



**Оборотная сторона титульного листа РПД**

I. **Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**  
Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Фамилия)

II. **Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**  
Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Фамилия)

## **Аннотация дисциплины**

### **Параллельная обработка данных**

Общая трудоемкость дисциплины 3 з.е. (108 час.). Дисциплина является обязательной дисциплиной вариативной части учебного плана: Б1.В.02.02, изучается на 2 курсе (3 семестр) и завершается зачетом в 3 семестре. Учебным планом предусмотрено проведение лекций 18 час., лабораторных работ 18 час. (в том числе интерактивных 18 часов), а также выделены часы на самостоятельную работу студента - 72 час.

**Цель:** раскрыть смысл ключевых понятий параллельной обработки данных, сформировать представление о современных параллельных вычислительных архитектурах, моделях, методах и технологиях их программирования, привить навыки работы с параллельными вычислительными платформами.

#### **Задачи:**

- приобретение студентами базового набора знаний в областях параллельной алгоритмизации и параллельных вычислений;
- первичных навыков работы с современными параллельными вычислительными системами и инструментальными средствами разработки параллельного программного обеспечения.

Для успешного изучения дисциплины «Параллельная обработка данных» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического использования, применять основы информатики и программирования к проектированию, конструированию и тестированию программных продуктов
- способность использовать современные методы и технологии (в том числе информационные) в профессиональной деятельности
- способность к выбору архитектуры и комплексирования современных компьютеров, систем, комплексов и сетей системного администрирования
- готовность к использованию современных системных программных средств: операционных систем, операционных и сетевых оболочек, сервисных программ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют формирование следующих компетенций:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Разработка и реализация проектов	УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 определяет проблему, на решение которой направлен проект, грамотно формулирует цель проекта. Планирует этапы работы над проектом с учетом последовательности их реализации, определяет этапы жизненного цикла проекта	<p><u>Знает</u> критерии выбора метода параллельной обработки данных для произвольной предметной области при заданных требованиях к эффективности</p> <p><u>Умеет</u> выполнять прогнозную оценку эффекта от применения тех или иных методов параллельной обработки данных на функциональную эффективность</p> <p><u>Владеет</u> методами проектирования параллельных алгоритмов и параллельных программ параллельной обработки данных</p>
		УК-2.2 разрабатывает программу действий по решению задач проекта с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	<p><u>Знает</u> ограничения и определения эффективности методов параллельной обработки данных при заданных требованиях к оперативности и ресурсоемкости, а также к трудоемкости реализации параллельной обработки данных</p> <p><u>Умеет</u> составить алгоритмическую модель задачи параллельной обработки данных, выбрать адекватную параллельную форму алгоритма параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, выполнить их анализ на предмет корректности, оперативности, ресурсоемкости, отказоустойчивости.</p> <p><u>Владеет</u> методами оценки эффективности алгоритмов и программ параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, методами анализа эффективности алгоритмов и программ для параллельной обработки данных</p>
		УК 2.3 обеспечивает выполнение проекта в избранной профессиональной сфере в соответствии с установленными целями, сроками и	<p><u>Знает</u> методы обоснования проектных решений при реализации обработки данных, критерии использования методов параллельных вычислений и параллельной обработки данных</p> <p><u>Умеет</u> показать целесообразность и</p>

		затратами. Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или осуществляет его внедрение).	адекватность выбранного метода обработки данных для повышения общесистемной эффективности <u>Владеет</u> навыками алгоритмической реализации задач обработки данных, синтеза их параллельных форм, выбора адекватных параллельных аппаратных и программных для их реализации
Производственно-технологический	ПК-3 Способен использовать методы программной реализации распределенных информационных систем	ПК-3.1 демонстрирует знание методов программной реализации распределенных информационных систем	<u>Знает</u> методы обоснования инфокоммуникационных протоколов и их программной и аппаратной реализации для параллельной обработки данных в распределенных информационных системах <u>Умеет</u> обосновать выбранный метод реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах на основе требований к эффективности <u>Владеет</u> навыками формального обоснования алгоритмов, выбора средств реализации, выбранного метода реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах
		ПК-3.2 использует методы программной реализации распределенных информационных систем	<u>Знает</u> основные языки и инфокоммуникационные протоколы для реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах <u>Умеет</u> осуществлять реализацию параллельной обработки данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования в соответствии с требованиями протокола, а также выбирать протокол взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных <u>Владеет</u> навыками использования методов параллельной обработки данных в распределенных информационных системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и отказоустойчивости.
		ПК-3.3 применяет методы создания распределенных информационных систем, требуемых в	<u>Знает</u> особенности применения основных языков и инфокоммуникационных протоколов для реализации параллельной обработки данных в

		профессиональной деятельности	распределенных информационных системах <u>Умеет</u> реализовывать параллельную обработку данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования и протоколов взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных. <u>Владеет</u> навыками применения методов параллельной обработки данных в распределенных информационных системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и отказоустойчивости
Производственно-технологический	ПК-4. Способен создавать программное обеспечение для анализа и обработки информации	ПК-4.1 демонстрирует знание методов создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	<u>Знает</u> методы обоснования задач параллельной обработки данных и ее применения для анализа и обработки информации <u>Умеет</u> выполнять формальное обоснование задач параллельной обработки данных для анализа и обработки информации <u>Владеет</u> навыками описания и обоснования задач и реализаций параллельной обработки данных.
		ПК-4.2 использует методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	<u>Знает</u> методы программной реализации параллельной обработки и анализа данных <u>Умеет</u> реализовывать программы для параллельной обработки данных и анализа переносимой информации. <u>Владеет</u> методами программирования технических средств параллельной обработки данных на основе требований к функциональной эффективности
		ПК-4.3 применяет методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации, требуемых в профессиональной деятельности	<u>Знает</u> методы разработки программ для параллельной обработки и анализа данных <u>Умеет</u> разрабатывать программы для параллельной обработки данных и их анализа <u>Владеет</u> навыками программной реализации технических средств параллельной обработки данных на основе требований к эффективности
Проектный	ПК-9 Способен выполнить программную реализацию систем с параллельной обработкой данных	ПК-9.1 демонстрирует знание методов программной реализации систем с параллельной	<u>Знает</u> особенности описания алгоритмов и программ, используемых для параллельной обработки данных с помощью вычислительных машин и систем, реализующих различные модели

и высокопроизводительных систем.	обработкой данных и высокопроизводительных систем	<p>параллелизма, включая высокопроизводительные вычислительные системы.</p> <p><u>Умеет</u> описывать параллельные алгоритмы и программы для параллельной обработки данных, их применимость и реализуемость для различных моделей параллелизма и соответствующих параллельных вычислительных машин и систем, реализующих параллельные и высокопроизводительные вычисления</p> <p><u>Владеет</u> терминами и навыками лингвистического описания и формального обоснования методов параллельной обработки данных с применением для этого высокопроизводительных вычислителей</p>
	ПК-9.2 использует методы программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	<p><u>Знает</u> языковые средства и алгоритмические примитивы, используемые для параллельной обработки данных, включая высокопроизводительные вычислительные системы</p> <p><u>Умеет</u> выполнять программную реализацию алгоритмов обработки данных, используя различные модели параллелизма, языковых средств для его программной реализации, моделей параллельных вычислений в целом</p> <p><u>Владеет</u> формальными лингвистическими средствами для программной реализации параллельной и высокопроизводительной обработки данных</p>
	ПК-9.3 применяет методы организации параллельной обработки данных, требуемых в профессиональной деятельности	<p><u>Знает</u> принципы организации параллельных вычислений применительно к задачам обработки данных, а также фундаментальные логические примитивы, используемые для реализации взаимодействия параллельных вычислителей и единиц выполнения при такой организации</p> <p><u>Умеет</u> выполнять организацию параллельных вычислений для высокопроизводительной обработки данных с помощью параллельных вычислительных машин и их систем</p> <p><u>Владеет</u> методами применения принципов организации</p>

			параллельных вычислений при реализации параллелизуемых алгоритмов обработки данных за счет использования параллельных вычислительных машин и их систем
--	--	--	--

## **I. Цели и задачи освоения дисциплины:**

**Цель:** раскрыть смысл ключевых понятий параллельной обработки данных, сформировать представление о современных параллельных вычислительных архитектурах, моделях, методах и технологиях их программирования, привить навыки работы с параллельными вычислительными платформами.

### **Задачи:**

1. Приобретение студентами базового набора знаний в областях параллельной алгоритмизации и параллельных вычислений.
2. Приобретение первичных навыков работы с современными параллельными вычислительными системами и инструментальными средствами разработки параллельного программного обеспечения.

Для успешного изучения дисциплины «Параллельная обработка данных» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте;
- способен самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности;
- способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия;
- знание методов организации и управления информационными процессами;
- способен использовать существующие подходы к верификации моделей программного обеспечения.

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют формирование следующих компетенций:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Разработка и реализация проектов	УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 определяет проблему, на решение которой направлен проект, грамотно формулирует цель проекта. Планирует этапы работы над проектом с учетом последовательности их реализации, определяет этапы жизненного цикла проекта	<u>Знает</u> критерии выбора метода параллельной обработки данных для произвольной предметной области при заданных требованиях к эффективности <u>Умеет</u> выполнять прогнозную оценку эффекта от применения тех или иных методов параллельной обработки данных на функциональную эффективность <u>Владеет</u> методами проектирования параллельных алгоритмов и параллельных программ параллельной обработки данных
		УК-2.2 разрабатывает программу действий по решению задач проекта с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	<u>Знает</u> ограничения и определения эффективности методов параллельной обработки данных при заданных требованиях к оперативности и ресурсоемкости, а также к трудоемкости реализации параллельной обработки данных <u>Умеет</u> составить алгоритмическую модель задачи параллельной обработки данных, выбрать адекватную параллельную форму алгоритма параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, выполнить их анализ на предмет корректности, оперативности, ресурсоемкости, отказоустойчивости. <u>Владеет</u> методами оценки эффективности алгоритмов и программ параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, методами анализа эффективности алгоритмов и программ для параллельной обработки данных
		УК 2.3 обеспечивает	<u>Знает</u> методы обоснования

		<p>выполнение проекта в избранной профессиональной сфере в соответствии с установленными целями, сроками и затратами. Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или осуществляет его внедрение).</p>	<p>проектных решений при реализации обработки данных, критерии использования методов параллельных вычислений и параллельной обработки данных  <u>Умеет</u> показать целесообразность и адекватность выбранного метода обработки данных для повышения общесистемной эффективности  <u>Владеет</u> навыками алгоритмической реализации задач обработки данных, синтеза их параллельных форм, выбора адекватных параллельных аппаратных и программных для их реализации</p>
Производственно-технологический	ПК-3 Способен использовать методы программной реализации распределенных информационных систем	<p>ПК-3.1 демонстрирует знание методов программной реализации распределенных информационных систем</p>	<p><u>Знает</u> методы обоснования инфокоммуникационных протоколов и их программной и аппаратной реализации для параллельной обработки данных в распределенных информационных системах  <u>Умеет</u> обосновать выбранный метод реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах на основе требований к эффективности  <u>Владеет</u> навыками формального обоснования алгоритмов, выбора средств реализации, выбранного метода реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах</p>
		<p>ПК-3.2 использует методы программной реализации распределенных информационных систем</p>	<p><u>Знает</u> основные языки и инфокоммуникационные протоколы для реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах  <u>Умеет</u> осуществлять реализацию параллельной обработки данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования в соответствии с требованиями протокола, а также выбирать протокол взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных  <u>Владеет</u> навыками использования методов параллельной обработки данных в распределенных информационных системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и</p>

			отказоустойчивости.
		ПК-3.3 применяет методы создания распределенных информационных систем, требуемых в профессиональной деятельности	<p><u>Знает</u> особенности применения основных языков и инфокоммуникационных протоколов для реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах</p> <p><u>Умеет</u> реализовывать параллельную обработку данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования и протоколов взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных.</p> <p><u>Владеет</u> навыками применения методов параллельной обработки данных в распределенных информационных системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и отказоустойчивости</p>
Производственно-технологический	ПК-4. Способен создавать программное обеспечение для анализа и обработки информации	ПК-4.1 демонстрирует знание методов создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	<p><u>Знает</u> методы обоснования задач параллельной обработки данных и ее применения для анализа и обработки информации</p> <p><u>Умеет</u> выполнять формальное обоснование задач параллельной обработки данных для анализа и обработки информации</p> <p><u>Владеет</u> навыками описания и обоснования задач и реализаций параллельной обработки данных.</p>
		ПК-4.2 использует методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	<p><u>Знает</u> методы программной реализации параллельной обработки и анализа данных</p> <p><u>Умеет</u> реализовывать программы для параллельной обработки данных и анализа переносимой информации.</p> <p><u>Владеет</u> методами программирования технических средств параллельной обработки данных на основе требований к функциональной эффективности</p>
		ПК-4.3 применяет	<u>Знает</u> методы разработки программ

		методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации, требуемых в профессиональной деятельности	для параллельной обработки и анализа данных <u>Умеет</u> разрабатывать программы для параллельной обработки данных и их анализа <u>Владеет</u> навыками программной реализации технических средств параллельной обработки данных на основе требований к эффективности
Проектный	ПК-9 Способен выполнить программную реализацию систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем.	ПК-9.1 демонстрирует знание методов программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	<u>Знает</u> особенности описания алгоритмов и программ, используемых для параллельной обработки данных с помощью вычислительных машин и систем, реализующих различные модели параллелизма, включая высокопроизводительные вычислительные системы. <u>Умеет</u> описывать параллельные алгоритмы и программы для параллельной обработки данных, их применимость и реализуемость для различных моделей параллелизма и соответствующих параллельных вычислительных машин и систем, реализующих параллельные и высокопроизводительные вычисления <u>Владеет</u> терминами и навыками лингвистического описания и формального обоснования методов параллельной обработки данных с применением для этого высокопроизводительных вычислителей
		ПК-9.2 использует методы программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	<u>Знает</u> языковые средства и алгоритмические примитивы, используемые для параллельной обработки данных, включая высокопроизводительные вычислительные системы <u>Умеет</u> выполнять программную реализацию алгоритмов обработки данных, используя различные модели параллелизма, языковых средств для его программной реализации, моделей параллельных вычислений в целом <u>Владеет</u> формальными лингвистическими средствами для программной реализации параллельной и высокопроизводительной обработки данных
		ПК-9.3 применяет методы организации параллельной	<u>Знает</u> принципы организации параллельных вычислений применительно к задачам

		обработки данных, требуемых в профессиональной деятельности	обработки данных, а также фундаментальные логические примитивы, используемые для реализации взаимодействия параллельных вычислителей и единиц выполнения при такой организации <i>Умеет</i> выполнять организацию параллельных вычислений для высокопроизводительной обработки данных с помощью параллельных вычислительных машин и их систем <i>Владеет</i> методами применения принципов организации параллельных вычислений при реализации параллелизуемых алгоритмов обработки данных за счет использования параллельных вычислительных машин и их систем
--	--	---	---

## II. Трудоемкость дисциплины и виды учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётных единиц (108 академических часа).

### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1	Параллельная обработка данных	3	18	18	0	0	72	0	Зачет
	Итого:		18	18	0	0	72	0	

\*онлайн курс

### **III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА** **Трудоёмкость теоретической части курса 18 часов**

#### **Тема 1. Обоснование и теоретические основы параллельных вычислений, алгоритмов и программ (2 часа)**

1. Актуальность параллельных вычислений. Закон Мура и гипотеза Минского.

2. Теоретическое обоснование параллельных вычислений. Параллельные вычисления и энергоэффективность. Параллелизуемость и масштабируемость параллельных алгоритмов. Закон Амдала. Параллельные формы алгоритмов.

#### **Тема 2. Архитектуры и интерфейсы платформ для параллельных вычислений (6 часов)**

1. Таксономия Флинна.

2. Параллельные системы с общей памятью. Симметричные мультипроцессоры. Кэш-память и когерентность кэша.

3. Суперскалярные вычисления. Векторные вычисления. Структура векторных регистров. Ввод-вывод в параллельных вычислениях. Векторизация программ. Примеры сложения и LU-разложения матриц с помощью SSE4.2, AVX-2 и AVX-512 с помощью встроенных функций на C. Причины снижения производительности на реальных программах.

4. Архитектуры с параллелизмом на уровне машинных команд, VLIW, суперскалярность, EPIС. Мультиточковость и hyperthreading.

5. Системы с разделенной памятью. Архитектуры вычислительных систем с разделенной памятью. Особенности дизайна параллельных вычислений с использованием мультикомпьютеров.

6. Архитектуры SMP, NUMA, ccNUMA.

7. Неоднородные распределенные вычислительные системы и среды, понятие метакомпьютинга. Отличительные свойства вычислительных сред. Понятие GRID, базовые компоненты и сервисы, существующие проекты GRID-сегментов. Сети и стеки протоколов InfiniBand и FibreChannel для реализации высокопроизводительной распределенной обработки данных.

8. Компьютеры с реконфигурируемой архитектурой, FPGA, концепция data-flow компьютеров.

9. Использование специализированных процессоров для решения задач, примеры реализации для цифровой обработки одномерных сигналов. Графические процессоры для вычислений общего назначения. Реализация GPGPU Nvidia. Архитектура и язык Nvidia CUDA.

### **Тема 3. Обзор языковых средств реализации параллельной обработки данных (2 часа)**

1. Языковое расширение и библиотека OpenMP для языков C и C++.
2. Средства реализации совместных и параллельных вычислений Windows и Posix.
3. Интерфейс реализации совместных и параллельных вычислений с помощью стандартной библиотеки C11-C17.
4. Потоки C++14, параллельные алгоритмы C++17.
5. Примеры реализации параллельных алгоритмов поиска минимума и аккумуляирования элементов вектора.
6. Интерфейс Message Passing Interface и его реализация OpenMPI.

### **Тема 4. Синтез и анализ параллельных алгоритмов (2 часа).**

1. Оптимальный по поведению последовательный алгоритм. Рекуррентные соотношения. Основная теорема асимптотического анализа. Ускорение при распараллеливании. Стоимость параллельного алгоритма. Оптимальность алгоритма по стоимости. Ограниченность асимптотического анализа.

2. Строго параллельные формы графа, каноническая параллельная форма. Соотнесение строго параллельных форм с выполнением алгоритма на конкретных архитектурных решениях. Ярусы параллельной формы, их ширина и высота. Концепция неограниченного параллелизма. Определение максимально возможного ускорения по ярусно-параллельной форме алгоритма.

3. Декомпозиция алгоритмов и программ на уровне действий и операторов. Условия Бернштейна и их нарушение. Истинная или потоковая зависимость, антизависимость, зависимость по выходным данным. Графы зависимостей. Связь зависимостей операторов с возможностью их одновременного выполнения.

4. Простые циклы: расстояние зависимости; зависимости, связанные и несвязанные с циклом. Вложенные циклы. Вектора зависимости и направлений. Их использование для определения возможности распараллеливания циклов. Эквивалентные преобразования программ и алгоритмов. Способы устранения зависимостей, связанных с циклом.

5. Динамическое, потоковое, статическое планирование, использование пула потоков, конвейеризация, состязательность. Проблемы балансировки загрузки процессоров. Гомогенные и гетерогенные вычислительные системы

## **Тема 5. Средства управления параллельными вычислениями (2 часа)**

1. Интерфейс и реализация взаимодействия единиц параллельного выполнения в системах с общей и разделенной памятью. Управление вычислениями с помощью передачи сообщений в системах с общей и разделенной памятью.

2. Проблемы управления и контроля доступа к разделяемым ресурсам. Состязательность и гонки. Ложное разделение памяти. Синхронизация доступа к разделяемым ресурсам.

3. Примитивы синхронизации параллельного выполнения в системах с общей памятью. Мьютексы. Мониторы: переменные условия, события и семафоры. Барьерная синхронизация.

4. Проектирование и реализация комплексных протоколов синхронизации доступа к разделяемым ресурсам. Реализация событий и семафоров на основе мьютексов и переменных условий. Реализация интерфейса передачи сообщений на основе многопоточной очереди сообщений.

5. Примитивы синхронизации, предоставляемые библиотеками языков C17, C++14 и C++20, платформами Windows и Linux (Pthreads). Масштабируемость алгоритмов, использующих синхронизацию.

6. Параллелизм, основанный на задачах. Интерфейс, балансировка нагрузки, пулы потоков, планирование выполнения. Примеры реализации параллелизма, основанного на задачах, (алгоритм Кули-Туки) с помощью конструкций OpenMP и C++14.

## **Тема 6. Реализация параллельных вычислений с помощью CUDA (2 часа)**

1. CUDA расширение языка C. Понятие ядра (kernel) CUDA. Функции устройства. Поддержка элементов языков C и C++ и ограничения вычислений на устройстве CUDA.

2. Передача данных между хостом и устройством CUDA.

3. Использование разделяемой (shared) памяти для снижения длительности ввода-вывода данных. Влияние адресации и выравнивания на сериализацию доступа к разделяемой памяти: банки разделяемой памяти и конфликты доступа к банкам.

4. Асинхронное и одновременное выполнение ядер (kernel) CUDA. Потоки CUDA Stream. Реализация гетерогенного параллелизма с помощью центрального мультипроцессора и процессоров CUDA.

5. Высокоуровневые библиотеки CUDA. Nvidia Thrust. PyCUDA. Поддержка CUDA в среде Matlab.

## **Тема 7. Основы квантового параллелизма (2 часа)**

1. Электромагнитная волна и векторное представление решения волнового уравнения Шредингера.
2. Обратимые вычисления, принцип Ландауэра и закон Куми.
3. Основные операции над кубитами: отображение на себя, инверсия. Обратимые постоянные функции. Квантовая суперпозиция. Преобразование Адамара.
4. Связанные кубиты и запутанность, представление серий кубит с помощью тензорного произведения. Управляемая инверсия кубит.
5. Алгоритм Дойча.

## **IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (0 час.)**

#### **Лабораторные работы (18 часов)**

##### **Лабораторная работа № 1. ОКМД-параллелизм в задачах анализа данных и локальность доступа (2 час.)**

Реализовать программу, измеряющую производительность последовательного и параллельного вычисления среднего арифметического массива чисел с плавающей запятой двойной точности без и с учётом локальности доступа к данным на чтение и запись. Измерить масштабируемость реализации.

##### **Лабораторная работа № 2. Векторизация сложения и умножения матриц с помощью векторных расширений Intel x86-64 (4 час.)**

Реализовать последовательную и векторную программы, осуществляющую сложение и умножение двух матриц чисел с плавающей запятой одинарной точности. Платформа для векторной реализации, SSE, AVX или AVX-512, выбирается, исходя из пожеланий студента, а также материально-технического обеспечения лабораторной работы. Считая матрицу массивом столбцов из  $n$  строк, считать  $n$  кратным числу элементов, умещаемом в векторном регистре. Измерить оперативность последовательной и векторной реализаций в зависимости от размера данных  $n^2$ .

##### **Лабораторная работа № 3. Вычисление остатка от деления длинных целых путем параллельной редукции вектора (4 час.)**

Дан вектор слов, задающих разряды длинного беззнакового целого, а также слово, задающее модуль. Вычислить остаток от деления делимого на модуль с помощью параллельной редукции, реализовав функцию `vector_mod`

в файле `vector_mod.cpp`, который необходимо создать и добавить поддиректорию `vector_mod` клонированного GIT-репозитория, Интернет-адрес которого [https://gitlab.com/lpsztemp/parallel\\_mod/](https://gitlab.com/lpsztemp/parallel_mod/).

Оценить и объяснить влияние размера подвекторов, которые подвергаются редукции последовательно, а также метода записи частичных результатов, получаемых каждым из потоков, на масштабируемость реализации. Объяснить положительное и отрицательное влияние кэш-памяти на масштабируемость.

#### **Лабораторная работа № 4. Параллелизм выполнения, реализуемый задачами, на примере алгоритма Кули-Туки (4 час.)**

Последовательно, с помощью задач OpenMP, а также используя распределение нагрузки с помощью атомарного счетчика занятых потоков на языке C++, реализовать рекурсивное вычисление быстрого преобразования Фурье вектора комплексных чисел с помощью алгоритма Кули-Туки (для размера входа – степени двух) с записью результата в непересекающийся выходной вектор того же типа.

Визуализировать произвольные входные данные, симметричные относительно середины, а также результаты трех преобразований, построив графики зависимости соответственно от отсчета и частоты.

Оценить производительность и масштабируемость трех реализаций БПФ.

#### **Лабораторная работа № 5. Локальность доступа к данным при БПФ, переупорядочивание данных и реализация параллельного БПФ с помощью CUDA (4 час.)**

Модифицировать последовательную реализацию двоичного алгоритма Кули-Туки, используя процедуру предварительного переупорядочивания данных, записываемых в непересекающийся выходной буфер, а также заменив рекурсию соответствующим циклом.

Полученную реализацию дополнить её параллельной формой, сохраняя локальность доступа потоков выполнения к данным. Измерить масштабируемость, время выполнения и ускорения в зависимости от количества используемых ядер центрального процессора, в сравнении с наиболее оперативной реализацией параллельного БПФ, полученной в рамках лабораторной работы № 4.

Выполнить реализацию алгоритма с переупорядочиванием для CUDA.

Измерить время выполнения трёх полученных реализаций в зависимости от количества обрабатываемых данных и построить графики зависимости.

Также выполнить визуализацию результатов преобразований.

## V. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Тема № 1,  Обоснование и теоретические основы параллельных вычислений, алгоритмов и программ	УК-2.1 определяет проблему, на решение которой направлен проект, грамотно формулирует цель проекта. Планирует этапы работы над проектом с учетом последовательности их реализации, определяет этапы жизненного цикла проекта	Знает критерии выбора метода параллельной обработки данных для произвольной предметной области при заданных требованиях к эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ЛР-6); конспект (ЛР-7).	-
			Умеет выполнять прогнозную оценку эффекта от применения тех или иных методов параллельной обработки данных на функциональную эффективность.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ЛР-6); конспект (ЛР-7).	-
			Владеет методами проектирования параллельных алгоритмов и параллельных программ параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ЛР-6); конспект (ЛР-7).	-
		УК-2.2 разрабатывает программу действий по решению задач проекта с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Знает ограничения и определения эффективности методов параллельной обработки данных при заданных требованиях к оперативности и ресурсоемкости, а также к трудоемкости реализации параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ЛР-6); конспект (ЛР-7).	-
			Умеет составить алгоритмическую модель задачи параллельной обработки данных, выбрать адекватную параллельную форму алгоритма параллельной обработки данных,	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ЛР-6); конспект (ЛР-7).	-

			выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, выполнить их анализ на предмет корректности, оперативности, ресурсоемкости, отказоустойчивости.	7).	
			Методами оценки эффективности алгоритмов и программ параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, методами анализа эффективности алгоритмов и программ для параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
2	Тема № 2, Архитектуры и интерфейсы платформ для параллельных вычислений	УК-2.2 разрабатывает программу действий по решению задач проекта с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Знает ограничения и определения эффективности методов параллельной обработки данных при заданных требованиях к оперативности и ресурсоемкости, а также к трудоемкости реализации параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет составить алгоритмическую модель задачи параллельной обработки данных, выбрать адекватную параллельную форму алгоритма параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, выполнить их анализ на предмет корректности, оперативности, ресурсоемкости,	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

			отказоустойчивости.		
			Методами оценки эффективности алгоритмов и программ параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно-лингвистические средства составленных алгоритмов, методами анализа эффективности алгоритмов и программ для параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	УК-2.3 обеспечивает выполнение проекта в избранной профессиональной сфере в соответствии с установленными целями, сроками и затратами. Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или осуществляет его внедрение)		Знает методы обоснования проектных решений при реализации обработки данных, критерии использования методов параллельных вычислений и параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет показать целесообразность и адекватность выбранного метода обработки данных для повышения общесистемной эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет навыками алгоритмической реализации задач обработки данных, синтеза их параллельных форм, выбора адекватных параллельных аппаратных и программных для их реализации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-3.1 демонстрирует знание методов программной реализации распределенных информационных		Знает методы обоснования инфокоммуникационных протоколов и их программной и аппаратной реализации для параллельной обработки данных в	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-	-

		систем	распределенных информационных системах.	7).	
			Умеет обосновать выбранный метод реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах на основе требований к эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владет навыками формального обоснования алгоритмов, выбора средств реализации, выбранного метода реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		ПК-3.2 использует методы программной реализации распределенных информационных систем	Знает основные языки и инфокоммуникационные протоколы для реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет осуществлять реализацию параллельной обработки данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования в соответствии с требованиями протокола, а также выбирать протокол взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владет навыками использования методов параллельной обработки данных в распределенных информационных	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная	-

			системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и отказоустойчивости.	работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	
	ПК-3.3 применяет методы создания распределенных информационных систем, требуемых в профессиональной деятельности		Знает особенности применения основных языков и инфокоммуникационных протоколов для реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет реализовывать параллельную обработку данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования и протоколов взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владет навыками применения методов параллельной обработки данных в распределенных информационных системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и отказоустойчивости.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		ПК-9.1 демонстрирует знание методов программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	Знает особенности описания алгоритмов и программ, используемых для параллельной обработки данных с помощью вычислительных машин и систем, реализующих различные модели параллелизма, включая высокопроизводительные вычислительные системы.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет описывать	Устный опрос	-

			параллельные алгоритмы и программы для параллельной обработки данных, их применимость и реализуемость для различных моделей параллелизма и соответствующих параллельных вычислительных машин и систем, реализующих параллельные и высокопроизводительные вычисления.	(УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	
			Владеет терминами и навыками лингвистического описания и формального обоснования методов параллельной обработки данных с применением для этого высокопроизводительных вычислителей.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
3	Тема № 3, Обзор языковых средств реализации параллельной обработки данных	УК-2.3 обеспечивает выполнение проекта в избранной профессиональной сфере в соответствии с установленными целями, сроками и затратами. Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или осуществляет его внедрение)	Знает методы обоснования проектных решений при реализации обработки данных, критерии использования методов параллельных вычислений и параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет показать целесообразность и адекватность выбранного метода обработки данных для повышения общесистемной эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет навыками алгоритмической реализации задач обработки данных, синтеза их параллельных форм, выбора адекватных параллельных аппаратных и программных для их	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

		реализации.	7).	
	ПК-4.1 демонстрирует знание методов создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	Знает методы обоснования задач параллельной обработки данных и ее применения для анализа и обработки информации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Умеет выполнять формальное обоснование задач параллельной обработки данных для анализа и обработки информации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Владеет навыками описания и обоснования задач и реализаций параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-4.2 использует методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	Знает методы программной реализации параллельной обработки и анализа данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Умеет реализовывать программы для параллельной обработки данных и анализа переносимой информации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Владеет методами программирования технических средств параллельной обработки данных на основе	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная	-

			требований к функциональной эффективности.	работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	
		ПК-9.2 использует методы программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	Знает языковые средства и алгоритмические примитивы, используемые для параллельной обработки данных, включая высокопроизводительные вычислительные системы.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет выполнять программную реализацию алгоритмов обработки данных, используя различные модели параллелизма, языковых средств для его программной реализации, моделей параллельных вычислений в целом.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владет формальными лингвистическими средствами для программной реализации параллельной и высокопроизводительной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
4	Тема № 4, Синтез и анализ параллельных алгоритмов	УК-2.3 обеспечивает выполнение проекта в избранной профессиональной сфере в соответствии с установленными целями, сроками и затратами. Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или	Знает методы обоснования проектных решений при реализации обработки данных, критерии использования методов параллельных вычислений и параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет показать целесообразность и адекватность выбранного метода обработки данных для повышения общесистемной эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

		осуществляет его внедрение)	Владеет навыками алгоритмической реализации задач обработки данных, синтеза их параллельных форм, выбора адекватных параллельных аппаратных и программных для их реализации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-4.2 использует методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации		Знает методы программной реализации параллельной обработки и анализа данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Умеет реализовывать программы для параллельной обработки данных и анализа переносимой информации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-	
		Владеет методами программирования технических средств параллельной обработки данных на основе требований к функциональной эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-	
	ПК-4.3 применяет методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации, требуемых в профессиональной деятельности		Знает методы разработки программ для параллельной обработки и анализа данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Умеет разрабатывать программы для параллельной обработки данных и их анализа.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6);	-	

				конспект (ПР-7).	
			Владеет навыками программной реализации технических средств параллельной обработки данных на основе требований к эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-9.2 использует методы программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	Знает языковые средства и алгоритмические примитивы, используемые для параллельной обработки данных, включая высокопроизводительные вычислительные системы.		Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Умеет выполнять программную реализацию алгоритмов обработки данных, используя различные модели параллелизма, языковых средств для его программной реализации, моделей параллельных вычислений в целом.		Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		Владеет формальными лингвистическими средствами для программной реализации параллельной и высокопроизводительной обработки данных.		Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-9.3 применяет методы организации параллельной обработки данных, требуемых в профессиональной деятельности	Знает принципы организации параллельных вычислений применительно к задачам обработки данных, а также фундаментальные логические примитивы, используемые для реализации взаимодействия параллельных		Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

			вычислителей и единиц выполнения при такой организации.		
			Умеет выполнять организацию параллельных вычислений для высокопроизводительной обработки данных с помощью параллельных вычислительных машин и их систем.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет методами применения принципов организации параллельных вычислений при реализации параллелизуемых алгоритмов обработки данных за счет использования параллельных вычислительных машин и их систем.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
5	Средства управления параллельным и вычислениями	УК-2.3 обеспечивает выполнение проекта в избранной профессиональной сфере в соответствии с установленными целями, сроками и затратами. Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или осуществляет его внедрение)	Знает методы обоснования проектных решений при реализации обработки данных, критерии использования методов параллельных вычислений и параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет показать целесообразность и адекватность выбранного метода обработки данных для повышения общесистемной эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет навыками алгоритмической реализации задач обработки данных, синтеза их параллельных форм, выбора адекватных параллельных аппаратных	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6);	-

			и программных для их реализации.	конспект (ПР-7).	
	ПК-3.3 применяет методы создания распределенных информационных систем, требуемых в профессиональной деятельности		Знает особенности применения основных языков и инфокоммуникационных протоколов для реализации параллельной обработки данных в распределенных информационных системах.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет реализовывать параллельную обработку данных в распределенных информационных системах с помощью языков программирования и протоколов взаимодействия при реализации задач параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет навыками применения методов параллельной обработки данных в распределенных информационных системах соответственно требованиям к функциональной эффективности и отказоустойчивости.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-4.3 применяет методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации, требуемых в профессиональной деятельности		Знает методы разработки программ для параллельной обработки и анализа данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет разрабатывать программы для параллельной обработки данных и их анализа.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

				7).	
			Владеет навыками программной реализации технических средств параллельной обработки данных на основе требований к эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		ПК-9.3 применяет методы организации параллельной обработки данных, требуемых в профессиональной деятельности	Знает принципы организации параллельных вычислений применительно к задачам обработки данных, а также фундаментальные логические примитивы, используемые для реализации взаимодействия параллельных вычислителей и единиц выполнения при такой организации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет выполнять организацию параллельных вычислений для высокопроизводительной обработки данных с помощью параллельных вычислительных машин и их систем.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет методами применения принципов организации параллельных вычислений при реализации параллелизуемых алгоритмов обработки данных за счет использования параллельных вычислительных машин и их систем.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
6	Тема № 6, Реализация параллельны	УК-2.2 разрабатывает программу	Знает ограничения и определения эффективности методов	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-	-

х вычислений с помощью CUDA	действий по решению задач проекта с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	параллельной обработки данных при заданных требованиях к оперативности и ресурсоемкости, а также к трудоемкости реализации параллельной обработки данных.	4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР- 7).	
		Умеет составить алгоритмическую модель задачи параллельной обработки данных, выбрать адекватную параллельную форму алгоритма параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно- лингвистические средства составленных алгоритмов, выполнить их анализ на предмет корректности, оперативности, ресурсоемкости, отказоустойчивости.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО- 4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР- 7).	-
		Методами оценки эффективности алгоритмов и программ параллельной обработки данных, выбрать аппаратную платформу и программно- лингвистические средства составленных алгоритмов, методами анализа эффективности алгоритмов и программ для параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО- 4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР- 7).	-
	ПК-4.2 использует методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации	Знает методы программной реализации параллельной обработки и анализа данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО- 4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР- 7).	-
		Умеет реализовывать программы для параллельной обработки	Устный опрос (УО-1);	-

			данных и анализа переносимой информации.	дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	
			Владеет методами программирования технических средств параллельной обработки данных на основе требований к функциональной эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
	ПК-4.3 применяет методы создания программного обеспечения для анализа и обработки информации, требуемых в профессиональной деятельности		Знает методы разработки программ для параллельной обработки и анализа данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет разрабатывать программы для параллельной обработки данных и их анализа.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет навыками программной реализации технических средств параллельной обработки данных на основе требований к эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		ПК-9.2 использует методы программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводит	Знает языковые средства и алгоритмические примитивы, используемые для параллельной обработки данных, включая высокопроизводительные вычислительные системы.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

		ельных систем	Умеет выполнять программную реализацию алгоритмов обработки данных, используя различные модели параллелизма, языковых средств для его программной реализации, моделей параллельных вычислений в целом.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владет формальными лингвистическими средствами для программной реализации параллельной и высокопроизводительной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		ПК-9.3 применяет методы организации параллельной обработки данных, требуемых в профессиональной деятельности	Знает принципы организации параллельных вычислений применительно к задачам обработки данных, а также фундаментальные логические примитивы, используемые для реализации взаимодействия параллельных вычислителей и единиц выполнения при такой организации.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет выполнять организацию параллельных вычислений для высокопроизводительной обработки данных с помощью параллельных вычислительных машин и их систем.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владет методами применения принципов организации параллельных вычислений при реализации параллелизуемых алгоритмов обработки	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

			данных за счет использования параллельных вычислительных машин и их систем.	7).	
7	Тема № 7, Основы квантового параллелизма	УК-2.1 определяет проблему, на решение которой направлен проект, грамотно формулирует цель проекта. Планирует этапы работы над проектом с учетом последовательности и их реализации, определяет этапы жизненного цикла проекта	Знает критерии выбора метода параллельной обработки данных для произвольной предметной области при заданных требованиях к эффективности.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет выполнять прогнозную оценку эффекта от применения тех или иных методов параллельной обработки данных на функциональную эффективность.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Владеет методами проектирования параллельных алгоритмов и параллельных программ параллельной обработки данных.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
		ПК-9.1 демонстрирует знание методов программной реализации систем с параллельной обработкой данных и высокопроизводительных систем	Знает особенности описания алгоритмов и программ, используемых для параллельной обработки данных с помощью вычислительных машин и систем, реализующих различные модели параллелизма, включая высокопроизводительные вычислительные системы.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-
			Умеет описывать параллельные алгоритмы и программы для параллельной обработки данных, их применимость и реализуемость для различных моделей	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6);	-

			параллелизма и соответствующих параллельных вычислительных машин и систем, реализующих параллельные и высокопроизводительные вычисления.	конспект (ПР-7).	
			Владеет терминами и навыками лингвистического описания и формального обоснования методов параллельной обработки данных с применением для этого высокопроизводительных вычислителей.	Устный опрос (УО-1); дискуссия (УО-4); лабораторная работа (ПР-6); конспект (ПР-7).	-

\* Формы оценочных средств:

1) собеседование (УО-1), дискуссия (УО-4).

2) контрольная работа (ПР-2), лабораторная работа (ПР-6), конспект (ПР-7)

## **VI. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своей специальности, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, Интернет-ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- выполнение лабораторных работ;
- решение задач;
- подготовка к зачету
- другие виды деятельности, организуемые и осуществляемые образовательным учреждением и органами студенческого самоуправления.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Параллельная обработка данных» включает в себя план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине.

#### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	2 неделя обучения	Составление и анализ параллельного алгоритма подсчета элементов с заданным свойством в векторе.	5 часов	Собеседование
2.	2 неделя обучения	Составление и реализация параллельных алгоритмов длинной арифметики.	4 часа	Собеседование
3.	2 неделя обучения	Быстрая сортировка с использованием параллельных вычислений.	5 часов	Собеседование
4.	3 неделя обучения	Инструментальные средства параллельных	5 часов	Собеседование

		вычислений в C17 и C++20.		
5.	4 неделя обучения	Инструменты автоматизированного анализа параллельного кода программ.	4 часа	Собеседование
6.	4 неделя обучения	Оптимизация доступа к разделяемой памяти блока CUDA на примере задачи умножения матриц.	6 часов	Собеседование
7.	4 неделя обучения	Методы ограничения переупорядочивания инструкций процессора и языковых конструкций при компиляции.	6 часов	Собеседование
8.	6 неделя обучения	Распределение вычислений и инструменты MPI.	5 часов	Собеседование
9.	8 неделя обучения	Реализация параллельного сложения векторов с помощью OpenCL.	5 часов	Собеседование
10.	8 неделя обучения	Реализация параллельного вычисления коэффициентов полиномов Лежандра и заполнения ими квадратной матрицы из их рекуррентного определения с помощью динамического параллелизма, реализуемого примитивами future/promise.	8 часов	Собеседование
11.	9 неделя обучения	Параллельный расчет вещественного значения аналитической функции в точке с	8 часов	Собеседование

		помощью полиномиальной аппроксимации.		
12.	9 неделя обучения	Векторизация вычислений с помощью AVX, AVX-2 и AVX-512.	3 часа	Собеседование
13.	9 неделя обучения	LUP-разложение квадратной матрицы с помощью AVX-2 и AVX-512.	8 часов	Собеседование
		ИТОГО	72 часа	

Самостоятельная работа по дисциплине включает в себя подготовку к лабораторным работам (изучение литературы), выполнению лабораторных работ, подготовку к промежуточной аттестации по дисциплине.

Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

## **VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

Параллельные вычислительные системы : учебное пособие / Н.Ю. Сиротина [и др.]. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2019. — 178 с. — ISBN 978-5-7638-4180-0. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/100081.html> (дата обращения: 31.01.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

2. Биллиг В.А. Параллельные вычисления и многопоточное программирование: учебник / Биллиг В.А. — Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 310 с. — ISBN 978-5-4497-0936-3. — Текст: электронный // Электронно-

библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/102044.html> (дата обращения: 31.01.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

3. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие / Гергель В.П. — Москва, Саратов: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 500 с. — ISBN 978-5-4497-0389-7. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/89478.html> (дата обращения: 31.01.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

4. Федотов И.Е. Параллельное программирование. Модели и приемы / Федотов И.Е.. — Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2018. — 390 с. — ISBN 978-5-91359-222-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/90420.html> (дата обращения: 31.01.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5. Арыков С.Б. Параллельное программирование над общей памятью. POSIX Threads: учебное пособие / Арыков С.Б., Городничев М.А., Щукин Г.А. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. — 87 с. — ISBN 978-5-7782-3642-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91650.html> (дата обращения: 31.01.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

6. Левин М.П. Параллельное программирование с использованием OpenMP: учебное пособие / Левин М.П. — 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]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/97572.html> (дата обращения: 31.01.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

### **Дополнительная литература**

1. Левин, М. П. Параллельное программирование с использованием OpenMP / М. П. Левин. — Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. — 133 с. — ISBN 978-5-94774-857-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/52216.html> (дата обращения: 07.07.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей».

2. Федотов, И. Е. Параллельное программирование. Модели и приемы / И. Е. Федотов. — Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2018. — 390 с. — ISBN 978-5-

91359-222-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/90420.html> (дата обращения: 27.12.2020). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

3. Антонов, А. С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI / А. С. Антонов. — 2-е изд. — Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. — 83 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/73704.html> (дата обращения: 23.12.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей».

4. Параллельное программирование: учебное пособие / С. С. Ефимов; Омск: Омский государственный университет, 2009. — 397 с.

5. Параллельное программирование с использованием OpenMP: учебное пособие / М. П. Левин. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 118 с.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Электронная библиотечная система ZNANIUM.COM  
<http://znanium.com/>

2. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента»  
<http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

3. Научная библиотека ДВФУ. Электронный каталог  
<http://lib.dvfu.ru:8080/>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение:

1. Среды разработки ПО Microsoft Visual Studio Community 2019 и Microsoft Visual Studio Community 2017.

2. Компиляторы gcc, g++ версии не ниже 6.2.0, а также отладчик gdb.

3. Пакет Nvidia CUDA Toolkit версии не ниже 9.0.

4. Microsoft Office (Access, Excel, PowerPoint, Word и т. д).

5. Open Office.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие информационно-справочные системы.

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.

2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань».
  3. Электронная библиотека "Консультант студента".
  4. Электронно-библиотечная система IPRbooks.
  5. Информационная система "ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам".
  6. Доступ к электронному заказу книг в библиотеке ДВФУ, доступ к нормативным документам ДВФУ, расписанию, рассылке писем.
- Лабораторные занятия проводятся в специализированном компьютерном классе.

## **VIII. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и лабораторных работах, выполнение аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к лабораторным работам.

Промежуточной аттестацией по дисциплине «Параллельная обработка данных» является зачет в 3 семестре.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех лабораторных работ, и сдачи зачета.

## **IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Перечень программного обеспечения:**

**Лицензионное программное обеспечение:**

AutoCAD;  
Autodesk 3DS Max;  
Microsoft Visio;  
SPSS Statistics Premium Campus Edition;  
MathCad Education University Edition;  
Microsoft Office 365;  
Office Professional Plus 2019;  
Photoshop CC for teams All Apps AL;  
SolidWorks Campus 500;

Windows Edu Per Device 10 Education;  
КОМПАС 3D;  
Microsoft Teams

### **Свободно распространяемое программное обеспечение:**

Adobe Reader DC 2015.020 - пакет программ для просмотра электронных публикаций в формате PDF:

[http://www.images.adobe.com/content/dam/acom/en/legal/licenses-terms/pdf/PlatformClients\\_PC\\_WWEULA-en\\_US-20150407\\_1357.pdf](http://www.images.adobe.com/content/dam/acom/en/legal/licenses-terms/pdf/PlatformClients_PC_WWEULA-en_US-20150407_1357.pdf);

ArgoUML - программный инструмент моделирования UML:

<http://argouml.tigris.org>;

Dia - пакет программ для создания диаграмм в виде блок-схем алгоритмов программ, древовидных схем, статических структур UML, баз данных, диаграмм сущность-связь и др. диаграмм:

[https://portableapps.com/support/portable\\_app#using](https://portableapps.com/support/portable_app#using);

DiagramDesigner - пакет программ для создания потоковых диаграмм, диаграмм классов UML, иллюстраций и др. диаграмм:

<https://www.foosshub.com/Diagram-Designer.html#clickToStartDownload>;

IrfanView - пакет программ для просмотра (воспроизведения) графических, видео- и аудиофайлов: <http://www.irfanview.com/eula.htm>;

LibreOffice - офисный пакет:

<http://www.libreoffice.org/about-us/licenses/>;

Maxima – система для работы с символьными и численными выражениями:

<http://maxima.sourceforge.net/maximalist.html>;

Project Libre - аналог программной системы управления проектами Microsoft Project для стационарного компьютера:

<https://континентсвободы.рф:/офис/проекты/projectlibre-система-управления-проектами.html>;

Python - система программирования - динамический интерактивный объектно-ориентированный язык программирования:

<https://python.ru.uptodown.com/windows/download>;

Ramus Educational - пакет программ для разработки и моделирования бизнес-процессов в виде диаграмм IDEF0 и DFD: <https://www.obnovisoft.ru/ramus-educational>;

Scilab –система - язык программирования высокого уровня, рассчитанный на научные расчеты: <http://www.scilab.org/scilab/license>;

WhiteStarUML –программный инструмент моделирования UML, полученный из StarUML, совместимый с Windows 7-10:  
<https://github.com/StevenTCramer/WhiteStarUml/blob/master/staruml/deploy/License.txt>;

WinDjView – программа для просмотра электронных публикаций в формате DJV и DjVu: <https://windjview.sourceforge.io/ru/>.

Сведения о материально-техническом обеспечении ОПОП, включая информацию о наличии оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий и самостоятельной работы обучающихся с перечнем основного оборудования, объектов физической культуры и спорта, программного обеспечения представлены в виде таблицы в Справке об МТО.