

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г. протокол № 13

Рабочая программа дисциплины

Основы параллельных вычислений

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки
010402 Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения
очная

Нижний Новгород
2022

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.О.06) читается в первом семестре магистратуры, относится к обязательной части. Дисциплина опирается на базовые знания студентов по языкам и методам программирования, алгоритмам и структурам данных, системному программированию (архитектура ЭВМ, операционные системы).

Цель освоения дисциплины

Цель дисциплины состоит в изучении математических моделей, методов и технологий параллельного программирования для многопроцессорных вычислительных систем в объеме, достаточном для успешного начала работ в области параллельного программирования. Излагаемый набор знаний и умений составляет теоретическую основу для методов разработки сложных программ. Изучение курса поддерживается расширенным лабораторным практикумом.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
<i>ОПК-4 Способность комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности</i>	<i>ОПК-4.1. Знать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности</i>	<i>ЗНАТЬ Цели и задачи параллельной обработки данных, классификацию современных параллельных вычислительных систем, показатели эффективности параллельных вычислений.</i>	Собеседование (зачет)
	<i>ОПК-4.2. Уметь применять существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований</i>	<i>УМЕТЬ Оценивать ускорение, эффективность, масштабируемость разрабатываемых параллельных программ.</i>	Тест (текущий контроль) Лабораторная работа (текущий контроль)

	информационной безопасности		
	ОПК-4.3. Владеть навыками использования существующих информационно-коммуникационных технологий для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	ВЛАДЕТЬ Навыками оценки масштабируемости параллельных алгоритмов.	Тест (текущий контроль) Лабораторная работа (текущий контроль)
ПК-2. Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач в области профессиональной деятельности	ПК-2.1. Знать типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач в области профессиональной деятельности	ЗНАТЬ Методику разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью, анализа их эффективности и подходы к ее повышению.	Собеседование (зачет)
	ПК-2.2. Уметь применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач в области профессиональной деятельности.	УМЕТЬ Применять на практике технологию MPI для разработки параллельных программ.	Тест (текущий контроль) Лабораторная работа (текущий контроль)
	ПК-2.3. Иметь опыт применения типовых математических методов и методологий разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач в области	ВЛАДЕТЬ Навыками настройки IDE Microsoft Visual Studio для разработки MPI-программ, конфигурирования системного окружения для запуска MPI-программ, использования библиотеки MPI.	Тест (текущий контроль) Лабораторная работа (текущий контроль)

	профессиональной деятельности		
--	-------------------------------	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
– занятия лекционного типа	16
– занятия семинарского типа	0
– занятия лабораторного типа	16
– текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация: зачет	0

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
Цели и задачи введения параллельной обработки данных	8	1			1	7
Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности	8	1			1	7
Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью	9	2			2	7
Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»	9	2			2	7
Анализ модели вычислений: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания, выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов. Агрегация модели вычислений	9	2			2	7
Принципы организации параллелизма с использованием MPI	15	2	3		5	10
Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции	16	2	4		6	10
Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка	17	2	5		7	10

данных. Организация асинхронной схемы вычислений						
Типы данных MPI. Виртуальные топологии	16	2	4		6	10
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет	0					
Итого	108	16	16		33	75

Практические занятия (лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение прикладной задачи по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы.

На проведение практических занятий (лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 4 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: разработка программного обеспечения по тематике проводимых производственно-технологических проектов,
- компетенций: ПК2.

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме проверки работ на занятиях лабораторного типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме зачета.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов подразделяется на следующие категории:

- Изучение учебной литературы (см. перечень образовательных материалов).
- Выполнение лабораторных работ на следующие темы: настройка среды разработки и проекта в Microsoft Visual Studio для сборки MPI-программ, конфигурирование системного окружения для запуска MPI-программ, вычисление скалярного произведения векторов, вычисление числа Пи, параллельная сортировка, решение задач матрично-векторного и матричного умножения.

Задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможно оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

Критерий оценивания лабораторной работы

Результаты работы	Оценка
Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, результаты работы представлены преподавателю.	Зачтено
Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, результаты работы не представлены преподавателю).	Не зачтено

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных.	ПК-2
2. Принципы построения параллельных вычислительных систем.	ОПК-4
3. Классификация современных параллельных вычислительных систем.	ПК-2
4. Оценка производительности современных параллельных вычислительных систем.	ПК-2
5. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью.	ОПК-4

6. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость.	ПК-2
7. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды».	ПК-2
8. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания.	ПК-2
9. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов.	ПК-2
10. Агрегация модели вычислений в виде графа «операции-операнды».	ОПК-4
11. Принципы организации параллелизма с использованием MPI.	ОПК-4
12. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции.	ОПК-4
13. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных.	ОПК-4
14. Передача данных средствами MPI. Организация асинхронной схемы вычислений.	ОПК-4
15. Типы данных MPI. Виртуальные топологии.	ОПК-4

5.2.2. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ОПК-4

- 1) Умножение плотных матриц. Блочная схема, алгоритм Фокса
- 2) Умножение плотных матриц. DNS-алгоритм
- 3) Умножение плотных матриц. Алгоритм Штрассена

5.2.3. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-2

- 4) Поразрядная сортировка LSD Radix Sort для вещественных чисел (тип double)
- 5) Поразрядная сортировка MSD Radix Sort для целых чисел
- 6) Поразрядная сортировка MSD Radix Sort для вещественных чисел (тип double)

5.2.4. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-4

1. Ускорение параллельных вычислений – это:
 - отношение времени последовательного алгоритма ко времени параллельного решения задачи (+)
 - отношение времени последовательного алгоритма ко времени параллельного решения задачи при использовании максимально возможного количества процессоров
 - отношение времени параллельного алгоритма ко времени последовательного решения задачи
2. Отметьте верные утверждения:
 - вызов MPI_Comm_rank(&ProcRank) определяет ранг (номер) вызвавшего процесса

- (+) вызов `MPI_Comm_rank(&ProcRank, MPI_COMM_WORLD)` определяет ранг (номер) вызвавшего процесса
- вызов `MPI_Comm_size(&ProcNum)` определяет общее число запущенных параллельных процессов приложения
- (+) вызов `MPI_Comm_size(&ProcNum, MPI_COMM_WORLD)` определяет общее число запущенных параллельных процессов приложения

5.2.5. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-2

3. Прием сообщения при помощи функции `MPI_Recv` может быть инициирован:
 - (+) до момента, в момент или после момента начала отправки сообщения,
 - только в момент начала отправки сообщения,
 - только после момента начала отправки сообщения.
4. Функция `MPI_Recv`:
 - (+) блокирует процесс-получатель до момента фактического получения сообщения,
 - принимает сообщение в фоновом режиме, процесс в это время может продолжать вычисления,
 - в зависимости от используемой операции передачи может, как заблокировать, так и не заблокировать процесс-получатель.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- В.П. Гергель, К.А. Баркалов, И.Б. Мееров, А.В. Сысоев, и др. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы: Учебное пособие в 4 томах. - Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2013. (50 экз)
- Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. - М.: Издательство Московского университета, 2010. (47 экз)
- Гергель В.П. Курс «Основы параллельных вычислений». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1091/293/info>
- Гергель В.П. Курс «Теория и практика параллельных вычислений». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/info>
- Корняков К.В., Мееров И.Б., Сиднев А.А., Сысоев А.В., Шишков А.В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2010. (19 экз.)

б) дополнительная литература:

- Немнюгин С. Курс «Основы параллельного программирования с использованием MPI». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1090/294/info>
- Бахтин В. Курс «Параллельное программирование с OpenMP». <http://www.intuit.ru/studies/courses/1111/295/info>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: А.В. Сысоев

Заведующий кафедрой Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.