Министерство просвещения 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
21 июня 2021

ОСНОВЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Программа учебной дисциплины вариативного модуля
«Суперкомпьютерные технологии в профессиональной деятельности»

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. Экономика
(очная форма обучения)

Составители:
Цыганов А.В.,
доцент кафедры высшей математики
Кувшинова А.Н., ассистент кафедры высшей математики
Голубков А.В., ассистент кафедры высшей математики

Рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета факультета физико-математического и технологического образования, протокол от 21.06.2021 №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 параллельных вычислений» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1. Дисциплины (модули) вариативного модуля «Суперкомпьютерные технологии в профессиональной деятельности» учебного плана 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. Экономика», очной формы обучения.

Дисциплина опирается на результаты обучения, сформированные в рамках курса бакалавриата.

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 параллельных вычислениях в практической деятельности и прикладных областях, отработка понятийного аппарата параллельных вычислений, техники создания параллельных алгоритмов и программ, формирование и закрепление умения работать на высокопроизводительном оборудовании.

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
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	- особенности системного и критического мышления и демонстрировать готовность к нему; - логические формы и процедуры, демонстрировать способность к рефлексии по поводу собственной и чужой мыслительной деятельности;	- анализировать источники информации с точки зрения временных и пространственных условий их возникновения; - анализировать ранее сложившиеся в науке способы оценки информации; - аргументировано формулировать собственное суждение и оценку информации;	- навыками сопоставления разных источников информации с целью выявления их противоречий и поиска достоверных суждений; - навыками определения практических последствий предложенного решения задачи.

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					
7	2	72	12	20	-	40	Зачет 27
Итого:	2	72	12	20	-	40	27

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
7 семестр				
Основные понятия параллельного программирования.	3	4	-	10
Примеры и анализ алгоритмов параллельных вычислений.	3	6	-	10
Технология программирования OpenMP.	3	6	-	10
Работа на вычислительном кластере УлГПУ	3	4		10
Всего по дисциплине:	**12**	**20**	**-**	**40**

3.2. Краткое описание содержания тем (разделов) дисциплины

Краткое содержание курса

Тема 1. Основные понятия параллельного программирования.

Концепция процесса, потоки, понятие ресурса, организация параллельных программ как системы потоков. Взаимодействие и взаимоисключение потоков. Синхронизация.

Тема 2. Примеры и анализ алгоритмов параллельных вычислений.

Классические задачи параллельных вычислений, задача производители-потребители, обедающие философы, спящий парикмахер. Методы улучшения быстродействия программ

Тема 3. Технология программирования OpenMP, MPI, CUDA.

Синтаксис OpenMP, параллельная программа, потоки, конструкции для организации параллельных и последовательных секций, основные конструкции для распределения работы между потоками, основные конструкции для синхронизации потоков и работы с общими и локальными данными. Параллельная программа, сообщение, понятия групп и коммуникаторов. синхронное взаимодействие процессов, виды операторов Send (Bsend, Ssend, Rsend). Тупиковые ситуации Асинхронное взаимодействие процессов. Аппаратные особенности GPU, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмов. Уровни взаимодействия приложений и GPU, Расширение языка C для работы с GPU, синхронизация.

Тема 4. Работа на вычислительном кластере УлГПУ.

Удаленное подключение к вычислительному кластеру, основы работы в ОС Linux, параллельная компиляция программ, параллельное выполнения программ. Очередь распределения ресурсов.

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 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 (мини-выступлениям);
- подготовка к защите реферата;
- подготовка к групповому обсуждению по темам;
- подготовка стендовых докладов и постеров;
- разработка проектов.

ОС-1. Самостоятельная работа

Примеры самостоятельных работ

Примеры самостоятельных работ

1. Параллельное и распределенное программирование. Средства создания многопоточных и распределенных приложений.
2. Основные модели создания и функционирования потоков.
3. OpenMP: Создание параллельных областей, настройка количества потоков, вложенные параллельные области.
4. OpenMP: Распределение работы между потоками с помощью директив.
5. OpenMP: Средства синхронизации.
6. OpenMP: Опции, влияющие на разделение данных.
7. MPI: Создание и запуск MPI программ в MS VS.
8. MPI: Парные взаимодействия.
9. MPI: Типы данных в MPI.
10. MPI: Возможности синхронизации.
11. CUDA: Аппаратные особенности GPU, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмов.
12. CUDA: Уровни взаимодействия приложений и GPU.
13. CUDA: Расширение языка C для работы с GPU.
14. CUDA: Иерархия потоков
15. CUDA: Возможности синхронизации.
16. Сравнительный анализ параллельных технологий

Анализ масштабируемости алгоритмов

ОС-2. Контрольная работа 1

Примерный вариант контрольного задания:

1. Изучите методы синхронизации и взаимоисключения потоков для операционной системы Windows и разработайте ряд демонстрационных параллельных программ.
2. Изучите методы синхронизации и взаимоисключения потоков для операционной системы Unix/Linux и разработайте ряд демонстрационных параллельных программ.

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

1. Цыганов А.В., Голубков А.В. Компьютерное моделирование и дизайн информационной образовательной среды: учебно-методические рекомендации для магистрантов направления подготовки «Педагогическое образование» / А.В.Цыганов, А.В. Голубков. – Ульяновск: УлГПУ, 2016.

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 Выступление с докладом по результатам подготовки реферата ОС-2 Контрольная работа	Знает - особенности системного и критического мышления и демонстрировать готовность к нему; - логические формы и процедуры, демонстрировать способность к рефлексии по поводу собственной и чужой мыслительной деятельности; Умеет - анализировать источники информации с точки зрения временных и пространственных условий их возникновения; - анализировать ранее сложившиеся в науке способы оценки информации; - аргументировано формулировать собственное суждение и оценку информации; Владеет: - навыками сопоставления разных источников информации с целью выявления их противоречий и поиска
	Оценочные средства для промежуточной аттестации зачет (экзамен) ОС-3 Зачет в форме устного собеседования	

		достоверных суждений; - навыками определения практических последствий предложенного решения задачи.

Описание оценочных средств и необходимого оборудования (демонстрационного материала), а также 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. Параллельное и распределенное программирование. Средства создания многопоточных и распределенных приложений.
2. Основные модели создания и функционирования потоков.
3. OpenMP: Создание параллельных областей, настройка количества потоков, вложенные параллельные области.
4. OpenMP: Распределение работы между потоками с помощью директив.
5. OpenMP: Средства синхронизации.
6. OpenMP: Опции, влияющие на разделение данных.
7. MPI: Создание и запуск MPI программ в MS VS.
8. MPI: Парные взаимодействия.
9. MPI: Типы данных в MPI.
10. MPI: Возможности синхронизации.
11. CUDA: Аппаратные особенности GPU, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмов.
12. CUDA: Уровни взаимодействия приложений и GPU.
13. CUDA: Расширение языка C для работы с GPU.
14. CUDA: Иерархия потоков
15. CUDA: Возможности синхронизации.

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
7 семестр	Разбалловка по видам работ	6 х 1=6 баллов	10 х 1=10 баллов	152 баллов	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»	101-200
«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. Основные понятия параллельного программирования.

1. Концепция процесса, потоки, понятие ресурса,
2. Организация параллельных программ как системы потоков.

3. Взаимодействие и взаимоисключение потоков.
4. Синхронизация.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

ЗАНЯТИЕ № 2. Примеры и анализ алгоритмов параллельных вычислений.

1. Классические задачи параллельных вычислений
2. Задача производители-потребители
3. Обедающие философы
4. Спящий парикмахер.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

ЗАНЯТИЕ № 3. Технология программирования OpenMP.

1. Синтаксис OpenMP
2. Параллельная программа, потоки
3. Конструкции для организации параллельных и последовательных секций

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 4. Технология программирования OpenMP.

1. Основные конструкции для распределения работы между потоками
2. Основные конструкции для синхронизации потоков и работы с общими и локальными данными.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 5. Технология программирования MPI.

1. Параллельная программа, сообщение,
2. Понятия групп и коммуникаторов.
3. Синхронное взаимодействие процессов.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 6. Технология программирования MPI.

1. Виды операторов Send (Bsend, Ssend, Rsend).
2. Тупиковые ситуации
3. Асинхронное взаимодействие процессов

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 7. Технология программирования CUDA.

1. Аппаратные особенности GPU, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмов.
2. Уровни взаимодействия приложений и GPU

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 9. Технология программирования CUDA.

1. Расширение языка C для работы с GPU
2. Синхронизация.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 9. Работа на вычислительном кластере УлГПУ.

1. Удаленное подключение к вычислительному кластеру
2. Основы работы в ОС Linux

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

ЗАНЯТИЕ № 10. Работа на вычислительном кластере УлГПУ..

1. Параллельная компиляция программ
2. Параллельное выполнения программ.
3. Очередь распределения ресурсов.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции

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

Основная литература

1.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

2.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 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232204

3. 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

Дополнительная литература

1. Зализняк, В.Е. Теория и практика по вычислительной математике : учебное пособие / В.Е. Зализняк, Г.И. Щепановская ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. - 174 с. : табл. - ISBN 978-5-7638-2498-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229271
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. ; То же [Электронный ресурс]. - 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