Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет
имени И.Н. Ульянова»
(ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»)

Факультет физико-математического и технологического образования
Кафедра высшей математики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической работе
_____ С.Н. Титов
«25» июня 2021 г.

ОСНОВЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Программа учебной дисциплины вариативного модуля
«Специальные разделы предметной области»

основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата по направлению подготовки
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)

направленность (профиль) образовательной программы
Математика. Информатика
(очная форма обучения)

Составители: Цыганов А.В.,
профессор кафедры высшей математики
Кувшинова А.Н., старший преподаватель
кафедры высшей математики
Голубков А.В., старший преподаватель
кафедры высшей математики

Рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета факультета физико-математического и технологического образования, протокол от «21» июня 2021г. № 7

Ульяновск, 2021

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 01D77C644FC1E54000000006381D0002
Владелец: Титов Сергей Николаевич
Действителен: с 19.07.2021 до 19.07.2022

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы высокопроизводительных вычислений» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1. Дисциплины (модули) вариативного модуля «Специальные разделы предметной области» учебного плана основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы магистратуры по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль) образовательной программы «Математика. Информатика», очной формы обучения.

Дисциплина опирается на результаты обучения, сформированные в рамках дисциплин и практик: Программирование, Компьютерная графика и анимация, Основы математической обработки информации, Учебная практика (технологическая) Предметный практикум по математике.

Результаты изучения дисциплины являются основой для изучения дисциплин для профессиональной деятельности и прохождения государственной итоговой аттестации

1. Перечень планируемых результатов обучения (образовательных результатов) по дисциплине

Целью освоения дисциплины является подготовка учителя к будущей профессиональной деятельности: формирование способности к преподаванию учебного предмета для разных направлений подготовки на разных уровнях образования.

Задачей освоения дисциплины является формирование представлений о роли суперкомпьютерных технологий в практической деятельности и прикладных областях, отработка понятийного аппарата суперкомпьютерных технологий, техники использования высокопроизводительных расчетов, формирование и закрепление умения решать практические задачи на оборудовании для высокопроизводительных расчетов.

В результате освоения программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения (в таблице представлено соотнесение образовательных результатов обучения по дисциплине с индикаторами достижения компетенций):

Компетенция и индикаторы ее достижения в дисциплине	Образовательные результаты дисциплины (этапы формирования дисциплины)		
	Знает	Умеет	владеет
ПК-11. Способен использовать теоретические и практические знания для постановки и решения исследовательских задач в предметной области (в соответствии с профилем и уровнем обучения) и в области образования. ИПК-11.1. Знает основные научные	ОР-1 основные понятия суперкомпьютерных технологий и особенности их использования; основы организации исследовательской деятельности с использованием суперкомпьютерных технологий	ОР-2 самостоятельно и под научным руководством осуществлять сбор и обработку информации, используя технологии высокопроизводительных расчетов; проводить исследовательскую работу в соответствии с индивидуальным планом	

понятия и особенности их использования, методы и приёмы изучения и анализа литературы в предметной области; основы организации исследовательской деятельности; основные информационные технологии поиска, сбора, анализа и обработки данных; интерпретирует явления и процессы в контексте общей динамики и периодизации исторического развития предмета, с учетом возможности их использования в ходе постановки и решения исследовательских задач. ИПК-11.2. Умеет самостоятельно и в составе научного коллектива решать конкретные задачи профессиональной деятельности; самостоятельно и под научным руководством осуществлять сбор и обработку информации; способен применять полученные знания для объяснения актуальных проблем и тенденций развития предмета; проводить исследовательскую			

работу в соответствии с индивидуальным планом.			

2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Номер семестра	Учебные занятия						Форма промежуточной аттестации
	Всего		Лекции, час	Практические занятия, час	Лабораторные занятия, час	Самостоят. работа, час	
	Трудоемк.						
	Зач. ед.	Часы					
5	2	72	12	–	20	40	зачет
Итого:	2	72	12	–	20	40	

3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

3.1. Указание тем (разделов) и отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Наименование раздела и тем	Количество часов по формам организации обучения			
	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятель-ная работа
Суперкомпьютерные технологии и их использование	2	–	2	10
Основы параллельного программирования	6	–	12	20
Основы работы на вычислительном кластере	4	–	6	10
Всего по дисциплине:	**12**	**–**	**20**	**40**

3.2. Краткое описание содержания тем (разделов) дисциплины

Краткое содержание курса

Тема 1. Суперкомпьютерные технологии и их использование

Высокопроизводительные вычисления и системы. Основные архитектуры высокопроизводительных вычислительных систем. Вычислительные кластеры. Сферы применения суперкомпьютерных технологий.

Интерактивная форма: групповая дискуссия.

Тема 2. Основы параллельного программирования

Параллельные вычисления. Основные технологии параллельных вычислений. Основы технологии параллельного программирования OpenMP. Основы технологии параллельного программирования MPI.

Интерактивная форма: групповая дискуссия.

Тема 3. Основы работы на вычислительном кластере

Основные команды Linux. Порядок работы на вычислительном кластере. Работа с программой PuTTY: авторизация на кластере, создание и редактирование файлов и папок. Работа с программами FileZilla и WinSCP: загрузка файлов на вычислительный кластер и выгрузка результатов. Компиляция и запуск программ на выполнение. Высокопроизводительный рендеринг.

Интерактивная форма: работа в микрогруппах.

4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Самостоятельная работа студентов является особой формой организации учебного процесса, представляющая собой планируемую, познавательно, организационно и методически направляемую деятельность студентов, ориентированную на достижение конкретного результата, осуществляемую без прямой помощи преподавателя. Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям и зачету (экзамену). Она предусматривает, как правило, разработку рефератов, написание докладов, выполнение творческих, индивидуальных заданий в соответствии с учебной программой (тематическим планом изучения дисциплины). Тема для такого выступления может быть предложена преподавателем или избрана самим студентом, но материал выступления не должен дублировать лекционный материал. Реферативный материал служит дополнительной информацией для работы на практических занятиях. Основная цель данного вида работы состоит в обучении студентов методам самостоятельной работы с учебным материалом. Для полноты усвоения тем, вынесенных в практические занятия, требуется работа с первоисточниками. Курс предусматривает самостоятельную работу студентов со специальной литературой. Следует отметить, что самостоятельная работа студентов результативна лишь тогда, когда она выполняется систематически, планомерно и целенаправленно.

Задания для самостоятельной работы предусматривают использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Общий объем самостоятельной работы студентов по дисциплине включает аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу студентов в течение семестра.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме выполнения тестовых заданий, кейс-задач, письменных проверочных работ по дисциплине. Аудиторная самостоятельная работа обеспечена базой тестовых материалов, кейс-задач по разделам дисциплины.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в формах:

- подготовки к устным докладам (подготовка рефератов);
- решение задач (домашних заданий) по изучаемым темам;
- выполнение групповых интерактивных заданий.

ОС-1. Самостоятельная работа

Темы докладов:

1. Таксономия Флинна.
2. Кластеры класса Беовульф.
3. Списки TOP500 и TOP50 СНГ.
4. Системы охлаждения вычислительных кластеров.
5. Применение суперкомпьютеров в образовании.
6. Системы работы с очередями задач.
7. Технология параллельного программирования CUDA.
8. Пример умножения матрицы на вектор с использованием технологии OpenMP.
9. Пример умножения матрицы на вектор с использованием технологии MPI.
10. Пример использования вычислительного кластера для выскопроизводительного рендеринга.

ОС-2. Самостоятельная работа

Примерный вариант контрольного задания:

1. На языке C++ написать программу параллельного умножения двух матриц с использованием технологии OpenMP.
2. Провести исследование эффективности программной реализации (ускорение вычислений в зависимости от размера матриц) на наборе случайно сгенерированных квадратных матриц типа double.

ОС-3. Самостоятельная работа

Примерный вариант контрольного задания:

1. На языке C++ написать программу параллельного умножения двух матриц с использованием технологии MPI.
2. Скомпилировать программу на вычислительном кластере УлГПУ.
3. Провести исследование эффективности программной реализации (ускорение вычислений в зависимости от размера матриц) на наборе случайно сгенерированных квадратных матриц типа double.

Для самостоятельной подготовки к занятиям по дисциплине рекомендуется использовать учебно-методические материалы:

1. Цыганов А.В., Голубков А.В. Основы суперкомпьютерных технологий: учебно-методические рекомендации для магистрантов направления подготовки «Педагогическое образование» / А.В. Цыганов, А.В. Голубков. – Ульяновск: УлГПУ, 2017.

5. Примерные оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Организация и проведение аттестации студента

ФГОС ВО в соответствии с принципами Болонского процесса ориентированы преимущественно не на сообщение обучающемуся комплекса теоретических знаний, но на выработку у бакалавра компетенций – динамического набора знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые позволят выпускнику стать конкурентоспособным на рынке труда и успешно профессионально реализовываться.

В процессе оценки бакалавров необходимо используются как традиционные, так и инновационные типы, виды и формы контроля. При этом постепенно традиционные

средства совершенствуются в русле компетентностного подхода, а инновационные средства адаптированы для повсеместного применения в российской вузовской практике.

Цель проведения аттестации – проверка освоения образовательной программы дисциплины-практикума через сформированность образовательных результатов.

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины; помогает оценить крупные совокупности знаний и умений, формирование определенных компетенций.

Оценочными средствами текущего оценивания являются: доклад, тесты по теоретическим вопросам дисциплины, защита практических работ и т.п. Контроль усвоения материала ведется регулярно в течение всего семестра на практических (семинарских, лабораторных) занятиях.

№ п/п	**СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ,** используемые для текущего оценивания показателя формирования компетенции	Образовательные результаты дисциплины
	Оценочные средства для текущей аттестации ОС-1, ОС-2, ОС-3 Самостоятельная работа	ОР-1. Знает основные понятия суперкомпьютерных технологий и особенности их использования; основы организации исследовательской деятельности с использованием суперкомпьютерных технологий. ОР-2. Умеет самостоятельно и под научным руководством осуществлять сбор и обработку информации, используя технологии высокопроизводительных расчетов; проводить исследовательскую работу в соответствии с индивидуальным планом.
	Оценочные средства для промежуточной аттестации зачет (экзамен) ОС-4 Зачет в форме устного собеседования	

Описание оценочных средств и необходимого оборудования (демонстрационного материала), а так же процедуры и критерии оценивания индикаторов достижения компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения образовательной программы представлены в Фонде оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

Материалы для организации текущей аттестации представлены в п.5 программы.

Материалы, используемые для промежуточного контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Высокопроизводительные вычисления и системы.
2. Основные архитектуры высокопроизводительных вычислительных систем.
3. Вычислительные кластеры.
4. Сферы применения суперкомпьютерных технологий.

5. Параллельные вычисления. Основные понятия.
6. Основные технологии параллельных вычислений.
7. Технология параллельного программирования OpenMP.
8. Технология параллельного программирования MPI.
9. Основные команды Linux.
10. Порядок работы на вычислительном кластере.
11. Работа с программой PuTTY: авторизация на кластере, создание и редактирование файлов и папок.
12. Работа с программами FileZilla и WinSCP: загрузка файлов на вычислительный кластер и выгрузка результатов.
13. Компиляция и запуск программ на выполнение.

В конце изучения дисциплины подводятся итоги работы студентов на лекционных и практических занятиях путем суммирования заработанных баллов в течение семестра.

Критерии оценивания знаний обучающихся по дисциплине

Формирование балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся

		Посещение лекций	Посещение практических занятий	Работа на практических занятиях	Зачет
5 семестр	Разбалловка по видам работ	6 x 1=6 баллов	10 x 1=10 баллов	152 балла	32 балла
	Суммарный макс. балл	6 баллов max	16 баллов max	168 баллов max	200 баллов max

Критерии оценивания работы обучающегося по итогам семестра

Оценка	**Баллы (2 ЗЕ)**
«зачтено»	Более 100
«не зачтено»	100 и менее

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Успешное изучение курса требует от обучающихся посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Запись **лекции** – одна из форм активной самостоятельной работы обучающихся, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. В конце лекции преподаватель оставляет время (5 минут) для того, чтобы обучающиеся имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Из-за недостаточного количества аудиторных часов некоторые темы не удается осветить в полном объеме, поэтому преподаватель, по своему усмотрению, некоторые вопросы выносит на самостоятельную работу студентов, рекомендуя ту или иную литературу. Кроме этого, для лучшего освоения материала и систематизации знаний по дисциплине, необходимо постоянно разбирать материалы лекций по конспектам и учебным пособиям. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям студент должен изучить теоретический материал по теме занятия (использовать конспект лекций, изучить основную литературу,

ознакомиться с дополнительной литературой, при необходимости дополнить конспект, делая в нем соответствующие записи из литературных источников). В случае затруднений, возникающих при освоении теоретического материала, студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

В начале практического занятия преподаватель знакомит студентов с темой, оглашает план проведения занятия, выдает задания. В течение отведенного времени на выполнение работы студент может обратиться к преподавателю за консультацией или разъяснениями. В конце занятия проводится прием выполненных заданий, собеседование со студентом.

Результаты выполнения практических зданий оцениваются в баллах, в соответствии с балльно-рейтинговой системой университета.

Планы практических занятий

Занятие 1. Суперкомпьютерные технологии и их использование
План:
1. Основные понятия высокопроизводительных вычислений.
2. Основные архитектуры высокопроизводительных вычислительных систем.
3. Самостоятельная работа (ОС-1).

Занятие 2. Параллельные вычисления
План:
1. Основные понятия параллельных вычислений.
2. Закон Амдала.
3. Процессы, потоки, многозадачность.
4. Основные технологии параллельных вычислений.

Занятие 3. Технология OpenMP
План:
1. Парадигма OpenMP. Модель fork-join.
2. Директивы, функции и переменные окружения OpenMP.
3. Условия выполнения (private, shared, default).
4. Программа Hello, world! Настройки проекта Microsoft Visual Studio.

Занятие 4. Распределение работы и синхронизация потоков в OpenMP
План:
1. Директивы распределения работы.
2. Директивы синхронизации потоков.

Занятие 5. Программирование матричных операций в OpenMP
План:
1. Самостоятельная работа (ОС-2).

Занятие 6. Технология MPI
План:
1. Парадигма MPI. Сообщения и коммуникаторы.
2. Типы данных MPI.
3. Функции общего назначения.
4. Структура MPI-программы.

Занятие 7. Точечный обмен сообщениями в MPI
План:
1. Блокирующие и неблокирующие операции.

2. Режимы отправки сообщений.
3. Завершение неблокирующих обменов.
4. Совмещение приема и передачи сообщений.

Занятие 8. Коллективное взаимодействие процессов MPI
План:
1. Коллективные операции.
2. Барьерная синхронизация.
3. Широковещательные прием и передача сообщений.

Занятие 9. Примеры MPI-программ
План:
1. Вычисление числа π.
2. Скалярное произведение векторов.

Занятие 10. Удаленный доступ к кластеру
План:
1. Работа с программой PuTTY: авторизация на кластере, создание и редактирование файлов и папок.
2. Основные команды Linux.
3. Работа с программами FileZilla и WinSCP: загрузка файлов на вычислительный кластер и выгрузка результатов.
4. Компиляция и запуск программ на выполнение.

Занятие 11. Программирование матричных операций в MPI
План:
1. Самостоятельная работа (ОС-3).

Занятие 12. Высокопроизводительный рендеринг на вычислительном кластере
План:
1. Подготовка фалов анимации в Blender и загрузка на вычислительный кластер.
2. Настройка конфигурационного файла.
3. Рендеринг и выгрузка результатов.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, Интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

Основная литература

1. Буза, М.К. Архитектура компьютеров : учебник / М.К. Буза. - Минск : Вышэйшая школа, 2015. - 416 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-985-06-2652-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=449925
2. Афанасьев, К.Е. Основы высокопроизводительных вычислений : учебное пособие / К.Е. Афанасьев, И.В. Григорьева, Т.С. Рейн. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. - Т. 3. Параллельные вычислительные алгоритмы. - 185 с. - ISBN 978-5-8353-1546-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232205
3. Биллиг, В.А. Параллельные вычисления и многопоточное программирование / В.А. Биллиг. - 2-е изд., испр. - М. : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 311 с. : ил., схем. - Библиогр. в кн. ; [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428948

4. Немнюгин, С.А. Введение в программирование на кластерах / С.А. Немнюгин. - 2-е изд., испр. - М. : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 247 с. : схем., ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429082

Дополнительная литература

1. Основы высокопроизводительных вычислений : учебное пособие / К.Е. Афанасьев, С.В. Стуколов, В.В. Малышенко и др. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. - Т. 2. Технологии параллельного программирования. - 412 с. - ISBN 978-5-8353-1246-7; URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232204
2. Алексеев, А.А. Основы параллельного программирования с использованием Visual Studio 2010 / А.А. Алексеев. - 2-е изд., испр. - М. : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 332 с. : ил. ; - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428829
3. Немнюгин, С.А. Программирование на кластерах с использованием инструментов Intel (Intel Cluster Studio) / С.А. Немнюгин. - 2-е изд., испр. - М. : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. - 259 с. : схем., ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429823

Интернет-ресурсы

- https://www.intuit.ru – Национальный открытый университет
- http://parallel.ru – Информационно-аналитический центр по параллельным вычислениям
- https://www.intuit.ru – Национальный открытый университет