

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)

Институт системного анализа и управления
Кафедра распределенных информационных вычислительных систем



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической работе

/ Деникин А.С./

« 15 » 06 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Технология высокопроизводительных вычислений

Направление подготовки (специальность)

01.03.02 Прикладная математика и информатика

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направленность (профиль) программы (специализация)

Математическое моделирование

Форма обучения

очная

Для набора 2019 года

Дубна, 2021

Преподаватель:
к.ф.-м.н., доцент Стрельцова О.И.
кафедра распределённых информационно-вычислительных систем



подпись

Рабочая программа разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки высшего образования **01.03.02 Прикладная математика и информатика**

Программа рассмотрена на заседании кафедры **распределённых информационных вычислительных систем**

Протокол заседания № 12 от «11» июня 2021 г.

Заведующий кафедрой д.т.н. профессор Кореньков В.В.



подпись

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой распределённых информационно-вычислительных систем Кореньков В.В.



подпись

Эксперт (рецензент):

Помощник директора лаборатории информационных технологий имени М.Г. Мещерякова Объединенного института ядерных исследований по международному сотрудничеству и работе с кадрами, к.ф.-м.н., с.н.с., Айрян Э.А.



подпись

Содержание

1	Цели и задачи освоения дисциплины	4
2	Место дисциплины в структуре ОПОП ВО	4
3	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)	4
4	Объем дисциплины (модуля)	6
5	Содержание дисциплины (модуля)	6
6	Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)	8
7	Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)	8
8	Ресурсное обеспечение	9
	Приложение. Фонд оценочных средств	12

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью изучения дисциплины является углубить и систематизировать знания студентов в области современных технологий параллельного программирования OpenMP, MPI, CUDA, позволяющие разрабатывать приложения эффективно работающие на современных вычислительных платформах, в том числе, с гибридной архитектурой. Особое внимание уделено использованию специализированных математических библиотек, адаптированных для вычислений на различных архитектурах и разработке параллельных приложений для решения прикладных задач.

Основные задачи изучения дисциплины заключаются в приобретении знаний, умений и владений, благодаря которым студенты, используя современные технологии высокопроизводительных вычислений, могут эффективно применять вычислительные платформы с гибридной архитектурой для решения практических задач.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Технология высокопроизводительных вычислений» относится к обязательной части образовательной программы по направлению 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Дисциплина преподается в 8 семестре, на 4 курсе. Форма промежуточной аттестации –зачет.

Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), предшествующих дисциплине «Технология высокопроизводительных вычислений»:

Семестр	Дисциплина	Разделы
2	Архитектура вычислительных систем	Практическое введение в технологию MPI
		Практическое введение в технологию OpenMP
4	Численные методы	Численные методы решения задач линейной алгебры
		Методы решения нелинейных уравнений и систем нелинейных уравнений

3 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

После изучения данной дисциплины студенты приобретают знания, умения и владения (навыки), соответствующие результатам основной профессиональной образовательной программы.

Формируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и формулировка)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Формулирует базовые понятия, доказывает основные положения теории математических и естественно-научных дисциплин и решает типовые задачи с применением стандартных подходов	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки

Формируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и формулировка)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
	ОПК-1.2. Использует фундаментальный аппарат математических и естественнонаучных дисциплин для построения моделей и вычислительных схем при разработке решений прикладных задач в области профессиональных интересов	<p>Уметь использовать фундаментальный понятийный аппарат математических, естественно-научных дисциплин и методы моделирования для формализации предметных задач профессиональной деятельности</p> <p>Владеть навыками работы с учебной литературой по базовым дисциплинам математики, информатики и естественных наук</p>
ОПК-2 Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	ОПК-2.3. Использует системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	<p>Знать существующие системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач</p> <p>Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы</p> <p>Владеть навыками применения системы программирования на базе математических моделей для реализации алгоритмов решения прикладных задач</p>
ОПК-5 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	ОПК-5.1. Формализует и предлагает алгоритмическое решение поставленной задачи	<p>Знать методы формализации задач, базовые алгоритмы, пригодные для практического применения</p> <p>Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения</p>
	ОПК-5.2. Разрабатывает программы, пригодные для практического применения	<p>Знать основные языки программирования, операционные системы и оболочки, современные среды разработки программного обеспечения</p> <p>Уметь составлять алгоритмы, писать и отлаживать коды на языке программирования, тестировать работоспособность программы, интегрировать программные модули</p>

Формируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и формулировка)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
		Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы

4 Объем дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 академических часа.

5 Содержание дисциплины (модуля)

Очная форма обучения

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Всего (академ. часы)	в том числе:						Самостоятельная работа обучающегося
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)						
	Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	КРП	...	Всего		
8 семестр								
Высокопроизводительные платформы и тенденции их развития, технологии высокопроизводительных вычислений	15	2	2			4	11	
Технология параллельного программирования <i>OpenMP</i> .	19	2	6			8	11	
Технология параллельного программирования <i>Message Passing Interface (MPI)</i> : разработка параллельных программ для проведения расчетов на системах с распределенной памятью.	17	2	4			6	11	
Гибридные технологии: <i>MPI+OpenMP</i> .	17	2	4			6	11	
Высокопроизводительные вычисления с применением графических процессоров (GPU). Технология Nvidia CUDA.	19	2	4			6	13	
Технология Nvidia CUDA. Использование <i>pinnd</i> -памяти, <i>CUDA</i> -поток (<i>CUDA-streams</i>). Использование в расчетах нескольких GPU. <i>OpenMP+CUDA</i> приложения.	21	2	6			8	13	

Промежуточная аттестация: зачет							X	
Итого за семестр	108	12	26				38	70

Содержание дисциплины (модуля)

№	Содержание раздела
Раздел 1	<p>Высокопроизводительные платформы и тенденции их развития, технологии высокопроизводительных вычислений.</p> <p>Базовые понятия, используемые в технологиях высокопроизводительных вычислений и смежных технологиях.</p> <p>Краткая история развития высокопроизводительных вычислений.</p> <p>Вводное занятие по работе на гетерогенной вычислительной платформе ЛИТ ОИЯИ <i>HybriLIT</i> : структура платформы, порядок работы в режиме удаленного доступа, доступное программное обеспечение, использование <i>Modules</i>, планировщика задач <i>SLURM</i> (написание <i>script</i>-файлов) для запуска приложений в режиме очереди.</p>
Раздел 2	<p>Технология параллельного программирования <i>OpenMP</i>.</p> <p>Компиляторы Intel с поддержкой OpenMP. Инструментальные средства разработки и отладки многопоточных приложений.</p> <p><i>Архитектура Intel Xeon Phi</i> второго поколения, технологии параллельных вычислений, векторизация.</p> <p>Библиотека Intel® Math Kernel Library.</p> <p>Задачи на использования функций Intel MKL: векторные операции, умножение матриц</p> <p>Библиотека Intel MKL: ScaLAPACK – решение систем линейных алгебраических уравнений.</p> <p>Компиляторы Intel с поддержкой OpenMP. Инструментальные средства разработки и отладки многопоточных приложений.</p>
Раздел 3	<p>Технология параллельного программирования <i>Message Passing Interface (MPI)</i>: разработка параллельных программ для проведения расчетов на системах с распределенной памятью.</p> <p>MPI-реализации программ умножения плотно заполненных квадратных матриц (распределение на одномерную сетку процессов, распределение на двумерную решетку процессов).</p> <p>Организация коллективной рассылки данных, Организация глобальной операции с помощью <i>MPI_Reduce</i>.</p> <p>Программа приближенного вычисления определенного интеграла (вычисление числа π).</p> <p>Разработка MPI-приложения вычисления двойного интеграла с заданной точностью. Проведение анализа эффективности параллельной программы.</p>
Раздел 4	Гибридные технологии: MPI+OpenMP
Раздел 5	<p>Высокопроизводительные вычисления с применением графических процессоров (GPU). Технология Nvidia CUDA.</p> <p>Введение в вычисления общего назначения с использованием GPU (парадигма GPGPU). Основные архитектурные отличия GPU от CPU.</p> <p>Архитектура современных GPU (на примере Nvidia Tesla K80).</p> <p>Введение в технологию CUDA: модель памяти CUDA, типы памяти, понятия потока.</p>

	<p>CUDA-расширение языка C (спецификаторы функций, спецификаторы переменных, встроенные переменные, директивы запуска ядра).</p> <p>Параллельные математические библиотеки: <i>CUBLAS</i>, <i>CUFFT</i>, <i>CUSPARSE</i>.</p> <p><i>Технология Nvidia CUDA</i>. Шаблон работы с разделяемой памятью.</p> <p>Оптимизация работы с разделяемой памятью.</p> <p>CUDA-реализация программы нахождения суммы модулей комплексного вектора с использованием разделяемой памяти.</p> <p>CUDA-реализация программы умножение матриц с использованием функций библиотеки CUBLAS.</p>
Раздел 6	<p>Технология Nvidia CUDA.</p> <p>Использование pinned-памяти, CUDA-потоки (<i>CUDA-streams</i>).</p> <p>Использование в расчетах нескольких GPU. OpenMP+CUDA приложения.</p> <p>Вычислительные схемы и их параллельные реализации на гибридных вычислительных архитектурах задач математической физики.</p>

При реализации дисциплины организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий (лабораторных работ), предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка при изучении дисциплины реализуется непосредственно в университете.

6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

Для обеспечения реализации программы дисциплины (модуля) разработаны:

- методические материалы к лекционным и практическим (семинарским) занятиям;
- методические рекомендации для преподавателя;
- методические материалы по организации самостоятельной работы обучающихся;
- методическое обеспечение инновационных форм учебных занятий и проч.
- методические материалы по организации изучения дисциплины (модуля) с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;
- методические рекомендации для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по освоению программы дисциплины (модуля).

Методические материалы по дисциплине (модулю) и образовательной программе в целом представлены на официальном сайте образовательной организации (раздел «Сведения об образовательной организации» - Образование - Образовательные программы).

7 Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям образовательной программы по дисциплине (модулю) разработаны фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения (знания, умения, навыки) и сформированные (формируемые) компетенции. Эти фонды включают теоретические вопросы, типовые практические задания, контрольные работы, домашние работы и иные оценочные материалы, используемые при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Фонды оценочных средств представлены в приложении к рабочей программе.

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются оценочными материалами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

8 Ресурсное обеспечение

Перечень литературы

Основная литература

1. Степанов А.Н. Архитектура вычислительных систем и компьютерных сетей: Учебное пособие для вузов / Степанов Анатолий Николаевич. - СПб.: Питер, 2007. - 509с.
2. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: Учебное пособие -М.: БИНОМ. Лаборатория знаний: ИНТУИТ.РУ, 2010. -423с.
3. Старченко А.В. Практикум по методам параллельных вычислений: Учебник для вузов / Старченко Александр Васильевич, Данилкин Евгений Александрович, Лаева Валентина Ивановна, Проханов Сергей Анатольевич; Томский государственный университет; Под ред. А.В.Старченко; Суперкомпьютерный консорциум университетов России. - М.: Издательство Московского университета, 2010. - 200с. - (Суперкомпьютерное образование).
4. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: Учебное пособие для вузов / Антонов Александр Сергеевич; МГУ им.М.В.Ломоносова; Суперкомпьютерный консорциум университетов России; Авт.предисл. В.А.Садовничий. - М.: Издательство Московского университета, 2012. - 344с
5. Боресков А. В., Харламов, Н.Д. Марковский и др. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: Учебное пособие для вузов .МГУ им. М.В.Ломоносова; Суперкомпьютерный консорциум университетов России; Авт.предисл. В.А.Садовничий. - М.: Издательство Московского университета, 2012. - 336с.

Дополнительная литература

1. Воеводин В.В. Параллельные вычисления: Учебное пособие для вузов / Воеводин Валентин Васильевич, Воеводин Владимир Валентинович. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 600с.
2. Гергель В.П. Современные языки и технологии параллельного программирования: Учебник / Гергель Виктор Павлович; Библиотека Нижегородского государственного университета им.Н.И.Лобачевского; Суперкомпьютерный консорциум университетов России; Авт.предисл. В.А.Садовничий. - М.: Издательство Московского университета, 2012. - 408с.
3. Лацис А.О. Как построить и использовать суперкомпьютер / Лацис Алексей Оттович. - М.: Бестселлер, 2003. - 240с.

4. Лупин С.А. Технологии параллельного программирования: Учебное пособие для вузов / Лупин Сергей Андреевич, Посыпкин Михаил Анатольевич. - М.: ИНФРА-М: ФОРУМ, 2008. - 208с.
5. Башашин М. В. Основы технологии OpenMP на кластере HybriLIT: учебное пособие для студентов / Башашин Максим Викторович, Земляная Елена Валериевна, Стрельцова Оксана Ивановна; Министерство образования Московской области; Государственный университет "Дубна". Институт системного анализа и управления. Кафедра распределенных информационно-вычислительных систем; рецензент Д. С. Кулябов; редактор Ю. С. Цепилова. - Дубна: Государственный университет "Дубна", 2020. - 52 с. - Список рек. лит.: с. 43. - Прил.: с. 44. - ISBN 978-5-89847-598-7.
6. Башашин М. В. Практическое введение в технологию MPI на кластере HybriLIT: учебное пособие для студентов / Башашин М. В., Земляная Е. В., Стрельцова О. И.; Министерство образования Московской области; Государственный университет "Дубна". Институт системного анализа и управления. Кафедра распределенных информационно-вычислительных систем; рецензент Д. С. Кулябов; редактор Ю. С. Цепилова. - Дубна: Государственный университет "Дубна", 2019. - 52 с. - Список рек.лит.:с.45.-Прил.:с.46-50. - ISBN 978-5-89847-571-0.

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронно-библиотечные системы и базы данных

- 1 Электронно-библиотечная система «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 2 Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ». biblio-online.ru
- 3 Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru
- 4 Электронно-библиотечная система Znanium.com <https://new.znanium.com/>

Профессиональные ресурсы сети «Интернет»

- 1 Электронные ресурсы издательства «Elsevier» на платформе «ScienceDirect» www.sciencedirect.com
- 2 Базы данных компании EBSCO Publishing: <http://search.ebscohost.com/>
- 3 БД российских научных журналов на Elibrary.ru (РУНЭБ): <http://elibrary.ru/defaultx.asp>.
- 4 <http://www.scopus.com/home.url>
- 5 Web of Science webofknowledge.com
- 6 Национальная электронная библиотека (НЭБ) <http://нэб.рф/>

Необходимое программное обеспечение

Используется лицензионное программное обеспечение:

-

Необходимое материально-техническое обеспечение

Специализированный компьютерный класс (например: ауд. 1-307, 1-321, 1-322, 1-318, 1-211, 1-219, 1-215), подключенный к сети Интернет и к локальной сети университета, обеспечивающей доступ к программному обеспечению и ЛМС системы MOODLE для проведения семинарских занятий.

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья могут использовать специализированное программное и материально-техническое обеспечение:

– обучающиеся с нарушениями опорно-двигательного аппарата при необходимости могут использовать адаптивные технические средства: функцию «сенсорная клавиатура», «управление указателем мыши с клавиатуры», специально оборудованные джойстики, увеличенные выносные кнопки, клавиатуры с большими клавишами или накладки «Клавита»;

– обучающиеся с ограничениями по зрению могут прослушать доступный аудиоматериал или прочитать тексты, увеличив шрифт на экране монитора компьютера. Рекомендуется использовать экранную лупу и другие визуальные вспомогательные средства, чтобы изменить шрифт текста, межстрочный интервал, синхронизацию с речью и т.д., программы экранного доступа (скринридеры для прочтения текстовой информации через синтезированную речь) и/или включить функцию «экранного диктора» на персональном компьютере с операционной системой Windows 7, 8, 10, Vista, XP. Студенты с полным отсутствием зрения могут использовать тексты, напечатанные шрифтом Брайля, а для набора текста на компьютере – клавиатуры Брайля;

– обучающиеся с ограничениями по слуху могут воспользоваться индивидуальными техническими средствами (аппараты «Глобус», «Монолог», индивидуальными слуховыми аппаратами, компьютерной аудиогарнитурой, наушниками и др.) при прослушивании необходимой информации, а также услугами сурдопереводчика.

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами (образовательная программа, учебники, учебные пособия и др.) в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Технология высокопроизводительных вычислений

Направление подготовки (специальность)
01.03.02 Прикладная математика и информатика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направленность (профиль) программы (специализация)
Математическое моделирование

Форма обучения
очная

Для 2019 года набора

Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Полный перечень компетенций выпускников образовательной программы 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в картах компетенций образовательной программы.

Перечень компетенций выпускников образовательной программы 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», в формировании которых участвует данная дисциплина представлен в разделе 3 рабочей программы дисциплины.

Указание результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы формирования компетенций, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования представлено ниже.

Описание шкал оценивания

Критерии оценивания ответов студентов на зачете:

Оценка «зачтено»	Выставляется студентам, показавшим знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и в предстоящей работе по профессии, справляющихся с выполнением заданий, предусмотренных программой, но допустившим погрешности в ответе на зачете и при выполнении контрольных заданий, не носящие принципиального характера, когда установлено, что студент обладает необходимыми знаниями для последующего устранения указанных погрешностей под руководством преподавателя.
Оценка «не зачтено»	Выставляется студентам, обнаружившим пробелы в знаниях основного учебного материала, допускающим принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Такой оценки заслуживают ответы студентов, носящие несистематизированный, отрывочный, поверхностный характер, когда студент не понимает существа излагаемых им вопросов, что свидетельствует о том, что студент не может дальше продолжать обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Описание шкал оценивания для различных заданий, выполняемых в рамках текущего контроля, представлено в методических материалах, определяющих процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
	1	2	3	4	5	
Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки	Отсутствие знаний	Слабое, фрагментарное знание. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное знание. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание. Не допускает ошибок.	<i>Устное собеседование</i>
Уметь использовать фундаментальный понятийный аппарат математических, естественно-научных дисциплин и методы моделирования для формализации предметных задач профессиональной деятельности	Отсутствие умений	Слабое, фрагментарное умение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное умение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное умение. Не допускает ошибок.	<i>Выполнение простого практического контрольного задания</i>

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
Владеть навыками работы с учебной литературой по базовым дисциплинам математики, информатики и естественных наук	Отсутствие владений	Слабое, фрагментарное владение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное владение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное владение. Не допускает ошибок.	Выполнение простого практического контрольного задания

ОПК-2 Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
	1	2	3	4	5	
Знать существующие системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	Отсутствие знаний	Слабое, фрагментарное знание. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное знание. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание. Не допускает ошибок.	<i>Устное собеседование</i>
Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы	Отсутствие умений	Слабое, фрагментарное умение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное умение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное умение. Не допускает ошибок.	<i>Выполнение простого практического контрольного задания</i>
Владеть навыками применения системы программирования на базе математических моделей для реализации алгоритмов решения прикладных задач	Отсутствие владений	Слабое, фрагментарное владение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное владение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное владение. Не допускает ошибок.	Выполнение простого практического контрольного задания

ОПК-5 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
	1	2	3	4	5	
Знать методы формализации задач, базовые алгоритмы, пригодные для практического применения	Отсутствие знаний	Слабое, фрагментарное знание. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное знание. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание. Не допускает ошибок.	<i>Устное собеседование</i>
Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения	Отсутствие умений	Слабое, фрагментарное умение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное умение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное умение. Не допускает ошибок.	<i>Выполнение простого практического контрольного задания</i>
Знать основные языки программирования, операционные системы и оболочки, современные среды разработки программного обеспечения	Отсутствие знаний	Слабое, фрагментарное знание. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное знание. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание. Не допускает ошибок.	<i>Устное собеседование</i>

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
Уметь составлять алгоритмы, писать и отлаживать коды на языке программирования, тестировать работоспособность программы, интегрировать программные модули	Отсутствие умений	Слабое, фрагментарное умение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное умение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное умение. Не допускает ошибок.	<i>Выполнение простого практического контрольного задания</i>
Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы	Отсутствие владений	Слабое, фрагментарное владение. Допускает множественные грубые ошибки.	В целом успешное, но не структурированное владение. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное владение. Не допускает ошибок.	Выполнение простого практического контрольного задания

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции

Перечень вопросов к зачету

№	Тема домашнего задания	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
1	Базовые концепции параллельной обработки информации: концепция процесса, нити, понятие последовательного и параллельного исполнения, уровни параллелизма.	ОПК-1.2.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки
2	Технология параллельного программирования OpenMP: общая концепция. Основные конструкции для организации параллельных и последовательных секций, для распределения работы между нитями, для синхронизации нитей и работы с общими и локальными данными.	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
3	Параллельные алгоритмы, ускорение и эффективность.	ОПК-5.2.	Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы
4	Технология MPI: общая структура, общие процедуры, группы, коммутаторы, типы данных. Синхронное и асинхронное взаимодействие процессов.	ОПК-5.2.	Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы
5	Какой минимальный набор из шести функций MPI позволяет создать параллельную программу с обменом данными между процессами.	ОПК-5.1.	Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения
6	Алгоритмы распараллеливания задачи вычисления двойного интеграла (несколько примеров)	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы

№	Тема домашнего задания	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
7	Организация коллективной рассылки данных, Организация глобальной операции с помощью MPI_Reduce.	ОПК-2.3.	Знать существующие системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач
8	Технология MPI: коллективные операции, объединение запросов на взаимодействие, совмещение приема\передачи.	ОПК-2.3.	Владеть навыками применения системы программирования на базе математических моделей для реализации алгоритмов решения прикладных задач
Д9	Общая характеристика возможностей библиотеки Intel Math Kernel Library (Intel MKL), инструменты Intel для отладки, профилирования и анализа параллельных программ для проведения расчетов на системах с общей и распределенной памятью.	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
10	Описать модель иерархии памяти современных графических процессоров NVIDIA и дать оценку скорости доступа (в тактах) к каждому виду памяти.	ОПК-1.2.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки
11	Гибридный подход программирования на GPU/CPU.	ОПК-1.2.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки
12	Технология параллельного программирования CUDA: указать какие спецификаторы были введены в язык C/C++ для обозначения функций выполняемых и вызываемых с host, выполняемых и вызываемых с device, выполняемых на device и вызываемых с host .	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы

№	Тема домашнего задания	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
13	Технология параллельного программирования CUDA: понятие функции ядра, сетки блоков, нитей.	ОПК-2.3.	Знать существующие системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач
14	Технология параллельного программирования CUDA: привести шаблон работы с глобальной памятью (<i>global memory</i>), шаблон работы с разделяемой памятью (<i>shared memory</i>): запись, чтение, синхронизация, скорость доступа.	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
15	Технология параллельного программирования CUDA: шаблон работы с <i>Unified Memory</i> , указать преимущества.	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
16	Параллельные математические библиотеки: <i>CUBLAS</i> , <i>CUFFT</i> , <i>CUSPARSE</i> , <i>CURAND</i> .	ОПК-5.1.	Знать методы формализации задач, базовые алгоритмы, пригодные для практического применения

Материалы для текущего контроля

Формы текущего контроля: контроль посещаемости, домашние работы и отчеты по практическим заданиям.

Тематика практических работ.

№	Тема работы	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
ПР1	Вводное занятие по работе на гетерогенной вычислительной платформе ЛИТ ОИЯИ <i>HybriLIT</i> , написание <i>script</i> -файлов для запуска параллельных приложений посредством планировщика задач <i>SLURM</i> .	ОПК-5.2.	Знать основные языки программирования, операционные системы и оболочки, современные среды разработки программного обеспечения

№	Тема работы	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
ПР2	<p>Технология параллельного программирования OpenMP: создание параллельной секции с заданным числом нитей, определение номера нити, параллельная реализация умножения матрицы на вектор, умножение двух матриц. Разработка приложения вычисления двойного интеграла с заданной точностью. Проведение анализа эффективности параллельной реализации.</p>	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
ПР3	<p>Освоение работы с библиотекой Intel MKL: векторные операции, умножение матриц, решение систем линейных алгебраических уравнений.</p>	ОПК-5.2.	Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы
ПР4	<p>Разработка и реализация программы, с использованием функций библиотеки Intel MKL, решения краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.</p>	ОПК-5.2.	Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы
ПР5	<p>Message Passing Interface (MPI): основные понятия и определения. Базовый (минимальный) набор функций MPI, достаточный для разработки параллельных программ. Определение числа процессов в группе и номера процесса,</p>	ОПК-5.1.	Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения

№	Тема работы	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
	<p>организация MPI-обмена между отдельными процессами: операции точка-точка, передача и прием сообщений с блокировкой и без блокировки. Пример: программа вычисления числа π.</p>		
ПР6	<p>Организация коллективной рассылки данных, Организация глобальной операции с помощью MPI_Reduce</p>	ОПК-2.3.	<p>Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы</p>
ПР7	<p>Реализации вариантов параллельных алгоритмов для поэлементного умножения двух векторов, матрицы на вектор, умножение матриц.</p>	ОПК-2.3.	<p>Знать существующие системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач</p>
ПР8	<p>Использование Инструменты Intel® Parallel Studio для профилирования и анализа параллельных приложений.</p>	ОПК-2.3.	<p>Владеть навыками применения системы программирования на базе математических моделей для реализации алгоритмов решения прикладных задач</p>
ПР9	<p>Использование библиотеки Intel MKL (ScaLAPACK) для решение систем линейных алгебраических уравнений.</p>	ОПК-2.3.	<p>Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы</p>
ПР10	<p>CUDA: Шаблон работы с глобальной памятью. Создание параллельной программы сложения векторов, умножения вектора на число.</p>	ОПК-1.2.	<p>Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки</p>

№	Тема работы	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
ПР11	CUDA-реализация программы умножение матриц с использованием разделяемой памяти.	ОПК-1.2.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки
ПР12	Разработка и CUDA-реализация программы умножения векторов, вектора на матрицу и умножения матриц с использованием библиотеки CUBLAS.	ОПК-1.2.	Уметь использовать фундаментальный понятийный аппарат математических, естественно-научных дисциплин и методы моделирования для формализации предметных задач профессиональной деятельности
ПР13	Разработка и CUDA-реализация программы решения начально-краевой задачи для уравнения теплопроводности.	ОПК-1.2.	Владеть навыками работы с учебной литературой по базовым дисциплинам математики, информатики и естественных наук
ПР14	Разработка гибридных приложений (OpenMP+CUDA) для использования в расчетах нескольких GPU.	ОПК-5.1.	Знать методы формализации задач, базовые алгоритмы, пригодные для практического применения
ПР15	Разработка гибридных приложений (MPI+CUDA) для использования в расчетах нескольких GPU.	ОПК-5.1.	Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения
ПР16	Подготовка к зачету	ОПК-1.1.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки

Примерные темы домашних заданий

№	Тема домашнего задания	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
Д1	<p>Работа на гетерогенной вычислительной платформе <i>HybriLIT</i> : структура учебно-тестового полигона, порядок работы в режиме удаленного доступа, доступное программное обеспечение, использование <i>Modules</i>, планировщика задач <i>SLURM</i> (написание <i>script</i>-файлов) для запуска приложений в режиме очереди. Работа в рамках экосистемы <i>ML/DL/HPC</i>: освоение всего <i>workflow</i> разработки параллельного приложения – от написания программы, проведения расчетов, оформления отчетов с научной визуализацией (средствами <i>Python</i> в среде <i>Jupyter</i>).</p>	ОПК-5.2.	Знать основные языки программирования, операционные системы и оболочки, современные среды разработки программного обеспечения
Д2	<p>Технология параллельного программирования OpenMP: параллельные циклы (примеры применения различных опций), Функции для контроля/запроса параметров среды исполнения. Функции синхронизации. Переменные среды исполнения. Разработка приложения вычисления двойного интеграла с заданной точностью: последовательная и параллельная реализация.</p>	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы

Д3	Проведение анализа эффективности параллельной реализации программы вычисления двойного интеграла с заданной точностью. Отчет формируется в виде <i>Jupyter notebook</i> .	ОПК-5.2.	Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы
Д4	Технология параллельного программирования OpenMP : задачи на использования функций Intel MKL: решение систем линейных алгебраических уравнений.	ОПК-5.2.	Владеть языком программирования, методами отладки и тестирования работоспособности программы
Д5	Разработка и реализация программы, с использованием функций библиотеки <i>Intel MKL</i> , решения краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.	ОПК-5.1.	Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения
Д6	<i>Технология Message Passing Interface (MPI)</i> : MPI-реализации программ умножения плотно заполненных квадратных матриц (распределение на одномерную сетку процессов, распределение на двумерную решетку процессов).	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
Д7	Организация коллективной рассылки данных, Организация глобальной операции с помощью MPI_Reduce. Программа приближенного вычисления определенного интеграла (вычисление числа π).	ОПК-2.3.	Знать существующие системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач

Д8	Разработка MPI-приложения вычисления двойного интеграла с заданной точностью. Проведение анализа эффективности параллельной программы	ОПК-2.3.	Владеть навыками применения системы программирования на базе математических моделей для реализации алгоритмов решения прикладных задач
Д9	CUDA-реализация программы умножение матриц с использованием глобальной памяти.	ОПК-2.3.	Уметь разрабатывать и реализовывать алгоритмы решения прикладных задач, используя существующие системы программирования и программные комплексы
Д10	CUDA-реализация программы нахождения суммы модулей комплексного вектора с использованием разделяемой памяти.	ОПК-1.2.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки
Д11	CUDA-реализация программы умножение матриц с использованием функций библиотеки CUBLAS.	ОПК-1.2.	Знать основную терминологическую базу математических и естественно-научных дисциплин, формирующую способность решать профессиональные задачи в соответствии с профилем подготовки
Д12	Разработка и реализация программы, с использованием функций библиотеки <i>CUSPARSE</i> , решения краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.	ОПК-1.2.	Уметь использовать фундаментальный понятийный аппарат математических, естественно-научных дисциплин и методы моделирования для формализации предметных задач профессиональной деятельности
Д13	Разработка и реализация программы, с использованием функций библиотеки <i>CUFFT</i> для решения уравнения Пуассона на плоскости.	ОПК-1.2.	Владеть навыками работы с учебной литературой по базовым дисциплинам математики, информатики и естественных наук
Д14	Разработка гибридных приложений, использующих центральные процессоры и ускорители вычислений. Использование в расчетах нескольких GPU. OpenMP+CUDA приложения.	ОПК-5.1.	Знать методы формализации задач, базовые алгоритмы, пригодные для практического применения

Д15	Разработка гибридных приложений, использующих центральные процессоры и ускорители вычислений. Использование в расчетах нескольких GPU. MPI+CUDA приложения.	ОПК-5.1.	Уметь формализовать задачи, составлять алгоритмы, пригодные для практического применения
-----	---	----------	--

Примеры практических работ

Практическая работа № 1

Исследование эффективности параллельных реализаций приближенного вычисления двойного интеграла

Цель работы: разработка параллельных реализаций приближенного вычисления кратных интегралов и проведение анализа их эффективности.

Методы решения:

1. Приближенное вычисление двойного интеграла методом повторного применения квадратурной формулы (формула средних прямоугольников, формула трапеций, формула Симпсона и др.)
2. Приближенное вычисление двойного интегралов методом Монте-Карло.

Технологии параллельного программирования: MPI и OpenMP.

Отчет должен содержать:

1. Постановку задачи.
2. Описание алгоритма (вычислительной схемы).
3. Описание параллельной реализации алгоритма.
4. Результаты тестирования последовательной версии на задачах имеющих аналитическое решение.
5. Результаты тестирования параллельных реализаций.
6. Исследование эффективности параллельной реализации: в зависимости от размерности задачи и от количества потоков/нитей.
7. Построенные графики зависимостей:
 - времени расчетов от количества потоков/нитей;
 - зависимость ускорения расчетов от количества потоков/нитей;
 - зависимость эффективности от количества потоков/нитей.
8. Анализ полученных результатов и выводы.
9. Список использованной литературы.

Дополнительная задача: параллельные реализации приближенного вычисления двойного интеграла с заданной точностью.

Варианты заданий:

Написать MPI и OpenMP-программы вычисления двойного интеграла

$$\iint_D f(x, y) dx dy.$$

1. $f(x, y) = \frac{x}{y^2}$, $D = \{0 < x < 1, 2 < y < 5\}$.
2. $f(x, y) = \exp(x - y)$, $D = \{-1 < x < 0, 0 < y < 1\}$.
3. $f(x, y) = x \cdot y$, $D = \{|x + 2y| \leq 3, |x - y| \leq 3\}$.
4. $f(x, y) = |x \cdot y \cdot (x + y)|$, $D = \{|x| + |y| \leq 1\}$.
5. $f(x, y) = (x^2 - y^2)^2$, $D = \{|x| < y < 1\}$.
6. $f(x, y) = \exp(x + y)^2$, $D = \{0 < x < 1, 0 < y < 1 - x\}$.
7. $f(x, y) = (x^2 - y^2) \cdot \sin(\pi(x - y)^2)$, $D = \{|y| < x < 1 - |y|\}$.
8. $f(x, y) = (x^4 - y^4)$, $D = \{1 < x \cdot y < 2, 1 < x^2 - y^2 < 2, x > 0\}$.

9. $f(x, y) = y^2(x^2 + 1)$, $D = \{1 < x \cdot y < 2, 0 < x < y < 3x\}$.
10. $f(x, y) = |xy|$, $D = \{x^4 + y^4 < 1\}$.
11. $f(x, y) = \frac{(x+y)^2}{x}$, $D = \{1 < x + y < 3, x < 2y < 4x\}$.
12. $f(x, y) = (x^3 + y^3)$, $D = \{x^2 < y < 3x^2, 1 < 2xy < 3\}$.
13. $f(x, y) = \cos(x^2 + y^2)$, $D = \{x^2 + y^2 < a^2\}$

Практическая работа № 2

Изучение математических библиотек Intel MKL и cuSparse

Цель работы: изучение возможностей математических библиотек [Intel® Math Kernel Library \(Intel® MKL\)](#), в частности, [LAPACK](#), [1,2] и возможностей [библиотеки cuSPARSE](#) [3] на примере решения краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.

Краевая задача: найти функцию $u(x)$, являющуюся решением обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка и удовлетворяющую краевым условиям:

$$\begin{cases} (k(x)u')' - q(x)u = f(x), & a < x < b & (1) \\ u(a) = \mu_1, & & (2.1) \\ u(b) = \mu_2, & & (2.2) \\ k(x) \geq c > 0, & q(x) > 0. & \end{cases}$$

Метод решения

Для решения позволяющих

трехдиагональной матрицей (при аппроксимации дифференциального оператора разностным оператором второго порядка), т.е. построить трехточечную разностную схему.

Библиотеки:

LAPACK : Computes the solution to the system of linear equations with a tridiagonal coefficient matrix A and multiple right-hand sides

LAPACK routines: <https://software.intel.com/en-us/node/520979>

LAPACK Linear Equation Driver Routines: <https://software.intel.com/en-us/node/520972>

A · Y = B

$$\begin{pmatrix} D & U & 0 & 0 & 0 & 0 \\ L & D & U & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L & D & U & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L & D & U & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L & D & U \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L & D \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{pmatrix}$$

?gtsv
Computes the solution to the system of linear equations with a tridiagonal coefficient matrix A and multiple right-hand sides

```
lapack_int LAPACKE_dgtsv (
int matrix_layout,
lapack_int n,
lapack_int nrhs,
double * dl,
double * d,
double * du,
double * b,
lapack_int ldb);
```

Отчет должен содержать:

1. Постановку задачи.
2. Описание алгоритма (вычислительной схемы).
3. Описание параллельной реализации алгоритма.



4. Результаты тестирования решение системы алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей (на задаче, имеющей точное решение).
5. Результаты тестирования решение краевой задачи на точном решении:
точное решение: $u^*(x) = \sin(x)$, $0 \leq x \leq \pi$;
 $a = 0$,
 $b = \pi$,
 $k(x) \equiv 1$,
 $q(x) = x^2 + 1$,
 $f(x) = (u^*)'' - q(x) \cdot u^*(x)$,
 $\mu_1 = 0$,
 $\mu_{12} = 0$.
6. Исследование эффективности параллельной реализации: в зависимости от размерности задачи (количества узлов равномерной сетки) и от количества нитей (для параллельной реализации при использовании *Intel MKL*).
7. Построенные графики зависимостей:
 - приближенного и точного решения как функции координаты;
 - времени расчетов от количества потоков/нитей;
 - зависимость ускорения расчетов от количества потоков/нитей;
 - зависимость эффективности от количества потоков/нитей.
8. Анализ полученных результатов и выводы.
9. Список использованной литературы.

Литература

- [1] Reference Manual for Intel® Math Kernel Library – C:
<https://software.intel.com/en-us/mkl-reference-manual-for-c>
- [2] LAPACK Linear Equation Driver Routines:
<https://software.intel.com/en-us/node/520972>
- [3] Библиотека cuSPARSE:
<https://docs.nvidia.com/cuda/cusparses/>
- [4] Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971. - 553 с.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Для контроля знаний студентов по данной дисциплине необходимо проводить текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль выполняется в виде приема допусков и защит практических и индивидуальных работ, устного опроса на практических занятиях. Промежуточный контроль проводится в виде зачета, на котором обсуждаются теоретические вопросы курса. Практическая часть зачитывается по результатам работ, выполненным в семестре, на основе балльно-рейтинговой системы. При рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах.

Оценка качества работы в рейтинговой системе является накопительной и используется для оценивания системной работы студентов в течение всего периода обучения. Максимально возможная сумма баллов по всем видам заданий приравнивается 100 %. При этом также учитывается посещаемость занятий – 0,5 балла за посещение одного занятия продолжительностью 1 академический час, при этом максимальный балл за посещаемость равен 17. Каждое практическое задание оценивается в зависимости от сложности задания и определяется преподавателем в начале семестра, проставляется в журнале успеваемости и доводится до сведения студентов.

Чтобы быть допущенным к зачету, студент обязан проделать и сдать все практические работы. Работы, пропущенные без уважительной причины, а также работы, не защищенные студентом в течение 2-х недель после проведения практической части, оцениваются преподавателем с понижающим коэффициентом 0,5.

Преподаватель может использовать «штрафы» в виде уменьшения набранных баллов за пропуск практических занятий, за нарушение сроков выполнения учебной работы, за систематический отказ отвечать на семинарских занятиях и т.д.

Результаты работы студентов фиксируются преподавателем в журнале успеваемости.