

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Факультет компьютерных наук и информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета КНиИТ  
Миронов С.В.

"13" 09 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Параллельное и распределенное программирование

Направление подготовки

02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Профиль подготовки

Информатика и компьютерные науки

Квалификация выпускника




Бакалавр

Форма обучения

очная

Саратов

2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Купцов Павел Владимирович		13.09.21
Председатель НМК	Кондратова Юлия Николаевна		13.09.21
Заведующий кафедрой	Огнева Марина Валентиновна		13.09.21
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Параллельное и распределенное программирование» является формирование профессиональных компетенций, связанных с разработкой и созданием программных продуктов для параллельных вычислительных систем.

Дисциплина «Параллельное и распределенное программирование» рассчитана на один семестр и направлена на решение следующих задач:

- изучение принципов построения параллельных высокопроизводительных вычислительных систем;
- изучение основ теории параллельных вычислений, принципов параллельного программирования, а также методов, способов и средств разработки параллельных программ для симметричных мультимикропроцессорных систем с общей памятью и кластерных систем с распределенной памятью.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Данная учебная дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана ООП и входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, является дисциплиной по выбору и направлена на формирование у обучающихся профессиональных компетенций.

Для освоения дисциплины необходимы знания, умения и готовности обучающегося, сформированные в результате освоения дисциплин ООП подготовки бакалавра данного направления «Информационные технологии и программирование», «Современные информационные технологии», «Дискретная математика», «Операционные системы», «Структуры данных и алгоритмы».

Дисциплина имеет логическую и содержательно-методическую взаимосвязь с дисциплиной «Технологии программирования».

Компетенции, полученные студентом в результате освоения дисциплины «Параллельное и распределенное программирование», могут быть полезны при изучении дисциплин «Компьютерные сети», «Моделирование», «Программные средства решения математических задач».

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-4. Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать экспериментальные данные, необходимые для проектной и производственно-технологической деятельности; способен к разработке новых	ПК-4.1. Знает основы проектирования и элементы архитектурных решений информационных систем. ПК-4.2. Умеет применять в практической деятельности профессиональные стандарты в области информационных	<b>Знать:</b> – принципы построения параллельных вычислительных систем; – принципы распараллеливания вычислений на основе

<p>алгоритмических, методических и технологических решений для конкретной сферы профессиональной деятельности.</p>	<p>технологий. ПК-4.3. Имеет опыт составления технического задания на разработку информационной системы.</p>	<p>многopotочности для высокопроизводительных симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью, и в частности, стандарт OpenMP;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы разработки параллельных программ для высокопроизводительных кластерных систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений, и в частности, стандарт MPI.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разрабатывать параллельные алгоритмы и программы для высокопроизводительных симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью на основе технологии OpenMP;</li> <li>– разрабатывать параллельные алгоритмы и программы для высокопроизводительных кластерных систем с распределенной памятью на основе технологии MPI.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современными средствами разработки программного обеспечения, поддерживающими технологию распараллеливания вычислений OpenMP;</li> <li>– технологией распараллеливания вычислений MPI.</li> </ul>
<p>ПК-5. Способен применять в профессиональной деятельности современные технологии программирования, методы обработки и анализа больших</p>	<p>ПК-5.1. Умеет создавать программный код в соответствии с техническим заданием (готовыми спецификациями).</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– модели вычислений и методы повышения эффективности параллельных алгоритмов;</li> </ul>

<p>данных, операционные системы, системы управления базами данных, сетевые технологии.</p>	<p>ПК-5.2. Умеет создавать варианты архитектуры программного средства в зависимости от спецификации окружения программного средства.</p> <p>ПК-5.3. Владеет навыками описания алгоритмов компонентов, включая методы и схемы.</p> <p>ПК-5.4. Умеет осуществлять выбор модели обеспечения необходимого уровня производительности компонент, включая вопросы балансировки нагрузки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– модели функционирования параллельных программ.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять выбор моделей вычислений с целью разработки параллельных алгоритмов, включая вопросы балансировки нагрузки;</li> <li>– разрабатывать эффективные версии параллельных алгоритмов для решения типовых задач.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками разработки и описания эффективных версий параллельных алгоритмов;</li> <li>– навыками эффективного применения параллельных алгоритмов для решения научно-технических и прикладных задач.</li> </ul>
--	---	---

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Всего часов	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Принципы построения параллельных вычислительных систем	6	1	12	2	4	6	Проверка заданий лабораторного практикума
2	Моделирование и анализ параллельных вычислений	6	2-3	20	4	8	8	Проверка заданий лабораторного практикума
3	Модели функционирования параллельных программ	6	4-5	22	4	8	10	Проверка заданий лабораторного практикума
4	Распараллеливание на основе многопоточности для симметричных мультимикросистем с общей памятью. C++ и технология OpenMP	6	6-8	30	6	12	12	Проверка заданий лабораторного практикума. Контрольная работа №1 на 8 неделе
5	Разработка параллельных программ для систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений. C++ и технология MPI	6	9-16	60	16	32	12	Проверка заданий лабораторного практикума. Контрольная работа №2 на 16 неделе
<b>Промежуточная аттестация</b>								<b>Экзамен</b>
<b>ИТОГО</b>				<b>180</b>	<b>32</b>	<b>64</b>	<b>48</b>	<b>36</b>

*Принципы построения параллельных вычислительных систем.* Цели и задачи введения параллельной обработки данных. Важность проблематики параллельных вычислений. Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация параллельных вычислительных систем. Критерий классификации Флинна. Основные представители класса SIMD. Мультимикросистемы – параллельные вычислительные системы с общей памятью. SMP системы с архитектурой UMA. Системы NUMA и ccNUMA с неоднородным доступом к общей памяти. Мультикомпьютеры с NORMA архитектурой. Массивно-параллельные и кластерные системы.

*Моделирование и анализ параллельных вычислений.* Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, стоимость.

Модель вычислений в виде графа «операции-операнды». Анализ модели и определение времени выполнения параллельного метода. Пример задачи нахождения частных сумм последовательности числовых значений.

Оценка максимально достижимого распараллеливания. Законы Амдала и Густафсона-Барсиса, взаимосвязь законов.

Характеристика типовых схем коммуникации в многопроцессорных вычислительных системах: линейка, кольцо, решетка, гиперкуб. Алгоритмы маршрутизации для типовых топологий и методы передачи данных. Методы логического представления топологии сети. Сетевой закон Амдала.

*Модели функционирования параллельных программ.* Концепция процесса. Понятие ресурса. Категории ресурсов. Организация программ как системы процессов.

Взаимодействие и взаимоисключение процессов. Ситуация состязания и критические секции. Требования, предъявляемые к программным алгоритмам организации взаимодействия процессов. Алгоритм Деккера.

Семафоры Дейкстры. Решение проблемы взаимоисключения при помощи семафоров. Мониторы. Синхронизация процессов на примере решения задачи о производителях и потребителях средствами семафоров и мониторов. Эквивалентность семафоров и мониторов.

Взаимоблокировка процессов. Необходимые условия возникновения тупиков. Алгоритм банкира предотвращения тупиков. Модель программы в виде графа «процесс-ресурс». Изменение состояний программы в результате запросов, приобретений и освобождений ресурсов. Достижимость состояния программы. Использование графа «процесс-ресурс» для обнаружения и исключения тупиков.

*Распараллеливание на основе многопоточности для симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью. C++ и технология OpenMP.* Стандарт OpenMP и директивы компилятора C/C++. Модель параллельной программы OpenMP и ее выполнение. Переменные среды и вспомогательные функции, директива single, директива master. Модель данных OpenMP. Классы переменных и области видимости.

Распределение работы между потоками. Параллельные циклы. Параллельные секции. Неитеративный параллелизм и директива sections. Распараллеливание работы между потоками на основе независимых задач, директива tasks.

Синхронизация выполнения потоков. Барьеры. Директива ordered. Критические секции в OpenMP. Директива atomic. Блокировки. Директива flush.

*Разработка параллельных программ для систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений. C++ и технология MPI.* Технология MPI. Инициализация и завершение MPI программ. Определение количества и ранга процессов. Понятие коммутаторов. Парные межпроцессные обмены.

Операции блокирующей передачи и блокирующего приема: данные в сообщении, атрибуты сообщения, возвращаемая статусная информация. Правила соответствия типов данных и преобразование данных.

Неблокирующий обмен: коммуникационные объекты, инициация и завершение обмена, семантика неблокирующих коммуникаций, множественные завершения.

Коллективные взаимодействия процессов: барьерная синхронизация, широковещательный обмен, сбор данных, рассылка, сбор для всех процессов, общие по всем процессам рассылка и сбор данных.

Глобальные операции редукции: функция Reduce, предопределенные операции редукции (вычисление сумм, произведений, логические операции и т.д.), нахождение глобального минимума/максимума и его индекса, функции All-Reduce, Reduce-Scatter, Scan.

Группы процессов и коммутаторы, базовые концепции. Управление группой: средства доступа в группу, конструкторы и деструкторы групп. Управление коммутаторами: доступ к коммутаторам, конструкторы и деструкторы коммутаторов.

Виртуальная топология и топологические конструкторы. Конструктор декартовой топологии и распределение процессоров по размерностям декартовой топологии. Конструктор топологии в форме графа.

На лабораторных занятиях студенты используют электронный образовательный курс (ресурс) для MOODLE на портале <https://course.sgu.ru/>, указанный в п. 1 в списке программного обеспечения и Интернет-ресурсов. В состав материалов ресурса входят методические рекомендации для выполнения лабораторных работ и комплекты заданий.

### План лабораторных занятий

№ занятия	Тема	Задания для лабораторного практикума
1	2	3
1	Распараллеливание на основе многопоточности для симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью	«С++ и технология OpenMP», «Измерение времени работы программы»
2-4	Численное интегрирование, формула Симпсона, вычисление определенных и кратных интегралов	1 – 3
5-11	Численное решение систем линейных алгебраических уравнений методом исключения Гаусса и итерационными методами	4 – 6
12-16	Преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье	7 – 9
17	Разработка параллельных программ для систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений	«С++ и технология MPI», «Запуск MPI-приложения»
18-20	Численное интегрирование на MPI	10 – 12
21-27	Численное решение систем линейных алгебраических уравнений на MPI	13 – 15
28-32	Быстрое преобразование Фурье на MPI	16 – 18

## **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм занятий:

- технология проблемного обучения – работа с различными источниками информации;
- технология модерирования групповой работы – организация группового взаимодействия.

При освоении дисциплины планируется использование средств портала <https://course.sgu.ru> для интерактивного общения студентов и преподавателя в рамках самостоятельной работы и для проведения учета текущей успеваемости студентов.

*При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов* используются подходы, способствующие созданию безбарьерной образовательной среды: технологии дифференциации и индивидуализации обучения, увеличивается время на самостоятельное освоение материала. Используется сочетание разных форм и способов передачи учебной информации: вербальный, невербальный, с использованием средств визуализации информации (презентации) и разных способов отчетности (письменно, устно, с использованием электронных дистанционных технологий).

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **6.1. Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств дисциплины включает в себя задания для выполнения лабораторных работ, контрольные задания, тесты, вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде экзамена.

### **6.2. Виды самостоятельной работы обучающихся**

1. Изучение учебно-методической литературы и информационного обеспечения по дисциплине, подготовка докладов по следующей тематике:
  - Язык параллельного программирования CAF;
  - Язык параллельного программирования Chapel;
  - Язык параллельного программирования UPC;
  - Язык параллельного программирования X10;
  - Технология CUDA параллельного программирования для графических процессоров;
  - Технология разработки на основе стандарта OpenCL;
  - Алгоритмический язык параллельного программирования ОККАМ;



- Алгоритмический язык Фортран HPF для параллельного программирования;
  - Технология разработки параллельных программ DVM;
  - Язык параллельного функционального программирования T++;
  - Многопоточное программирование в Java;
  - Java и технологии OpenMP, MPI;
  - Средства разработки распределенных приложений на Java;
  - Параллельное программирование для систем с общей памятью на основе технологии Intel Cilk Plus;
  - Параллельное программирование для систем с общей памятью на основе технологии Intel Threading Building Blocks (TBB).
2. Выполнение заданий лабораторных занятий, подготовка отчетов по лабораторным работам.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	10	35	0	10	0	10	35	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента

#### 6-й семестр

##### *Лекции*

Посещаемость за один семестр – от 0 до 10 баллов.

##### *Лабораторные занятия*

Контроль выполнения лабораторных заданий в течение одного семестра – от 0 до 35 баллов.

##### *Практические занятия*

Не предусмотрены.

##### *Самостоятельная работа*

Доклад по одной из тем, предложенных для самостоятельной работы – от 0 до 10 баллов.

##### *Автоматизированное тестирование*

Не предусмотрено.

### ***Другие виды учебной деятельности***

- Контрольная работа №1 (от 0 до 10 баллов);

Таким образом в течение семестра студент может получить от 0 до 10 баллов дополнительно.

### ***Промежуточная аттестация***

Формой промежуточной аттестации является *экзамен*. При проведении промежуточной аттестации:

- ответ на «отлично» оценивается от 26 до 35 баллов;
- ответ на «хорошо» оценивается от 11 до 25 баллов;
- ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 10 баллов;
- ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Методика оценивания знаний обучающихся по дисциплине «Параллельное и распределенное программирование» в ходе промежуточной аттестации:

*26-35 баллов – «отлично»:*

Ответ студента содержит:

- глубокое знание программного материала, а также современных подходов к технологиям параллельного программирования;
- знание принципов построения параллельных вычислительных систем, основных моделей функционирования параллельных программ и возможностей по их эффективному использованию, а также свидетельствует о способности:

- проводить анализ и декомпозицию вычислений на части, допускающие параллельное выполнение;
- разрабатывать параллельные программы для вычислительных систем с общей и распределенной памятью с использованием технологий OpenMP и MPI;
- выполнять вычислительные эксперименты на высокопроизводительных вычислительных системах;
- проводить оценку эффективности выполняемых параллельных вычислений.

*11-25 баллов – «хорошо»:*

Ответ студента свидетельствует:

- о полном знании материала по программе;
- о знании рекомендованной литературы;
- об умении применять технологии разработки параллельных программ для решения типовых задач,

а также содержит:

- в целом правильное, но не всегда точное и аргументированное изложение материала.

*6-10 баллов – «удовлетворительно»:*

Ответ студента содержит:

- поверхностные знания важнейших разделов программы;
- затруднения с использованием понятийного аппарата и терминологии;
- стремление логически четко построить ответ, а также свидетельствует о возможности последующего обучения.

*0-5 баллов – «неудовлетворительно»:*

студенту, имеющему существенные пробелы в знании основного материала по программе, а также допустившему принципиальные ошибки при изложении материала.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6-й семестр по дисциплине «Параллельное и распределенное программирование» составляет **100** баллов.

**Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Параллельное и распределенное программирование» в оценку (экзамен):**

от 91 баллов и более	«отлично»
от 76 до 90 баллов	«хорошо»
от 65 до 75 баллов	«удовлетворительно»
меньше 65 баллов	«неудовлетворительно»

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Параллельное и распределенное программирование»

### а) литература:

1. *Гергель В. П.* Теория и практика параллельных вычислений : учебное пособие / В. П. Гергель. – Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010, 2007. ✓
  2. *Воеводин В. В., Воеводин Вл. В.* Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. [Электронный ресурс]. — URL: <https://ibooks.ru/reading.php?productid=18522> ✓
  3. *Воеводин В. В.* Вычислительная математика и структура алгоритмов : учебник / В. В. Воеводин. — Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2010. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/13042.html> ✓
  4. *Андрейченко Д. К., Велиев В. М., Ерофтиев А. А., Портенко М. С.* Теоретические основы параллельного программирования : учебное пособие. – Саратов: Саратовский госуниверситет им. Н.Г. Чернышевского. – 2015. [Электронный ресурс]. — URL: [http://elibrary.sgu.ru/uch\\_lit/1255.pdf](http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/1255.pdf) ✓
  5. *Линев А. В., Боголепов Д. К., Бастраков С. И.* Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур : учебник / под ред. В. П. Гергеля. – Москва: Изд-во Московского университета, 2010. ✓
  6. *Корняков К. В.* Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью : учебник / К. В. Корняков [и др.] ; под ред. В. П. Гергеля. – Москва: Изд-во Московского университета, 2010. ✓
  7. *Богачев К. Ю.* Основы параллельного программирования. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. ✓ 25
  8. *Лацис А. О.* Параллельная обработка данных : учеб. пособие для студентов вузов / А. О. Лацис – Москва: Изд. центр «Академия», 2010. ✓
- б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:
1. Электронный курс для MOODLE «Параллельное и распределенное программирование». — URL: <https://course.sgu.ru/course/view.php?id=1216>
  2. Сайт учебного курса «CS338. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование». — URL: <http://www.hpcc.unn.ru/?doc=98>
  3. Материалы учебного курса «Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование». — URL: <http://www.hpcc.unn.ru/?doc=14>
  4. Интернет-портал Лаборатории Параллельных информационных технологий НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова. — URL: [www.parallel.ru](http://www.parallel.ru)
  5. TOP 500. Список 500 лидирующих суперкомпьютеров. — URL: <http://www.top500.org>
  6. Бесплатная полнофункциональная интегрированная среда разработки Visual Studio Community 20XX.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Параллельное и распределенное программирование»**

Для проведения лекционных занятий необходима мультимедийная лекционная аудитория с проектором.

Для проведения лабораторных занятий необходим компьютерный класс факультета КНиИТ, оснащенный мультимедийным оборудованием с постоянным доступом к сети Интернет и выходом на кластер высокопроизводительных вычислений факультета КНиИТ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» и профилю подготовки «Информатика и компьютерные науки».

Автор:

д.ф.-м.н., профессор кафедры  
информатики и программирования

Купцов П.В.

Программа одобрена на заседании кафедры информатики и программирования от «24» сентября 2020 года, протокол № 3.

Программа актуализирована на заседании кафедры информатики и программирования от «13» сентября 2021 года, протокол № 2.

