



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

Институт кибербезопасности и цифровых технологий

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИКБ

Бакаев А.А.

«__» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Москва
2022

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования

- бакалавриат по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №9 от 10.01.2018. Зарегистрировано в Минюсте России 06.02.2018 № 49937

Составители:

кандидат физико-математических наук, доцент

Е. С. Козлова

Заведующий
кафедрой технической кибернетики

доктор
технических наук,
доцент

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры технической кибернетики.
Протокол №5 от 23.11.2021.

Руководитель основной профессиональной образовательной программы высшего образования:
Искусственный интеллект и компьютерные науки по направлению подготовки 01.03.02

Э. И. Коломиец

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Параллельное программирование» является знакомство с параллельными вычислениями, различными классами высокопроизводительных систем, принципами реализации параллельных алгоритмов и используемыми моделями программирования, а также изучение 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 при решении прикладных задач. Изучение курса поддерживается расширенным лабораторным практикумом, включающим написание параллельных программ и работу на вычислительном кластере.

Задачи:

1. Формирование у студентов основ теоретических знаний в области подходов, методологии и средств разработки прикладного программного обеспечения для параллельных вычислительных систем различной архитектуры.
2. Формирование у студентов теоретических знаний об основных архитектурах параллельных вычислительных систем и их классификации.
3. Формирование у студентов теоретических знаний об основных моделях параллельного программирования и моделях параллельных программ.
4. Формирование у студентов теоретических знаний об основах анализа эффективности параллельных алгоритмов и программ.
5. Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области программирования укрупненно-распараллеленных систем с использованием средств параллельного программирования MPI (Интерфейс передачи сообщений).
6. Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области программирования параллельных систем с общей памятью с использованием среды программирования OpenMP.
7. Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области программирования параллельных систем с общей памятью с использованием технологии CUDA.

1.2 Перечень формируемых компетенций и индикаторы их достижения, требования к уровню подготовки обучающегося, завершившего изучение данной дисциплины (модуля)

Планируемые результаты освоения образовательной программы (компетенции обучающихся) определяются требованиями стандарта по направлению подготовки (специальности) и формируются в соответствии с матрицей компетенций образовательной программы.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) - знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности формируются в соответствии с индикаторами достижения компетенций и результатами освоения образовательной программы (таблица 1).

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК-2 Способен использовать инструментальные средства для решения задач	ПК-2.2 Осуществляет оценку и выбор инструментальных средств для	Знать: основные положения, законы и методы прикладной математики и информатики при создании параллельных программ. основы программирования с использованием библиотеки MPI;

машинного обучения	решения поставленной задачи	<p>–основы программирования с использованием технологии программирования OpenMP; основы программирования с использованием технологии программирования CUDA</p> <p>Уметь: применять положения, законы и методы прикладной математики и информатики при создании параллельных программ.</p> <p>–применять технологии OpenMP, MPI и CUDA для разработки параллельных программ для решения типовых задач</p> <p>Владеть: навыками использования положений, законов и методов прикладной математики и информатики при создании параллельных программ.;</p> <p>– навыками создания, компиляции и запуска параллельных программ, использующих технологию OpenMP/MPI/CUDA, на вычислительном кластере, использования OpenMP, MPI и CUDA библиотек.;</p>
--------------------	-----------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Перечень предшествующих и последующих дисциплин, формирующих общекультурные и профессиональные компетенции (таблица 2)

Таблица 2

№	Код и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины (модули)	Последующие дисциплины (модули)
1	ПК-2 Способен использовать инструментальные средства для решения задач машинного обучения	Методы разработки программного обеспечения, Теория информации	Научно-исследовательская работа, Выполнение и защита выпускной квалификационной работы, Методы разработки программного обеспечения

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) С УКАЗАНИЕМ ОБЪЕМА КОНТАКТНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И ОБЪЕМА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ, А ТАКЖЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ), СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОБЪЕМА ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ

Таблица 3

Объём дисциплины: 3 ЗЕТ
<u>Седьмой семестр</u>
Объем контактной работы: 58 час.
Лекционная нагрузка: 28 час.
<i>Активные и интерактивные</i>
Архитектуры параллельных вычислительных систем и их классификация. (2 час.)
Основные модели параллельного программирования. (2 час.)
Методология проектирования параллельных программ. (2 час.)
Основы программирования с использованием директив OpenMP. (2 час.)
Обзор специальных функций библиотеки OpenMP. (2 час.)
Основы программирования с использованием технологии MPI. (2 час.)
Стандарт MPI: функции передачи сообщений. (2 час.)
Стандарт MPI: пользовательские типы данных и пакетная передача (2 час.)
Стандарт MPI: функции для работы с группами и коммуникаторами. (2 час.)
Стандарт MPI: виртуальные топологии. (2 час.)
Аппаратная архитектура GPU и модель выполнения SIMT. (2 час.)
. Основы программирования с использованием CUDA. (2 час.)
Обработка ошибок в CUDA-приложениях. (2 час.)
Методы оценки производительности параллельных программ (2 час.)
Лабораторные работы: 28 час.
<i>Активные и интерактивные</i>
Создание простейших параллельных приложений с использованием технологий MPI и OpenMP.
Сравнительное исследование технологий параллельного программирования OpenMP и MPI на примере алгоритма поиска суммы элементов массива. (4 час.)
Сравнительное исследование технологий параллельного программирования OpenMP и MPI на примере алгоритма поиска суммы двух векторов. (8 час.)
Разработка параллельной программы сложения двух векторов с использованием технологии
Разработка параллельной программы перемножения матриц с использованием технологии CUDA и Библиотеки CuBLAS. (4 час.)
Контролируемая аудиторная самостоятельная работа: 2 час.
<i>Активные и интерактивные</i>
Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP, MPI и CUDA.
Модели параллельного порграммирования. Архитектуры параллельных вычислительны системы. Этапы разработки параллельных программ. (1 час.)
Самостоятельная работа: 50 час.
<i>Активные и интерактивные</i>
Классификация архитектур вычислительных систем. (Классификация Флинна.). Основные архитектуры параллельных компьютеров. Модели параллельного программирования. Ос-овные свойства параллельных алгоритмов. Модель задача-канал. Основные свойства модели. (4 час.)
Понятие о детерминизме программы. Модульность. Виды композиции модулей и/или программ. Пример параллельного алгоритма: конечные разности. (4 час.)

Декомпозиция. Цели. Виды декомпозиции. Коммуникация. Виды коммуникаций: локальные, глобальные, динамические, асинхронные. Распределенные коммуникации и вычисления. Интеграция. Цели интеграции. Укрупнение детализации. Репликация вычислений.
Оценка производительности параллельных программ. Основные составляющие модели, используемой для оценки времени выполнения параллельных программ. Методы оценки
Директивы OpenMP . Формат записи, области видимости и типы директив. Определение параллельной области. Распределение вычисления между потоками. Директивы синхронизации. Управление область видимости данных. Совместимость директив и их параметров. (6 час.)
Краткая характеристика библиотеки MPI. Основные функции MPI (минимальный набор). Организация приема/передачи данных между отдельными процессами. Коллективные функции. Обеспечение модульности. Коммуникаторы, группы и области связи. Виртуальные
Функции для создания пользовательских типов данных в MPI. Передача упакованных данных. Тестирование завершения операций передачи данных. (4 час.)
Архитектура GPU: история, особенности, стандарты. Модель SIMT. (4 час.)
Технология программирования CUDA. Модель программирования Хост-Девайс. Базовый набор функций. Функция ядра. (6 час.)
Компиляция и запуск приложений CUDA. (6 час.)
Контроль (Зачет. Рассредоточено. По результатам работы в семестре)

4. ПЕРЕЧЕНЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО

1. Использование мультимедийного оборудования при проведении лекционных занятий.
2. Использование при самостоятельной подготовке электронных средств коммуникаций, в том числе специализированных сайтов и форумов.
3. Общение с преподавателем с помощью электронной почты, позволяющее студентам сдавать выполненные задания на проверку и задавать вопросы преподавателю в любое время.
4. Выполнение лабораторных работ с помощью современного программного обеспечения.
5. Выполнение лабораторных работ на кластере Сергей Королев.
6. Возможность выполнения дистанционных (удаленных) лабораторных работ с элементами исследования.
7. Использование тестирования для оценки знаний студентов.
8. Рейтинговая система контроля успеваемости, предоставляющая студентам доступ к количественным оценкам их личной успеваемости и успеваемости их одногруппников, предназначенная для стимулирования мотивации к обучению.
9. Для развития у обучающихся творческих способностей и самостоятельности в курсе дисциплины используются проблемно-ориентированные, личностно-ориентированные,

5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (В ТОМ ЧИСЛЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА), НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

5.1 Требования к материально-техническому обеспечению

Табл

№ п/п	Тип помещения	Состав оборудования и технических средств обучения
1	Лекционные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оборудованная учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя; набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий; ноутбуком с выходом в сеть Интернет, проектором; экраном настенным;
2	Лабораторные работы	учебная аудитория для проведения лабораторных работ, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук с выходом в сеть Интернет), специализированным программным обеспечением (таблица 4); учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя.¶Учебная аудитория для проведения лабораторных работ, оснащенная металлообрабатывающим оборудованием и специальными контрольно-измерительными приборами, необходимыми для обработки
3	Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы, оснащенное компьютерами с доступом в Интернет и в электронно-информационную образовательную среду Самарского университета.

4	Контролируемая аудиторная самостоятельная работа	Учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций, курсового проектирования (выполнения курсовых работ): • учебная аудитория, оборудованная учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя; ноутбук с выходом в сеть Интернет, проектором; экраном настенным; доской; • учебная аудитория, оборудованная учебной мебелью: столы, стулья для
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения, текущего контроля и промежуточной аттестации: • учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, оборудованная учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя; ноутбук с выходом в сеть Интернет, проектором; экраном настенным; доской; • учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, оборудованная учебной мебелью: столы, стулья

5.2 Перечень лицензионного программного обеспечения

1. Visual Studio (Microsoft)
2. MS Office 2010 (Microsoft)
3. MS Windows 7 (Microsoft)
4. Visual Studio (Microsoft)
5. C++ Compiler (Intel)

в том числе перечень лицензионного программного обеспечения отечественного производства:

1. BusinessSpace Security (Kaspersky Lab)

5.3 Перечень свободно распространяемого программного обеспечения

1. Midnight Commander
2. Putty
3. WinSCP
4. GNU Compiler Collection
5. C++
6. 7-Zip
7. Adobe Acrobat Reader
8. CUDA Toolkit
9. DjVu Reader
10. Linux
11. LibreOffice (<https://ru.libreoffice.org>)
12. Midnight Commander
13. MSDN library
14. Putty
15. WinSCP

в том числе перечень свободно распространяемого программного обеспечения отечественного

1. Антивирус Kaspersky Free
2. Антивирус Kaspersky Free
3. Яндекс.Браузер

4. Бумажка (<http://paper-python.narod.ru>)

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Начальные сведения для работы на вычислительном кластере [Текст] : метод. указания для курс. и диплом. проектирования и учеб. - исслед. работы студент. - Самара, 2004. . - 20 с.
2. Попов, С. Б. Параллельное программирование [Электронный ресурс] : презентации к курсу лекций. - Самара, 2011. - on-line
3. Попов, С. Б. Стандарт OpenMP [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие. - Самара,
4. Разработка программного обеспечения для решения задач высокой вычислительной сложности в средах MPI, OpenMP и CUDA [Электронный ресурс] : метод. матер. - Самара, 2010.
5. Параллельная реализация вычислительных алгоритмов на кластере СГАУ "Сергей Королев" [Электронный ресурс] : [метод. указания]. - Самара.: Изд-во СГАУ, 2015. - on-line
6. Практикум по методам параллельных вычислений [Текст] : [учеб. для вузов по направлениям ВПО 010400 "Прикладная математика и информатика" и 0110300 "Фу. - М.: Изд-во Моск. ун-та,
7. Богачев, К. Ю. Основы параллельного программирования [Текст] : [учеб. пособие]. - М.: Бином. Лаб. знаний, 2003. - 342 с.

6.2. Дополнительная литература. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

1. Богданов, А. В. Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем [Текст] : курс лекций : учеб. пособие : [для вузов по специальности 351400 "Прикладн. - М.:]
2. Эндрюс, Г. Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования [Текст] : [пер. с англ.]. - М., СПб., Киев.: Вильямс, 2003. - 505 с.
3. Корняков, К. В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью [Текст] : [учеб. для вузов по направлениям ВПО 010400 "Прикладная математика и и. - М.: Изд-]
4. Никоноров, А. В. Введение в массивно-многопоточные параллельные вычисления [Текст] : учеб. пособие. - Самара, 2010. - 127 с.
5. Немнюгин, С. А. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем [Текст] : руководство. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 396 с.
6. Корнеев, В. Д. Параллельное программирование в MPI [Текст] : производственно-практическое издание. - М., Ижевск.: Ин-т компьютер. исслед., 2003. - 303 с.
7. Казанский, Н. Л. Организация вычислительного эксперимента на высокопроизводительных системах [Текст] : учеб. пособие. - Самара, 2010. - 79 с.

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

Таблица

№ п/п	Наименование ресурса	Адрес	Тип доступа
1		www.parallel.ru	Открытый
2		www.nvidia.com	Открытый
3		www.msdn.microsoft.com	Открытый
4		www.intuit.ru	Открытый
5	Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»	https://cyberleninka.ru	Открытый ресурс
6	Архив научных журналов на платформе НЭИКОН	https://archive.neicon.ru/xmlui/	Открытый ресурс

6.4 Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных, необходимых для освоения дисциплины (модуля)

6.4.1 Перечень информационных справочных систем, необходимых для освоения дисциплины

Табли

№ п/п	Наименование информационного ресурса	Тип и реквизиты ресурса
1	СПС КонсультантПлюс	Информационная справочная система, 2020_12_29_д_ЭК-112-20
2	Система интегрированного поиска EBSCO Discovery Service EBSCO	Информационная справочная система, Сублицензионный договор №156-EBSCO-21 от

6.4.2 Перечень современных профессиональных баз данных, необходимых для освоения

Табли

№ п/п	Наименование информационного ресурса	Тип и реквизиты ресурса
1	Полнотекстовая электронная библиотека	Профессиональная база данных, ГК № ЭА14-12 от 10.05.2012, ПЭБ Акт ввода в эксплуатацию, ПЭБ Акт приема-передачи
2	Электронно-библиотечная система eLibrary (журналы)	Профессиональная база данных, Договор № SU-01-10/2021 на оказание услуг доступа к электронным изданиям от 22.10.2021, Лицензионное соглашение № 953 от 26.01.2004
3	Наукометрическая (библиометрическая) БД Web of	Профессиональная база данных, Заявление-21-1706-01024

6.5 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕЧНЫХ СИСТЕМ, ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ

В процессе освоения дисциплины (модуля) обучающиеся обеспечены доступом к электронной информационно-образовательной среде и электронно-библиотечным системам (<http://lib.ssau.ru/els>). В процессе освоения дисциплины (модуля) могут применяться

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекция представляет собой систематическое устное изложение учебного материала.

По дисциплине «Параллельное программирование» применяются следующие виды лекций:

Информационные - проводятся с использованием объяснительно иллюстративного метода изложения; это традиционный для высшей школы тип лекций;

Проблемные - в них при изложении материала используются проблемные вопросы, задачи, ситуации. Процесс познания происходит через научный поиск, диалог, анализ, сравнение разных точек зрения и т. д.

Лекция с элементами обратной связи. В данном случае подразумевается изложение учебного материала и использование знаний по смежным предметам (межпредметные связи) или по изученному ранее учебному материалу. Обратная связь устанавливается посредством ответов студентов на вопросы преподавателя по ходу лекции. Чтобы определить осведомленность студентов по излагаемой проблеме, в начале какого-либо раздела лекции задаются необходимые вопросы. Если студенты правильно отвечают на вводный вопрос, преподаватель может ограничиться кратким тезисом или выводом и перейти к следующему вопросу.

Лабораторная работа – один из видов практических занятий, целью которых является углубление и закрепление теоретических знаний, а также развитие навыков проведения эксперимента.

Проведение лабораторных работ в рамках данной дисциплины включает следующие этапы:

1) ознакомление с методикой написания параллельных программ: студент должен внимательно прочитать методические указания для лабораторных работ, при возникновении вопросов задать их преподавателю;

2) студент должен последовательно выполнить все операции, описанные в методических указаниях для лабораторных работ.

3) студент должен составить отчет по лабораторной работе, который включает оформление протокола лабораторной работы и ответы на вопросы преподавателя, затрагивающие ход работы, используемые приемы и интерпретацию полученных результатов.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих учебного процесса, в ходе которого происходит формирование знаний, умений и навыков в учебной, научно-исследовательской, профессиональной деятельности, формирование профессиональных компетенций будущего бакалавра.

Учебно-методическое обеспечение создаёт среду актуализации самостоятельной творческой активности студентов, вызывает потребность к самопознанию, самообучению. Таким образом, создаются предпосылки «двойной подготовки» - личностного и профессионального становления.

Для успешного осуществления самостоятельной работы необходимы:

1. комплексный подход организации самостоятельной работы по всем формам аудиторной работы;
2. сочетание всех уровней (типов) самостоятельной работы, предусмотренных рабочей программой;
3. обеспечение контроля за качеством усвоения.

Методические материалы по самостоятельной работе студентов содержат целевую установку изучаемых тем, списки основной и дополнительной литературы для изучения всех тем дисциплины, теоретические вопросы и вопросы для самоподготовки, усвоив которые бакалавр может выполнять определенные виды деятельности

Рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студентов:

Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к текущим аудиторным занятиям:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, дополнительной литературы, научных публикаций); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; работа со словарями и справочниками; работа с нормативными документами; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей; компьютерной техники, Интернет и др.;

- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); аналитическая работа с фактическим материалом (учебника, дополнительной литературы, научных публикаций, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц и схем для систематизации фактического материала; изучение нормативных материалов; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование,

самостоятельной работы состоит в том, что обучающиеся решают задачу актуализации и систематизации учебного материала, применения приобретенных знаний и умений в качестве структурных элементов компетенций, формирование которых выступает целью и результатом