

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра математического моделирования

УТВЕРЖДАЮ

Декан математического факультета



Нестеров П.Н.

20 июня 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Технологии многопоточных вычислений**

Направление подготовки (специальности)  
01.04.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль)  
«Математическое моделирование и численные методы»

Форма обучения очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры  
от 11 апреля 2023 г., протокол № 8

Программа одобрена НМК  
математического факультета  
протокол № 9 от 3 мая 2023 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Массивно-параллельные вычисления, архитектура и программная среда CUDA» являются основы параллельных вычислений на графических адаптерах NVIDIA. Данный курс вырабатывает у студентов навыки как параллельного программирования на GPGPU так и работы с распределенными системами.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Массивно-параллельные вычисления, архитектура и программная среда CUDA» предоставляет базовые навыки, необходимые специалистам работающих в сфере машинного обучения и больших данных.

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом векторного и тензорного анализа, линейной алгебры, дифференциального исчисления, уметь решать основные задачи численных методов, а так же иметь навыки программирования на языке C++.

Полученные в курсе «Массивно-параллельные вычисления, архитектура и программная среда CUDA» знания необходимы специалистам разрабатывающим высокопроизводительные приложения и распределённые системы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ОПК-4</b> Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	<b>ИД-ОПК-4.1</b> Обладает обширными знаниями в области информационных технологий, применяемых в профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– о предпосылках рождения параллельных вычислений и GPGPU.</li><li>– устройство и архитектуру GPU;</li><li>– механизмы взаимодействия CPU и GPU.</li><li>– Особенности CUDA</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– выбирать правильные средства оптимизации, исходя из контекста задачи;</li><li>– масштабировать решения для различных программно-аппаратных архитектур;</li><li>– работать с распределёнными системами</li></ul> <b>Владеть навыками:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– написания параллельных программ;</li><li>– разработки параллельных алгоритмов</li><li>– параллельных вычислений</li></ul>

#### 4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **2** зачёт. ед., **72** акад.час.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение		2					10	Задания для самостоятельной работы
2	Архитектура		2					11	Задания для самостоятельной работы
3	Основы CUDA		2		3	1		11	Задания для самостоятельной работы, Лабораторная работа №1
4	Работа с памятью		1		2			11	Задания для самостоятельной работы
5	Средства оптимизации		1		3	1		10,7	Задания для самостоятельной работы, Лабораторная работа №2
							0,3		Зачёт
	ИТОГО		8	0	8	2	0,3	53,7	

Содержание разделов дисциплины:

##### 1. Введение.

- 1.1. Введение. Обзор технологий.
- 1.2. Гибридная модель вычислений.
- 1.3. Типы вычислительных архитектур.

##### 2. Архитектура.

- 2.1. Архитектура GPU.
- 2.2. CUDA. Первый взгляд.
- 2.3. Типы вычислительных архитектур.

##### 3. Основы CUDA.

- 3.1. Программная модель CUDA.
- 3.2. Гибридная модель программного кода.
- 3.3. Thread, block, grid blocks.
- 3.4. Kernel - функция.

##### 4. Работа с памятью.

- 4.1. Типы памяти.
- 4.2. Единая система памяти (Unified Memory).

- 4.3. Pinned memory.
- 4.4. CUDA streams.

## **5. Средства оптимизации.**

- 5.1. Объединение запросов (Memory coalescing).
- 5.2. Разделяемая память (Shared memory).
- 5.3. Оптимизация работы с разделяемой памятью.
- 5.4. Банк-конфликты.

## **5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – даёт первое целостное представление о дисциплине (или её разделе) и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки специалиста. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках курса, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Обобщающая лекция** – проводится в завершение изучения раздела или темы для закрепления знаний. На лекции вновь выделяются основные вопросы, используются обобщающие таблицы, схемы, алгоритмы, позволяющие включить усвоенные знания в новые связи и зависимости, переводя их на более высокие уровни усвоения.

**Практическое занятие** – занятие, посвящённое освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний по предложенному алгоритму.

**Лабораторная работа** – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

## **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- программное обеспечение для создания и демонстрации презентаций, иллюстраций и других учебных материалов:

- Microsoft Windows (в составе Microsoft Imagine Premium Electronic Software Delivery).
- Microsoft Office Std 2013 OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc 021-10232 Microsoft Open License №0005279522.
- MikTeX (свободно распространяемое ПО).

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются

«Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»»  
[http://www.lib.uniya.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniya.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

**8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», рекомендуемых для освоения дисциплины**

**а) ресурсы сети «Интернет»**

<https://cuda.grandrust.com>

<https://www.udacity.com/course/intro-to-parallel-programming--cs344>

<http://getcourse.ispras.ru/course/view.php?id=3>

**9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор(ы) :

Старший преподаватель

кафедры математического моделирования

Дмитрий Олегович Логинов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Массивно-параллельные вычисления, архитектура и программная среда CUDA»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

1. Типовые контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущего контроля успеваемости

**Задания для самостоятельной работы**

**Задания по теме № 1 «Введение»:**

1. Раздел 1.1: Знакомство с аппаратными средствами. Написать программу, выводящую информацию о текущем GPU карте.

**Задания по теме № 2 «Архитектура»:**

1. Раздел 2.2: Написать простейшую программу, работающую на GPU.

**Задания по теме № 3 «Основы CUDA»:**

1. Раздел 3.4: Запрограммировать алгоритм параллельного вычисления заданной функции.

**Задания по теме № 4 «Работа с памятью»:**

1. Раздел 4.3: Запрограммировать алгоритм параллельного вычисления заданной функции используя pinned память
2. Раздел 4.4: Запрограммировать алгоритм параллельного вычисления заданной функции используя CUDA потоки

**Задания по теме № 5 «Средства оптимизации»:**

1. Раздел 5.3: Запрограммировать алгоритм параллельного вычисления заданной функции используя shared memory
2. Раздел 5.4: Запрограммировать алгоритм параллельного вычисления заданной функции разрешив банк-конфликты

**Лабораторная работа № 1**

Реализовать параллельный алгоритм вычисления основных операций векторного пространства используя технологию CUDA (сложение, умножение, умножение на скаляр).

**Лабораторная работа № 2**

Реализовать параллельный алгоритм, а так же произвести сравнительный анализ, средств оптимизации вычисления произведения матриц используя технологию CUDA.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Массивно-параллельные вычисления, архитектура и программная среда CUDA»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Массивно-параллельные вычисления, архитектура и программная среда CUDA» являются лекции и практические занятия. Как правило, на первой половине занятия проводится лекция, в которой излагается основной материал, а затем учащимся выдается практическое задание для освоения и закрепления лекционного материала путем применения его к конкретным задачам и отработка навыков работы с технологией CUDA.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить основы параллельных вычислений на графических адаптерах. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Предоставленный материал необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с технологией CUDA, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде контрольной работы и самостоятельных работ на всем протяжении изучения дисциплины. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

В конце изучения дисциплины студенты сдают зачет. Зачёт выставляется по итогам тестирования и краткого собеседования по его результатам.