительности вычислительных систем (время, IPS, FLOPS).
- 2) Классификация вычислительных систем (по Флинну и по организации оперативной памяти). Особенности каждого класса систем.
- 3) Подходы, используемые для увеличения производительности вычислительных систем.
- 4) Свойства параллельных алгоритмов: степень параллелизма, зернистость, ускорение, эффективность. Закон Амдаля и его практический смысл.
- 5) Средняя степень параллелизма алгоритма сдвигания, скалярного умножения векторов, умножения матрицы на вектор. Примеры алгоритмов, обладающих идеальной степенью параллелизма.
- 6) Подходы к распараллеливанию алгоритмов: на основе параллелизма данных и параллелизма задач. Преимущества и недостатки, способы реализации.
- 7) Многозадачность. Формы реализации многозадачности: процессы и потоки, их особенности. Свойства задач.
- 8) Планирование и диспетчеризация. Алгоритмы планирования задач ОС.
- 9) Разработка параллельных программ на основе многопоточности. Стандарт POSIX Threads (pthreads). Пример.
- 10) Многопоточность в современных ЯП (на примере C#): объектно-ориентированный подход, сравнение моделей программирования на основе классов `System.Threading.Thread` и `System.Threading.Task`.
- 11) Пулы потоков: назначение, принцип организации. Ограничения при использовании пулов потоков в параллельных программах.
- 12) Локальное хранилище потока. Назначение и пример использования.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2

- 1) Назначение стандарта OpenMP. Модель выполнения OpenMP-программы.
- 2) Разработка параллельных программ на основе стандарта OpenMP: основные переменные окружения, функции и директивы. Пример.
- 3) Назначение стандарта MPI. Модель выполнения MPI-программы.

4) Основные функции MPI, прием/передача данных между отдельными процессами. Блокирующие и неблокирующие операции. Пример.

5) Коллективные функции MPI: широковещательная рассылка, разделение и сбор данных, агрегирование данных. Пример.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3

1) Синхронизация задач. Понятие «критической секции» программы. Взаимное исключение задач.

2) Гонки при взаимодействии параллельных задач: определение, пример, способы решения.

3) Тупиковые ситуации: определение, пример, способы обнаружения и предотвращения.

4) Объекты синхронизации: общий принцип работы, типы объектов и их особенности.

5) Неблокирующая синхронизация: назначение, преимущества и недостатки, способы реализации.

6) Параллельные структуры данных: разновидности, примеры таких структур в языках программирования, преимущества и недостатки.

7) Асинхронная модель программирования: назначение, отличие от параллельной модели, варианты реализации в языках программирования.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1) Оценки производительности вычислительных систем (время, IPS, FLOPS).

2) Классификация вычислительных систем (по Флинну и по организации оперативной памяти). Особенности каждого класса систем.

3) Подходы, используемые для увеличения производительности вычислительных систем.

4) Свойства параллельных алгоритмов: степень параллелизма, зернистость, ускорение, эффективность. Закон Амдаля и его практический смысл.

5) Средняя степень параллелизма алгоритма сдваивания, скалярного умножения векторов, умножения матрицы на вектор. Примеры алгоритмов, обладающих идеальной степенью параллелизма.

6) Подходы к распараллеливанию алгоритмов: на основе параллелизма данных и параллелизма задач. Преимущества и недостатки, способы реализации.

7) Многозадачность. Формы реализации многозадачности: процессы и потоки, их особенности. Свойства задач.

8) Планирование и диспетчеризация. Алгоритмы планирования задач ОС.

9) Разработка параллельных программ на основе многопоточности. Стандарт POSIX Threads (pthreads). Пример.

10) Многопоточность в современных ЯП (на примере C#): объектно-ориентированный подход, сравнение моделей программирования на основе классов System.Threading.Thread и System.Threading.Task.

11) Пулы потоков: назначение, принцип организации. Ограничения при использовании пулов потоков в параллельных программах.

12) Локальное хранилище потока. Назначение и пример использования.

13) Назначение стандарта OpenMP. Модель выполнения OpenMP-программы.

14) Разработка параллельных программ на основе стандарта OpenMP: основные переменные окружения, функции и директивы. Пример.

15) Назначение стандарта MPI. Модель выполнения MPI-программы.

16) Основные функции MPI, прием/передача данных между отдельными процессами. Блокирующие и неблокирующие операции. Пример.

17) Коллективные функции MPI: широковещательная рассылка, разделение и сбор данных, агрегирование данных. Пример.

18) Синхронизация задач. Понятие «критической секции» программы. Взаимное исключение задач.

19) Гонки при взаимодействии параллельных задач: определение, пример, способы решения.

20) Тупиковые ситуации: определение, пример, способы обнаружения и предотвращения.

- 21) Объекты синхронизации: общий принцип работы, типы объектов и их особенности.
 22) Неблокирующая синхронизация: назначение, преимущества и недостатки, способы реализации.

23) Параллельные структуры данных: разновидности, примеры таких структур в языках программирования, преимущества и недостатки.

24) Асинхронная модель программирования: назначение, отличие от параллельной модели, варианты реализации в языках программирования.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) проработку учебного материала по конспектам, учебной и научной литературе;
- 2) подготовку к практическим и лабораторным занятиям;
- 3) подготовку по всем видам контрольных мероприятий, в том числе к текущему контролю знаний и промежуточной аттестации.

Темы для самостоятельной работы студентов

- 1) Особенности аппаратной реализации многопроцессорных вычислительных систем и супер-ЭВМ
- 2) Характеристики топологий сети передачи данных. Алгоритмы маршрутизации. Методы передачи данных.
- 3) Методы логического представления топологии коммуникационной среды. Отображение кольцевой топологии и топологии решетки на гиперкуб.
- 4) Модель параллельных вычислений в виде сети Петри
- 5) Модель параллельных вычислений в виде графа «процесс-ресурс»
- 6) Параллельные алгоритмы сортировки
- 7) Параллельные численные алгоритмы линейной алгебры
- 8) Параллельные численные алгоритмы решения дифференциальных уравнений в частных производных
- 9) Параллельные численные алгоритмы многомерной многоэкстремальной оптимизации
- 10) Отладка параллельных приложений.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
Основная литература		
Антонов, Александр Сергеевич. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP : учебное пособие для вузов по направлениям 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" / А. С. Антонов ; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ) ; авт. предисл. В. А. Садовничий .— Москва : Московский университет (МГУ), 2012 .— 339 с. : ил. — (Суперкомпьютерное образование) .— Библиогр.: с. 333-334 .— ISBN 978-5-211-06343-3.	2012	—
Основы параллельного программирования [Электронный ресурс] / Богачёв К.Ю. - М. : БИНОМ, 2013. - http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996309399.html	2013	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996309399.html
Федотов И.Е. Модели параллельного программирования [Электронный ресурс]/ Федотов И.Е.— Электрон. текстовые данные.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012.— 384 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/20877 .— ЭБС «IPRbooks»	2012	http://www.iprbookshop.ru/20877
Параллельное программирование на C++ в действии. Практика разработки	2012	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996309399.html

многопоточных программ [Электронный ресурс] / Энтони Уильяме ; Пер. с англ. Слинкин А.А. - М. : ДМК Пресс, 2012. - http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940744481.html		library.ru/book/ISBN9785940744481.html
Дополнительная литература		
Куликов И.М. Технологии разработки программного обеспечения для математического моделирования физических процессов. Часть 1. Использование суперкомпьютеров, оснащенных графическими ускорителями [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Куликов И.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.— 40 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45044 .— ЭБС «IPRbooks», по паролю	2013	http://www.iprbookshop.ru/45044
Модели распределенных вычислений [Электронный ресурс] / Топорков В.В. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104950.html	2011	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104950.html
Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров [Электронный ресурс] / Сандерс Дж., Кэндрот Э. - М. : ДМК Пресс, 2011. - http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940745044.html	2011	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940745044.html

6.2. Периодические издания

1. Лаборатория Параллельных информационных технологий Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ <http://parallel.ru>
2. MPICH: a high performance and widely portable implementation of the Message Passing Interface (MPI) standard. <https://www.mpich.org/>
3. Оригиналы стандарта MPI: <http://www.mpi-forum.org/docs/docs.html>.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Практические и лабораторные занятия проводятся в аудитории (компьютерном классе) 5116-3 (или аналогичном компьютерном классе в зависимости от сетки расписания).

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения:

- 1) MS Visual Studio;
- 2) MS HPC Pack SDK (свободно распространяемое ПО)
- 3) MPICH (свободно распространяемое ПО)
- 4) MS Word;

Рабочую программу составил доц. каф. ФиПМ А.С. Голубев

(ФИО, должность, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя)

Генеральный директор ООО «ФС Сервис»

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Д.С. Квасов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики и прикладной математики
Протокол № 1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой

(ФИО, подпись)

Аракелян С.М.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Протокол № 1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии

(ФИО, подпись)

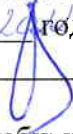
Аракелян С.М.

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20²² / 20²³ учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2022 года

Заведующий кафедрой _____

 С.И. Бражнин

Рабочая программа одобрена на 20____ / 20____ учебный года

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20____ / 20____ учебный года

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____