

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
"Пермский государственный национальный  
исследовательский университет"

Кафедра математического обеспечения вычислительных систем

Авторы-составители: Александров Васил Николов  
Чупин Антон Викторович  
Чуприна Светлана Игоревна

Рабочая программа дисциплины  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ  
Код УМК 92194

Утверждено  
Протокол №5  
от «09» июня 2022 г.

Пермь, 2022

## **1. Наименование дисциплины**

Высокоэффективные алгоритмы

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в базовую часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Направленность Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины Высокоэффективные алгоритмы у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.04.02 Прикладная математика и информатика (направленность : Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных)

ОПК.2 Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач

Индикаторы

ОПК.2.3 Реализует математический метод на языке программирования высокого уровня и/или с помощью специализированных пакетов программ

ОПК.4 Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности

Индикаторы

ОПК.4.1 Комбинирует и адаптирует современные информационно-коммуникационные технологии для реализации решения математических задач

#### 4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	01.04.02 Прикладная математика и информатика (направленность: Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	4
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак. час.), в том числе:	48
Проведение лекционных занятий	12
Проведение практических занятий, семинаров	12
Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку	24
Самостоятельная работа (ак. час.)	96
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (1)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (4 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Высокоэффективные алгоритмы. Первый семестр

#### Масштабируемые параллельные алгоритмы

##### Введение в параллельные алгоритмы

Дается введение в современные достижения в области высокопроизводительных вычислений (High Performance Computing, HPC), архитектур HPC-систем и подходов к построению параллельных алгоритмов, отвечающих современным требованиям.

##### Методы параллелизма

Рассматривается разница между параллельными и последовательными алгоритмами. Вводятся такие параметры параллельных алгоритмов, как вычислительная задача (подзадача), зависимость последовательности задач. Излагаются различные методы распараллеливания, такие как функциональная декомпозиция, декомпозиция данных, метод «разделяй и властвуй», гибридный метод и т.д.

##### Оценка эффективности и показатели производительности

Вводятся ключевые параметры для оценки параллельных алгоритмов, такие как ускорение и эффективность. Объясняется понятие масштабируемости алгоритмов, вводятся такие параметры оценки, как стоимость вычислений и объясняется, как определить свойства масштабируемости параллельных алгоритмов в зависимости от размера задачи, решаемой на данной параллельной архитектуре. Объясняется Закон Амдала.

##### Методы масштабируемости и параметры её оценки

Рассматриваются новейшие методы разработки масштабируемых алгоритмов и объясняются возможности их применения для минимизации накладных расходов на коммуникацию между вычислительными узлами при разработке параллельных алгоритмов. Вводятся модели, включающие параметры энергопотребления, и приводится анализ энергоэффективности параллельных алгоритмов на их основе.

##### Методы параллелизма для современных параллельных архитектур

Объясняются различные методы распараллеливания алгоритмов, в том числе методы с репликацией данных. Анализируется влияние репликации данных на выполнение параллельных алгоритмов.

##### Примеры из линейной алгебры и других предметных областей

На примере решения задач линейной алгебры демонстрируется эффективность различных методов распараллеливания, которые обсуждались на предыдущих лекциях, включая метод Монте-Карло.

#### Современные методы и технологии разработки параллельных программ

##### Введение в MPI. Место MPI в иерархии средств параллельного программирования.

##### Достоинства MPI.

Дается общее описание технологии MPI, её возможностей и ограничений. Описываются версии и общая схема программирования.

Основы технологий параллельного программирования с использованием MPI. Структуры данных MPI.

Подготовка к компиляции и запуску программ с MPI. Описание основных команд MPI и структуры программы.

Описание типов данных MPI.

Взаимодействие «точка-точка». Коллективные операции.

Описание команды MPI\_Send, MPI\_Recv и её вариаций. Описание коллективных операций MPI\_Gather, MPI\_Scatter, MPI\_Bcast, MPI\_Alltoall, MPI\_Barrier.

Примеры использования.

Понятие коммутатора MPI. Блокирующие и неблокирующие режимы MPI-коммуникаций.

Определение групп процессов и коммутаторов и команды для их создания и манипуляций.

Описание применения неблокирующих операций MPI.

Общая структура MPI-программ. Вопросы ввода/вывода. Обработка ошибок.

Подключение библиотек MPI.

Вопросы отладки MPI-программ. Оценка эффективности параллельных программ.

Обзор существующих профилировщиков и отладчиков, допускающих работу с MPI.

Анализ временной сложности и эффективности распараллеливания программ с MPI.

Введение в семейство моделей программирования StarSs. Асинхронный параллелизм в OmpSs.

Рассматривается семейство моделей программирования StarSs. Введение в OmpSs: методы организации данных, модели памяти и механизмы управления вычислениями, расширяющие возможности асинхронного управления в схемах потока данных. Совмещение достоинств моделей StarSs и OpenMP-расширений. Примеры использования OmpSs для приложений, выполняющихся на GPU.

Гибридная модель программирования на базе MPI/OmpSs.

Практические задания по теме «Параллельные алгоритмы»

По заданной прикладной проблеме студент должен уметь выбрать алгоритм её решения, уметь проанализировать его временную и ёмкостную сложности и ресурсы распараллеливания.

Практика по программированию с использованием MPI

Имея прикладную задачу, студент должен уметь создать программу с MPI, которая будет работоспособна для разного числа процессоров и уметь доказать её эффективность.

Практика по OmpSs

Имея прикладную задачу, студент должен уметь создать программу, работающую с OmpSs, и уметь доказать её работоспособность.

Экзамен

Индивидуальное задание

Каждому студенту предлагается предметная область и прикладная задача в этой предметной области. Необходимо выбрать и обосновать алгоритм решения задачи, проанализировать его временную и ёмкостную сложности, а также возможности распараллеливания. Необходимо выбрать технологию для написания параллельной программы (MPI или OpenMP) и реализовать выбранный алгоритм с использованием выбранной технологии. Экспериментально вычислить показатели производительности, сопоставить с теоретическими расчетами.

Письменный экзамен

Письменный экзамен по билетам. Каждый билет включает в себя 3 вопроса практической направленности. Дан небольшой последовательный алгоритм. Требуется описать принцип его работы,

определить его временную и емкостную сложности. Описать, как алгоритм может быть распараллелен на несколько процессоров. Определить временную сложность алгоритма в случае его запуска на заданном количестве процессоров.

Студент самостоятельно выбирает 2 из 3 вопросов, на которые дает письменный развернутый ответ.

## 6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## 7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.



## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Левин, М. П. Параллельное программирование с использованием OpenMP : учебное пособие / М. П. Левин. — 3-е изд. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 133 с. — ISBN 978-5-4497-0685-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/97572.html>
2. Малявко, А. А. Параллельное программирование на основе технологий OpenMP, MPI, CUDA : учебное пособие для академического бакалавриата / А. А. Малявко. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 129 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11827-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/446247>

### Дополнительная:

1. Антонов А. С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP:[учебное пособие для вузов по направлениям 010400 "Прикладная математика и информатика", 010300 "Фундаментальная информатика и информационные технологии"]/А. С. Антонов.-Москва:Издательство Московского государственного университета,2012, ISBN 978-5-211-06343-3.-339.-Библиогр.: с. 333-334
2. Алабужев А. А. Основы параллельного программирования:учеб.-метод. пособие/А. А. Алабужев.-Пермь:Перм. гос. ун-т,2007, ISBN 5-7944-0931-2.-100.-Библиогр.: с. 96
3. Кулаков К. А. Эффективные алгоритмы и программные средства реализации линейных диофантовых моделей сетей ЭВМ:автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18/К. А. Кулаков.-Петрозаводск,2009.-17.

## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.intuit.ru/studies/courses/1110/153/info> Параллельное программирование

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине Высокоэффективные алгоритмы предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем: доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);

доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

ОС Windows 8.1 Pro

Microsoft Visual Studio

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения лабораторных занятий - меловая и (или) маркерная доска, компьютерный класс (аппаратное и программное обеспечение определено в Паспортах компьютерных классов)

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными

компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Высокоэффективные алгоритмы

Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания

ОПК.4

Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.4.1 Комбинирует и адаптирует современные информационно-коммуникационные технологии для реализации решения математических задач</p>	<p>ЗНАТЬ: основные вычислительные алгоритмы, используемые в высокоэффективных вычислениях, границы их применимости. УМЕТЬ: приводить обоснование по использованию той или иной парадигмы, алгоритма. ВЛАДЕТЬ: методами анализа эффективности параллельных алгоритмов</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не сформированы знания основных вычислительных алгоритмов, используемых в высокоэффективных вычислениях, границ их применимости. Не умеет приводить обоснование по использованию той или иной парадигмы, алгоритма. Не обладает навыками анализа эффективности параллельных алгоритмов</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Сформированы базовые знания основных вычислительных алгоритмов, используемых в высокоэффективных вычислениях, границ их применимости. В целом умеет с небольшими ошибками приводить обоснование по использованию той или иной парадигмы, алгоритма. Обладает базовыми, но не отлаженными навыками анализа эффективности параллельных алгоритмов.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированы с незначительными пробелами знания основных вычислительных алгоритмов, используемых в высокоэффективных вычислениях, границ их применимости. Умеет приводить обоснование по использованию той или иной парадигмы, алгоритма. Обладает базовыми навыками анализа эффективности параллельных алгоритмов.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированы систематические знания основных вычислительных алгоритмов,</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Отлично используемых в высокоэффективных вычислениях, границ их применимости. В совершенстве умеет приводить обоснование по использованию той или иной парадигмы, алгоритма. Обладает сформированными навыками анализа эффективности параллельных алгоритмов.

## ОПК.2

Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
ОПК.2.3 Реализует математический метод на языке программирования высокого уровня и/или с помощью специализированных пакетов программ	ЗНАТЬ: синтаксис нескольких парадигм параллельного программирования. УМЕТЬ: описывать параллельный алгоритм и реализовывать его в коде. ВЛАДЕТЬ: понятийным аппаратом и практикой реализации параллельных алгоритмов.	<p>Неудовлетворител Не знает синтаксиса ни одной парадигмы параллельного программирования. Не умеет описывать параллельный алгоритм и реализовывать его в коде. Не владеет навыками реализации параллельных алгоритмов.</p> <p>Удовлетворительн Знает основы синтаксиса хотя бы одной парадигмы параллельного программирования. Умеет с незначительными ошибками описывать параллельный алгоритм и реализовывать его в коде. Владеет некоторыми навыками реализации параллельных алгоритмов.</p> <p>Хорошо Знает основы синтаксиса нескольких парадигм параллельного программирования. Умеет описывать параллельный алгоритм и реализовывать его в коде. Владеет базовыми навыками реализации параллельных алгоритмов.</p> <p>Отлично Знает в подробностях синтаксис нескольких парадигм параллельного программирования. В совершенстве умеет описывать параллельный алгоритм и реализовывать его</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Отлично в коде. Владеет сформированными навыками реализации параллельных алгоритмов.

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 47 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 47 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.4.1 Комбинирует и адаптирует современные информационно-коммуникационные технологии для реализации решения математических задач	Оценка эффективности и показатели производительности Письменное контрольное мероприятие	Знание основных алгоритмов и структур данных и умение реализовывать их на языках высокого уровня (C, Fortran)
ОПК.2.3 Реализует математический метод на языке программирования высокого уровня и/или с помощью специализированных пакетов программ	Практические задания по теме «Параллельные алгоритмы» Защищаемое контрольное мероприятие	способность самостоятельно реализовать алгоритм парадигме параллельного программирования MPI; умение построить эффективную безошибочную программ на его основе
ОПК.2.3 Реализует математический метод на языке программирования высокого уровня и/или с помощью специализированных пакетов программ ОПК.4.1 Комбинирует и адаптирует современные информационно-коммуникационные технологии для реализации решения математических задач	Индивидуальное задание Защищаемое контрольное мероприятие	знание основных параллельных алгоритмов вычислительной алгебры и умение их программировать

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.2.3 Реализует математический метод на языке программирования высокого уровня и/или с помощью специализированных пакетов программ ОПК.4.1 Комбинирует и адаптирует современные информационно-коммуникационные технологии для реализации решения математических задач	Письменный экзамен Итоговое контрольное мероприятие	умение выбрать параллельный алгоритм для прикладной задачи, проверить его эффективность, запрограммировать его с помощью MPI и OmpSs

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Оценка эффективности и показатели производительности

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: 2 часа

Условия проведения мероприятия: в часы аудиторной работы

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: 10

Проходной балл: 5

Показатели оценивания	Баллы
знание синтаксиса языка C или Fortran	5
знание основных алгоритмов и структур данных	5

#### Практические задания по теме «Параллельные алгоритмы»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: 2 часа

Условия проведения мероприятия: в часы аудиторной работы

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: 25

Проходной балл: 12

Показатели оценивания	Баллы
способность сконструировать параллельный алгоритм для данной вычислительной задачи	10
способность реализовать выбранный параллельный алгоритм на MPI	10
способность протестировать программу на правильность и эффективность вычислений	5

#### Индивидуальное задание

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: 3 часа

Условия проведения мероприятия: в часы самостоятельной работы

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: 25

Проходной балл: 12

Показатели оценивания	Баллы
-----------------------	-------



способность запрограммировать выбранный алгоритм для MPI	10
знание и доказательство эффективности выбранного алгоритма с точки зрения параллелизма	10
умение сделать обоснованный выбор алгоритма для перемножения матриц	5

#### Письменный экзамен

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: 2 часа

Условия проведения мероприятия: в часы самостоятельной работы

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: 40

Проходной балл: 18

Показатели оценивания	Баллы
умение запрограммировать выбранный алгоритм на языке программирования с применением технологии MPI, протестировать программу на правильность и эффективность выполнения, сформировать отчёт по производительности алгоритма и программы	20
умения реализовать алгоритм на языке программирования с помощью OmpSs	10
умение выбрать параллельный алгоритм для решения вычислительной задачи и проанализировать его эффективность	10