

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**  
**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

*ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ*

Направление подготовки (специальность):

02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Образовательная программа

Искусственный интеллект и компьютерные науки

**очная форма обучения**

Составитель:

**АЛЕШИН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ,**  
**К.Ф.-М.Н., ДОЦЕНТ Ф-ТА ИВТ**  
**ЯРГУ ИМ. П.Г. ДЕМИДОВА**

г. Ярославль

## **Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **Основная литература:**

1. Параллельное и функциональное программирование: метод. указания. / сост. Д. С. Глызин, Д. С. Кащенко; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - Ярославль: ЯрГУ, 2009. - 27 с. .
2. Параллельные вычисления на GPU: архитектура и программная модель CUDA.: учеб. пособие для вузов. / [А. В. Боресков и др.]; УМО по классическому унив. образованию; МГУ - М.: МГУ, 2012. - 333 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Лупин С. А. Технологии параллельного программирования: учеб. пособие для вузов. / С. А. Лупин, М. А. Посыпкин; УМО вузов по унив. политехническому образованию - М.: ИНФРА-М, 2015. - 205 с.
2. Левин В. А. Численные методы. Параллельные вычисления на ЭВМ. / В. А. Левин, А. В. Вершинин - М.: Физматлит, 2015. - 542 с.: ил.

## **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Для самостоятельной работы особенно рекомендуется использовать учебную литературу. Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр интернет-ресурсов:

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)) - электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (\*регистрация в электронной библиотеке – только в сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://window.edu.ru/library>).

Целью создания информационной системы "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (ИС "Единое окно ") является обеспечение свободного доступа к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет ([http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php)) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.
2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.
3. Электронная картотека «Книгообеспеченность»

([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_bookreq\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php)) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень информационных справочных систем (при необходимости)**

- CUDA developer zone - <http://developer.nvidia.com/category/zone/cuda-zone>  
 MPI Documents, user's guide - <http://www.mpi-forum.org/docs/docs.html>  
 OpenMP Specifications - <http://openmp.org/>  
 The Message Passing Interface (MPI) standard - <http://www.mcs.anl.gov/mp/index.html>  
 Портал по параллельным вычислениям - <http://parallel.ru/>  
 Суперкомпьютеры - <http://supercomputers.ru/>

### **Перечень информационных технологий, используемых при изучении дисциплины, включая программное обеспечение**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для формирования текстов материалов для промежуточной и текущей аттестации – программы OfficeStd 2013 RUS OLP NL Acdmс 021-10232, LibreOffice (свободное), издательская система LaTeX;
- компиляторы с высокоуровневых языков программирования;
- вычислительный гибридный кластер ЯрГУ.
- программные библиотеки OpenMP, MPI и Nvidia CUDA.
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

### **Учебно-методические указания и рекомендации к изучению тем лекционных и практических занятий, самостоятельной работе студентов**

#### **Содержание дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Название темы с кратким содержанием
---------------------------------	-------------------------------------

Наименование раздела	Название темы с кратким содержанием
Раздел 1. История параллельных вычислительных систем. Параллелизм и его использование	Раздел 1. История параллельных вычислительных систем. Параллелизм и его использование. 1.1. История развития параллельных вычислительных систем. 1.2. Обзор современных вычислительных систем для параллельных вычислений. 1.3. Способы параллельной обработки данных. 1.4. Компьютеры с общей и распределенной памятью. 1.5. Графы информационных зависимостей. 1.6. Концепция неограниченного параллелизма. 1.7. Крупноблочное распараллеливание. 1.8. Низкоуровневое распараллеливание. 1.9. Оценка эффективности параллельных вычислений.
Раздел 2. Вычислительный кластер. API для управления потоками, их синхронизации и планирования Pthreads	Раздел 2. Вычислительный кластер. API для управления потоками, их синхронизации и планирования Pthreads. 2.1. Основы работы с гибридным вычислительным кластером. 2.2. Стандарт POSIX-реализации потоков (нитей) выполнения: типы данных, функции управления потоками, функции синхронизации потоков.
Раздел 3. Технология программирования OpenMP	Раздел 3. Технология программирования OpenMP. 3.1. Основные конструкции. 3.2. Работа с переменными. 3.3. Распараллеливание циклов. 3.4. Параллельные секции. 3.5. Критические секции. 3.6. Атомарные операции. 3.7. Операции синхронизации.
Раздел 4. Технология программирования MPI	Раздел 4. Технология программирования MPI. 4.1. Общие функции. 4.2. Функции приема/передачи сообщений между процессами. 4.3. Функции коллективного взаимодействия процессов, создания пользовательских операций, работа с группами процессов. 4.4. Пересылка разнотипных данных, производные типы данных, упаковка данных.
Раздел 5. Введение в технологию CUDA	Раздел 5. Введение в технологию CUDA. 5.1. Архитектура GPU. 5.2. Программная модель CUDA. 5.3. Иерархия памяти в CUDA. 5.4. Библиотека Thrust.

#### Задания для самостоятельной работы

*Задания по Разделу 2. Вычислительный кластер. API для управления потоками, их синхронизации и планирования Pthreads.*

Написать программу численного интегрирования функции на отрезке с использованием технологий Pthreads. Функция, отрезок интегрирования и количество потоков вычислений задаются индивидуально.

Построить график зависимости скорости подсчета интеграла от количества потоков.

Данную задачу решать в паре со студентом-однотруппником. Самостоятельно разделить работу и подготовить устный отчет о проделанной работе.

Критерии оценивая:

Оценка	Критерий
зачтено	Написана программа на языке C++ численного интегрирования функции на отрезке с использованием технологий Pthreads, программа компилируется без ошибок и предупреждений на вычислительном кластере, в результате работы программы выдаются корректные данные. Проведен комплекс вычислений с использованием написанной программы, построен график зависимости скорости подсчета интеграла от количества

	<p>потоков, сделаны корректные выводы о зависимости кол-ва потоков на скорость выполнения вычислений.</p> <p>Задача решалась в паре со студентом одногруппником. Работа поделена внутри пары пропорционально, подготовлен устный отчет.</p>
незачтено	<p>Программа не написана или написана некорректная программа.</p> <p>Не проведен комплекс вычислений, не построен график зависимости скорости подсчета интеграла от количества потоков</p> <p>Не подготовлен отчет.</p>

*Задания по Разделу 3. Технология программирования OpenMP.*

Написать программу численного решения дифференциального уравнения в частных производных с использованием технологий OpenMP. Уравнение, начальные и граничные условия, а также количество потоков вычислений задаются индивидуально.

Построить график зависимости скорости численного решения от количества потоков.

Данную задачу решать в паре со студентом-одногруппником. Самостоятельно разделить работу и подготовить устный отчет о проделанной работе.

Критерии оценивая:

Оценка	Критерий
зачтено	<p>Написана программа на языке C++ численного решения дифференциального уравнения в частных производных с использованием технологий OpenMP, программа компилируется без ошибок и предупреждений на вычислительном кластере, в результате работы программы выдаются корректные данные.</p> <p>Проведен комплекс вычислений с использованием написанной программы, построен график зависимости скорости численного решения от количества потоков, сделаны корректные выводы о зависимости кол-ва потоков на скорость выполнения вычислений.</p> <p>Задача решалась в паре со студентом одногруппником. Работа поделена внутри пары пропорционально, подготовлен устный отчет.</p>
незачтено	<p>Программа не написана или написана некорректная программа.</p> <p>Не проведен комплекс вычислений, не построен график зависимости скорости численного решения от количества потоков</p> <p>Не подготовлен отчет.</p>

*Задания по Разделу 4. Технология программирования MPI.*

Написать программу численного решения дифференциального уравнения в частных производных с использованием технологий MPI. Уравнение, начальные и граничные условия, а также количество потоков вычислений задаются индивидуально.

Построить график зависимости скорости численного решения от количества потоков.

Данную задачу решать в паре со студентом-одногруппником. Самостоятельно разделить работу и подготовить устный отчет о проделанной работе.

Критерии оценивая:

Оценка	Критерий
зачтено	<p>Написана программа на языке C++ численного решения</p>

	<p>дифференциального уравнения в частных производных с использованием технологий MPI, программа компилируется без ошибок и предупреждений на вычислительном кластере, в результате работы программы выдаются корректные данные.</p> <p>Проведен комплекс вычислений с использованием написанной программы, построен график зависимости скорости численного решения от количества потоков, сделаны корректные выводы о зависимости кол-ва потоков на скорость выполнения вычислений.</p> <p>Задача решалась в паре со студентом одногруппником. Работа поделена внутри пары пропорционально, подготовлен устный отчет.</p>
незачтено	<p>Программа не написана или написана некорректная программа.</p> <p>Не проведен комплекс вычислений, не построен график зависимости скорости численного решения от количества потоков</p> <p>Не подготовлен отчет.</p>

*Задания по Разделу 5. Введение в технологию CUDA.*

Написать программу численного решения дифференциального уравнения в частных производных с использованием технологий CUDA. Уравнение, начальные и граничные условия, а также количество потоков вычислений задаются индивидуально.

Построить график зависимости скорости численного решения от количества потоков.

Данную задачу решать в паре со студентом-одногруппником. Самостоятельно разделить работу и подготовить устный отчет о проделанной работе.

Критерии оценивая:

Оценка	Критерий
зачтено	<p>Написана программа на языке C++ численного решения дифференциального уравнения в частных производных с использованием технологий CUDA, программа компилируется без ошибок и предупреждений на вычислительном кластере, в результате работы программы выдаются корректные данные.</p> <p>Проведен комплекс вычислений с использованием написанной программы, построен график зависимости скорости численного решения от количества потоков, сделаны корректные выводы о зависимости кол-ва потоков на скорость выполнения вычислений.</p> <p>Задача решалась в паре со студентом одногруппником. Работа поделена внутри пары пропорционально, подготовлен устный отчет.</p>
незачтено	<p>Программа не написана или написана некорректная программа.</p> <p>Не проведен комплекс вычислений, не построен график зависимости скорости численного решения от количества потоков</p> <p>Не подготовлен отчет.</p>

Зачет выставляется по результатам выполнения заданий для самостоятельной работы и краткого собеседования со студентом после их проверки.

### Тест для самопроверки по результатам освоения дисциплины

**1. Для гибридного вычислительного кластера отличительной чертой является:**

- А) вычисления на CPU
- Б) вычисления на GPU
- В) вычисления на CPU и GPU совместно
- Г) ни одно из вышеперечисленных

**2. Какой командой задается ограничение ресурсов при запуске программы на вычислительном кластере (Slurm):**

- А) make
- Б) g++
- В) srun
- Г) ни одно из вышеперечисленных

**3. Обмен данными между процессами, выполняющимися в собственном адресном пространстве, происходит с помощью операций приема и отправки сообщений?**

- А) да
- Б) нет

**4. Удаленный доступ к вычислительному кластеру для выполнения команд операционной системы можно получить по протоколу:**

- А) ssh
- Б) pop3
- В) imap
- Г) rdp

Вопрос №	Правильный ответ
1	В
2	В
3	Б
4	А, Г

### Тест для самопроверки по результатам освоения дисциплины

**1. Для параллельной программы, написанной с использованием технологии OpenMP характерно:**

- А) состоит из последовательных и параллельных секций.
- Б) в начальный момент времени создается главная нить, выполняющая последовательные секции программы.
- В) при входе в параллельную секцию выполняется операция fork, порождающая семейство нитей. Каждая нить имеет свой уникальный числовой идентификатор (главной нити соответствует 0). При распараллеливании циклов все параллельные нити исполняют один код. В общем случае нити могут исполнять различные фрагменты кода.
- Г) при выходе из параллельной секции выполняется операция join. Завершается выполнение всех нитей, кроме главной.

**2. Какие директивы есть в OpenMP?**

- А) #pragma omp
- Б) #pragma omp parallel

- В) #pragma omp for
- Г) #pragma omp while

**3. В OpenMP нет следующих типов синхронизации**

- А) barrier
- Б) atomic
- В) domain
- Г) master
- Д) ordered
- Е) flush
- Ж) sort
- З) critical

**4. С помощью вызова функции**

**(void) omp\_set\_num\_threads(int num\_threads)**

**можно**

- А) задать количество потоков в области параллельных вычислений
- Б) определить значение переменной окружения OMP\_NUM\_THREADS

**5. Какие из понятий не относятся к технологии Nvidia Cuda**

- А) #pragma omp
- Б) host
- В) kernel
- Г) device

**6. Какие из спецификаторов функций в Cuda не могут быть использованы вместе**

- А) \_\_host\_\_ и \_\_device\_\_
- Б) \_\_global\_\_ и \_\_host\_\_

**7. Для выделения памяти на GPU можно использовать функции**

- А) cudaMalloc
- Б) cudaMallocPitch
- В) cudaNew
- Г) cudaFree

**8. Функция cudaMemcpy используется для**

- А) копирования памяти между CPU и GPU
- Б) копирования памяти между вычислительными узлами кластера
- В) копирования памяти между различными CPU

**9. Одним из распространённых средств разработки программ, основанных на модели обмена сообщениями, является:**

- А) POSIX Threads
- Б) OpenMP
- В) любая реализация MPI

**10. Неблокирующий обмен позволяет:**

- А) повысить производительность параллельной программы
- Б) повысить надежность передачи сообщений
- В) повысить предсказуемость поведения программы

**11. Подпрограмма MPI\_Bcast:**

- А) пересылает всем остальным процессам разные фрагменты данных
- Б) пересылает одну и ту же порцию данных всем остальным процессам
- В) выполняет операцию частичного приведения

**12. Второй этап выполнения неблокирующего обмена это:**

- А) создание буфера обмена
- Б) проверка выполнения обмена
- В) проверка доступности буфера обмена

Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ
----------	---------------------	----------	---------------------	----------	---------------------

1	А, Б, В, Г	5	А	9	В
2	А, Б, В	6	Б	10	А
3	В, Ж	7	А, Б	11	Б
4	А, Б	8	А	12	Б