

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института нано-, био-,
информационных, когнитивных
и социогуманитарных наук и
технологий**

П.А. Форш

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Параллельные вычисления
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра информатики и вычислительных сетей
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 45 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: С.В. Поляков, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры информатики и вычислительных сетей 20.03.2020

Аннотация

Целью освоения дисциплины «Параллельные вычисления» является знакомство с параллельными и распределенными вычислениями, различными классами высокопроизводительных систем, принципами реализации параллельных алгоритмов и используемыми моделями программирования, а также получение навыков практического использования соответствующих технологий и систем при решении прикладных задач. В процессе обучения студенты знакомятся со следующими разделами дисциплины:

Введение в параллельные вычисления.

Математическое моделирование и параллельные вычисления.

Параллельные алгоритмы решения гиперболических уравнений.

Параллельные алгоритмы решения параболических уравнений.

Параллельные алгоритмы решения эллиптических уравнений

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- обучение студентов теории и практическим навыкам параллельного программирования и решения фундаментальных и прикладных задач науки и техники с помощью современных суперкомпьютерных систем.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области теории и практики параллельного программирования для современных компьютерных и суперкомпьютерных систем;
- обучение студентов принципам создания параллельных алгоритмов и программ любого уровня сложности, ориентированных на научно-технические приложения;
- практическое применение студентами полученных знаний при выполнении курсовых и выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ общую постановку проблем компьютерного моделирования в различных областях науки и техники;
- ☐ структуру и последовательность вычислительного эксперимента;
- ☐ основы теории параллельного программирования и суперкомпьютерных вычислений;
- ☐ современные тенденции развития компьютерных и суперкомпьютерных архитектур;
- ☐ современные подходы к многопоточному программированию;
- ☐ современные подходы к программированию распределённых вычислений;
- ☐ современные подходы к разработке больших программ и комплексов для вычислительных систем с гибридной архитектурой;
- ☐ современные параллельные методы решения задач линейной алгебры и численного анализа.

уметь:

- ☐ эффективно использовать на практике теоретические компоненты курса: понятия, суждения, умозаключения, законы, тенденции;
- ☐ представлять панораму универсальных методов и алгоритмов в области параллельных вычислений;
- ☐ работать на современном компьютерном оборудовании, управляемом различными операционными системами;
- ☐ абстрагироваться от несущественных влияний программной среды и создавать переносимые параллельные приложения;
- ☐ планировать оптимальное проведение вычислительного эксперимента на компьютерных и суперкомпьютерных системах.

владеть:

- ☐ математическим моделированием научно-технических задач;
- ☐ планированием, постановкой, реализацией и обработкой результатов вычислительного эксперимента;
- ☐ навыками самостоятельной работы на современном компьютерном и суперкомпьютерном оборудовании.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в параллельные вычисления.			6	6
2	Математическое моделирование и параллельные вычисления.			6	6
3	Параллельные алгоритмы решения гиперболических уравнений.			6	6
4	Параллельные алгоритмы решения пространственно одномерных задач.			6	6
5	Параллельные алгоритмы решения спектральных и экстремальных задач.			6	6
6	Параллельные алгоритмы решения эллиптических уравнений.			8	8
7	Принципы разработки параллельных алгоритмов и программ.			7	7
Итого часов				45	45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Введение в параллельные вычисления.

Устройство обыкновенного компьютера. Методы повышения производительности компьютера. Параллельная обработка данных (пример). Многопроцессорные вычислительные системы и их применение. Проблемы использования МВС. Наращивание аппаратных средств – исторический пример. Параллельная обработка данных как эффективный метод повышения производительности вычислительных систем. Аппаратные решения, использующие параллелизм. Увеличение интеллектуальности аппаратно-программной среды. Оценка реальной производительности вычислительной системы. Ускорение и эффективность использования параллельной вычислительной системы. Законы Амдала. Примеры. Влияние архитектуры вычислительной системы на эффективность решения задачи. Классификация архитектур вычислительных систем. Особенности современных вычислительных систем. Гибридные архитектуры.

2. Математическое моделирование и параллельные вычисления.

Вычислительная и прикладная математика. Методология математического моделирования и параллельные вычисления. Задачи, требующие применения параллельных вычислений. Этапы вычислительного эксперимента применительно к задачам математической физики. Решение алгебраических уравнений. Решение ОДУ.

3. Параллельные алгоритмы решения гиперболических уравнений.

Постановка начально-краевой задачи для уравнения переноса. Разностные схемы. Общий случай. Многомерное уравнение переноса. Уравнение колебаний струны. Общий случай. Многомерное уравнение гиперболического типа.

4. Параллельные алгоритмы решения пространственно одномерных задач.

Постановки краевых задач. Базовый численный алгоритм. Система алгебраических уравнений и скалярные алгоритмы прогонки. Параллельный алгоритм решения алгебраической задачи. Следствия и обобщения.

5. Параллельные алгоритмы решения спектральных и экстремальных задач.

Линейные спектральные задачи в конечномерных пространствах. Обобщенные линейные спектральные задачи в конечномерных пространствах. Нелинейные по спектральному параметру задачи. Спектральные задачи в бесконечномерных пространствах. Постановки задачи. Численные методы решения и их параллельные реализации. Обобщение метода бисекции. Метод кривых Пеано. Метод Монте-Карло.

6. Параллельные алгоритмы решения эллиптических уравнений.

Постановка модельной краевой задачи. Численный алгоритм на базе метода конечных разностей. Прямые методы решения линейной алгебраической задачи. Итерационные методы решения линейной алгебраической задачи. Постановка модельной краевой задачи. Численные алгоритмы и их параллельные реализации. Методы решения квазилинейной алгебраической задачи.

7. Принципы разработки параллельных алгоритмов и программ.

Параллельные вычисления как взаимодействие последовательных процессов. Виды параллелизма. Примеры. Ускорение и эффективность параллельных алгоритмов. Примеры оценки ускорения и эффективности параллельных алгоритмов. Организация параллельных процессов. Создание нескольких последовательных процессов. Основные способы обмена данными между ними. Синхронизация работы последовательных процессов. Общие разделяемые ресурсы и методы их совместного использования. Языки и средства параллельного программирования. Общие направления разработки параллельных программ. Параллельный алгоритм и структура программы. Каналы связи и топологии обменов. Общая память. Ввод-вывод данных. Компиляция и запуск программ. Отладка и протоколирование. Проблемы балансировки загрузки.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Вычислительная математика и структура алгоритмов [Текст] : 10 лекций о том, почему трудно решать задачи на вычислительных системах параллельной архитектуры и что надо знать дополнительно, чтобы успешно преодолевать эти трудности : учебник для вузов / В. В. Воеводин ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 2-е изд., стереотип. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 2010 .— 168 с.
2. Теория и практика параллельных вычислений [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Гергель .— М. : Интернет-Университет Информ. Технологий : БИНОМ. Лаб. знаний, 2007 .— 423 с.
3. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. С. Антонов ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012 .— 344 с.

Фонд литературы кафедры

4. В.А. Евстигнеев. Применение теории графов в программировании. Под ред. А.П. Ершова. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.
5. Дж. Ортега. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. Пер. с англ. - М.: Мир, 1991.
6. А.Н. Коновалов. Введение в вычислительные методы линейной алгебры. Новосибирск, ВО "Наука", Сибирская издательская фирма, 1993.
7. У. Стивенс. UNIX: взаимодействие процессов. - Спб.: Питер, 2002.
8. Г.Р. Эндрюс. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования. - М., Вильямс, 2003.
9. А.В. Боресков, А.А. Харламов. Основы работы с технологией CUDA. - М.: ДМК Пресс, 2010.
10. Дж. Сандерс, Э. Кэндрот. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров. - М.: ДМК Пресс, 2011.

Дополнительная литература

Фонд литературы кафедры

1. Ian Foster. Designing and Building Parallel Programs. Addison-Wesley, 1995.
2. М.В. Яковлевский. Распределенные системы и сети. - М.: МГТУ "СТАНКИН", 2000.
3. Yu. Saad. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. - Second edition with corrections, 2000.
4. А.О. Лацис. Как построить и использовать суперкомпьютер. - М.: Бестселлер, 2003. - 240 с.
5. Dongarra J., Foster I., Fox J., et al. Sourcebook of Parallel Computing. San Francisco (CA, USA): Elsevier Science, 2003.
6. М.В. Яковлевский, Е.Ю. Кулькова. Решение задач на многопроцессорных вычислительных системах с разделяемой памятью. - М.: СТАНКИН, 2004.
7. Вл.В. Воеводин, С.А. Жуматий. Вычислительное дело и кластерные системы. - М.: Изд-во МГУ, 2007.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.parallel.ru> - информационно-аналитический центр по параллельным вычислениям.
2. <http://www.citforum.ru> – сервер информационных технологий.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лабораторных занятиях и во время самостоятельной работы учащиеся используют многоядерные компьютеры под управлением ОС Linux, компиляторы ANSI GNU C/C++, среду визуального программирования Qt Designer.

В процессе самостоятельной работы обучающиеся имеют удаленный доступ через Интернет к ресурсам учебного кластера.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Для успешного освоения курса, помимо посещения лабораторных занятий, от студентов требуется самостоятельная работа в объеме не менее чем те часы, которые указаны для каждого раздела программы. Самостоятельные занятия включают в себя также повторение материала лабораторных занятий и подготовку к дифференцированному зачету. В качестве формы контроля производится индивидуальная проверка двенадцати лабораторных заданий, а также выполнения одного контрольного задания повышенной сложности. Студенты, успешно прошедшие все формы промежуточного контроля, допускаются к сдаче дифференцированного зачета по дисциплине.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра информатики и вычислительных сетей
курс:	4
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	С.В. Поляков, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Параллельные вычисления» обучающийся должен:

знать:

- ☐ общую постановку проблем компьютерного моделирования в различных областях науки и техники;
- ☐ структуру и последовательность вычислительного эксперимента;
- ☐ основы теории параллельного программирования и суперкомпьютерных вычислений;
- ☐ современные тенденции развития компьютерных и суперкомпьютерных архитектур;
- ☐ современные подходы к многопоточному программированию;
- ☐ современные подходы к программированию распределённых вычислений;
- ☐ современные подходы к разработке больших программ и комплексов для вычислительных систем с гибридной архитектурой;
- ☐ современные параллельные методы решения задач линейной алгебры и численного анализа.

уметь:

- ☐ эффективно использовать на практике теоретические компоненты курса: понятия, суждения, умозаключения, законы, тенденции;
- ☐ представлять панораму универсальных методов и алгоритмов в области параллельных вычислений;
- ☐ работать на современном компьютерном оборудовании, управляемом различными операционными системами;
- ☐ абстрагироваться от несущественных влияний программной среды и создавать переносимые параллельные приложения;
- ☐ планировать оптимальное проведение вычислительного эксперимента на компьютерных и суперкомпьютерных системах.

владеть:

- ☐ математическим моделированием научно-технических задач;
- ☐ планированием, постановкой, реализацией и обработкой результатов вычислительного эксперимента;
- ☐ навыками самостоятельной работы на современном компьютерном и суперкомпьютерном оборудовании.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий.

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Параллельные вычисления» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 8 семестре:

1. Устройство персонального компьютера и методы повышения его производительности.
2. Примеры параллельной обработки информации и применения МВС.
3. Методы повышения производительности вычислительных систем.
4. Оценка реальной производительности вычислительных систем.
5. Ускорение и эффективность использования МВС.
6. Архитектуры и классификация МВС.
7. Архитектура современных гибридных вычислительных систем.
8. Физические и логические топологии объединения процессоров МВС.
9. Принципы построения параллельных алгоритмов, виды параллелизма, примеры.
10. Ускорение и эффективность параллельных алгоритмов, примеры.
11. Организация параллельных процессов, общие задачи и трудности.
12. Организация нескольких последовательных процессов, примеры.
13. Синхронизация последовательных процессов, семафоры.
14. Организация обменов данными между процессами.
15. Принципы построения параллельных программ.
16. Проблемы балансировки загрузки, решение задач на неоднородных МВС.
17. Решение на МВС пространственно одномерных краевых задач.
18. Параллельный алгоритм прогонки.
19. Параллельный алгоритм матричной прогонки.
20. Решение на МВС одномерной нелинейной краевой задачи.
21. Решение на МВС одномерного уравнения теплопроводности.
22. Методы решения на МВС многомерных параболических уравнений.
23. Решение на МВС трехмерного уравнения теплопроводности по локально-одномерной схеме.
24. Решение на МВС трехмерного уравнения теплопроводности по схеме двуциклического расщепления.
25. Решение на МВС эллиптических уравнений с помощью прямых методов.
26. Решение на МВС эллиптических уравнений с помощью итерационных методов.
27. Решение на МВС двумерной задачи Дирихле для уравнения Пуассона методом сопряженных градиентов.
28. Решение на МВС двумерной задачи Дирихле для уравнения Пуассона методом переменных направлений.
29. Решение на МВС двумерного квазилинейного эллиптического уравнения.
30. Решение на МВС гиперболических уравнений первого порядка.
31. Решение на МВС одномерного уравнения колебаний струны.
32. Решение на МВС многомерных гиперболических уравнений.
33. Решение на МВС двумерного квазилинейного гиперболического уравнения.
34. Решение на МВС задач на собственные значения и собственные векторы.
35. Градиентный параллельный алгоритм поиска минимума функционала.

36. Методы поиска глобального минимума функционала.

4. Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
отлично	10	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	9	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	8	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.
хорошо	7	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.
	6	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.
	5	Выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.
удовлетворительно	4	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы,

		необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.
	3	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.
неудовлетворительно	2	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.
	1	Выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.