**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Введение в теорию параллельных вычислений

Introduction to Theory of Parallel Computations

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 4

Регистрационный номер рабочей программы: 002226

Санкт-Петербург

2020

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Дисциплина «Введение в теорию параллельных вычислений» является одной из основных дисциплин цикла, формирующего подготовку обучающегося в области высокоэффективных вычислений на современных вычислительных системах. Она представляет собой комплекс знаний, умений и навыков, позволяющих овладеть основами теории параллельных вычислений на современных многопроцессорных компьютерах, а также получить некоторые представления о практическом применении распараллеливания, его реализуемость, оптимизацию времени работы по его созданию и отладке.

Отдельные параметры дисциплины могут варьироваться по степени сложности в зависимости от уровня подготовки обучающегося. Дисциплина строится на принципах компетентностного, деятельностного подхода к вычислениям как средству обоснованного проведения различных расчетов, с применением высокопроизводительных компьютеров с распределенной памятью, что предполагает классификацию содержания обучения по следующим видам деятельности: изучение основных концепций параллельных алгоритмов, изучение средств распараллеливания, изучение элементов программирования, составление алгоритмов, проведение простейших вычислений.

Основным методологическим принципом построения программы дисциплины, равно как и всей концепции обучения основам распараллеливания в целом, является принцип поэтапного системного накопления знаний и формирования необходимых компетенций по модели: от простого и/или знакомого - к сложному и/или незнакомому, а основной методологической стратегией прохождения отдельных разделов программы является ступенчатость и цикличность, предусматривающие постепенный возврат к ранее усвоенному материалу на более высоком языковом и концептуальном уровне.  
Цель изучения дисциплины: обучение методам распараллеливания вычислений с использованием мощных вычислительных систем с распределенной памятью, развитие у студентов доказательного, логического мышления; знакомство с различными языками, применяемыми на упомянутых системах, подготовка к самостоятельному решению различных алгоритмических задач с использованием этих систем.

Результатом учебных занятий явятся усвоение методов распараллеливания вычислений с использованием мощных вычислительных систем, развитие у студентов доказательного, логического мышления; знакомство с различными языками, применяемыми на упомянутых системах, возможность самостоятельно решать простые алгоритмические задачи с использованием этих систем.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Для успешного освоения дисциплины обучающийся должен иметь предварительную подготовку по дисциплинам - информатики и программирования, изучаемых на I-II курсах математико-механического факультета СПбГУ.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

Обучающийся должен знать содержания дисциплины «Введение в теорию параллельных вычислений» и обладать достаточно полным представлением о возможностях применения разделов курса в различных прикладных областях науки и техники; уметь проводить вычисления на современных высокопроизводительных вычислительных системах с общей памятью в соответствии с программой курса.  
Дисциплина «Введение в теорию параллельных вычислений» развивает способности дальнейшего освоения методов распараллеливания вычислений, способами и средствами организации параллельных потоков на вычислительных системах с распределенной и общей памятью, развития навыков работы с компьютером как средством управления информацией.

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Аудиторная учебная работа: лекции в объеме 2 часов в неделю в 5-м семестре.

В конце семестра предусмотрены консультация и экзамен. Интерактивная форма учебных занятий (4 часа в течение семестра) заключается в дискуссиях по некоторым разделам дисциплины.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 5 | 32 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 72 |  | 36 |  | 4 | 4 |
|  | 1-25 |  | 1-25 |  |  |  |  |  | 1-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 32 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 72 |  | 36 |  |  | 4 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | |
| Семестр 5 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

* 1. **Структура и содержание учебных занятий**

Период обучения (модуль): Семестр 5

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| I. | Концепции распараллеливания | лекции | 10 |
| по методическим материалам | 24 |
| II. | Алгоритмы и вычислительные системы | лекции | 10 |
| по методическим материалам | 24 |
| III. | Передача сообщений. Анализ эффективности | лекции | 12 |
| по методическим материалам | 24 |
| IV. | Промежуточная аттестация | консультация | 2 |
| самостоятельная работа | 36 |
| экзамен | 2 |
| **Итого** | | | **144** |

Тема 1. «Концепции распараллеливания»

1. О постановке задачи распараллеливания

1. 1. Введение. О некоторых вычислительных задачах.

1. 2. Численный эксперимент и его целесообразность.

1. 3. О параллельных вычислительных системах (ВС).

1. 4. Однопроцессорные, многопроцессорные ВС и трудности их использования. Идея конвейерных вычислений.

1. 5. О классификации многопроцессорных ВС. Параллельная форма алгоритма. 1. 6. Примеры распараллеливания.

1. 7. О схеме сдваивания. О вычислении степени на параллельной системе.

Тема 2. «Алгоритмы и вычислительные системы»

2. Некоторые сведения о графах в связи с распараллеливанием

2.1. О понятии графа. Ориентированный граф.

2.2. Топологическая сортировка. Примеры графов параллельных форм.

2.3. Изоморфизм графов. Операции гомоморфизма.

2.4. Построение параллельных форм. Направленный граф.

3. Функциональные устройства (ФУ)

3.1. Определения: простое ФУ, конвейерное ФУ, длина конвейера, стоимость операции, стоимость работы.

3.2. Загруженность, асимптотическая загруженность.

3.3. Свойства простых и конвейерных ФУ. Номинальная (пиковая) производительность, реальная производительность.

3.4. О времени реализации алгоритма. Об ускорении при распараллеливании. Максимально возможное ускорение, вычислительный алгоритм.

4. Алгоритмы и вычислительные системы

4.1. О соотношении графов алгоритма и вычислительной системы. О двух задачах реализации алгоритма.

4.2. Базовая вычислительная система. Понятие о временной развертке.

4.3. Достоинства и недостатки базовой вычислительной системы.

4.4. О построении графа вычислительной системы.

Тема 3. «Передача сообщений. Анализ эффективности»

5. О технологии программирования MPI

5.1. Трудности перехода от последовательных программ к параллельным.

5.2. Элементы идеологии интерфейса MPI

5.3. О реализации разветвлений на параллельной системе

5.4. Программирование операций на параллельной системе

5.5. Обзор основных процедур интерфейса MPI

5.6. Загруженность системы при использовании интерфейса MPI

6. Технология программирования DVM

6.1. Основные принципы. Распределение массивов.

6.2. Выравнивание массивов. Параллельное выполнение циклов

6.3. Отображение задач на вычислительную систему

6.4. Удаленные данные. Редукционные данные.

6.5. Пересеченные (across) данные

6.6. Пример программы. Отладка программы.

6.7. Заключительные замечания.

7. Программирование на mpC

7.1. Введение

7.2. Базовые и узловые функции

7.3. Автоматические сети

7.4. Статические сети

7.5. Синхронизация работы сети

7.6. Подсети в mpC

7.7. Распределение нагрузки

7.8. Заключительные замечания

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

По дисциплине «Введение в теорию параллельных вычислений» все обучающиеся должны быть обеспечены литературой, рекомендованной по курсу.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

При выполнении самостоятельной работы обучающемуся необходимо знать содержание дисциплины, уметь формулировать определения основных понятий, уметь применять различные методы для решения конкретных задач. При подготовке к самостоятельной работе целесообразно использовать рекомендованную обязательную и дополнительную литературу, а также сведения из сети Интернет.

Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:

О постановке задачи распараллеливания

Введение. О некоторых вычислительных задачах.

Численный эксперимент и его целесообразность.

О параллельных вычислительных системах (ВС).

Однопроцессорные, многопроцессорные ВС и трудности их использования. Идея конвейерных вычислений.

О классификации многопроцессорных ВС. Параллельная форма алгоритма.

Примеры распараллеливания.

О схеме сдваивания. О вычислении степени на параллельной системе.

Некоторые сведения о графах в связи с распараллеливанием.

О понятии графа. Ориентированный граф.

Топологическая сортировка. Примеры графов параллельных форм.

Изоморфизм графов. Операции гомоморфизма.

Построение параллельных форм. Направленный граф.

Функциональные устройства (ФУ)

Определения: простое ФУ, конвейерное ФУ, длина конвейера, стоимость операции, стоимость работы.

Загруженность, асимптотическая загруженность.

Свойства простых и конвейерных ФУ. Номинальная (пиковая) производительность, реальная производительность.

О времени реализации алгоритма. Об ускорении при распараллеливании. Максимально возможное ускорение, вычислительный алгоритм.

Алгоритмы и вычислительные системы

О соотношении графов алгоритма и вычислительной системы. О двух задачах реализации алгоритма.

Базовая вычислительная система. Понятие о временной развертке.

Достоинства и недостатки базовой вычислительной системы.

О построении графа вычислительной системы.

О технологии программирования MPI.

Трудности перехода от последовательных программ к параллельным.

Элементы идеологии интерфейса MPI.

О реализации разветвлений на параллельной системе.

Программирование операций на параллельной системе.

Обзор основных процедур интерфейса MPI.

Загруженность системы при использовании интерфейса MPI.

Технология программирования DVM.

Основные принципы. Распределение массивов.

Выравнивание массивов. Параллельное выполнение циклов.

Отображение задач на вычислительную систему.

Удаленные данные. Редукционные данные.

Пересеченные (across) данные.

Пример программы. Отладка программы.

Заключительные замечания.

Программирование на mpC.

Базовые и узловые функции.

Автоматические сети.

Статические сети.

Синхронизация работы сети.

Подсети в mpC.

Распределение нагрузки.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

По дисциплине «Введение в теорию параллельных вычислений» в конце учебного семестра проводится экзамен.

Методика проведения экзамена.

Экзамен проводится в устной форме. Билет содержит 2 вопроса из списка вопросов к экзамену. На подготовку к ответу в аудитории отводится не менее 1 академического часа.

После ответа на вопросы билета, преподаватель вправе задать дополнительные вопросы по любой теме из списка вопросов, вынесенных на экзамен. В качестве дополнительных, используются вопросы, не требующие длительного вывода и трудоемких вычислений, в том числе определения, основные формулы, основные графики. Так же в качестве дополнительного вопроса может быть предложена задача по следующим темам: «Концепции распараллеливания», «Алгоритмы и вычислительные системы», «Передача сообщений. Анализ эффективности».

Критерии выставления оценок за ответ на экзамене.

Оценка **A** («отлично») ставится студенту, полностью овладевшему теоретическим материалом и продемонстрировавшему принципы его применения на практике. Даны правильные полные ответы на вопросы билета и дополнительные вопросы. Допустимо исправление одной-двух неточностей после замечания преподавателя.

Оценка **B** («хорошо») ставится студенту, полностью овладевшему основным теоретическим материалом и основными принципами его применения на практике, допустившим, однако, ошибки во второстепенных деталях. При этом студент демонстрирует способность исправить ошибки после просьбы преподавателя об уточнении ошибочных утверждений.

Оценка **С** («хорошо») ставится студенту, если он дал на 75 % правильный ответ на вопросы билета и дополнительные вопросы. При этом студент должен показать способность активного владения теоретическим материалом и применения на практике и исправления указанных преподавателем ошибок.

Оценка **D** («удовлетворительно») ставится студенту, имеющему пробелы в овладении теоретическим материалом или в его применении на практике. При этом только 60--65% ответа верна, и студент испытывает затруднения с исправлением ошибок, указанных преподавателем.

Оценка **E** («удовлетворительно») ставится студенту, имеющему пробелы как в овладении теоретическим материалом, так и в его применении на практике, если эти пробелы не являются решающими и студент хорошо освоил более половины материала, покрытого вопросами. Студент не способен исправить все неточности, замеченные преподавателем, но активно владеет освоенной частью материала.

Оценка **F** («неудовлетворительно») ставится студенту, имеющему существенные пробелы в овладении теоретическим материалом и в его применении на практике. Ответ на один из вопросов содержит принципиальные ошибки, или только частичный (в том числе, отсутствует), или при ответе не продемонстрировано понимание предмета вопроса.

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. О постановке задачи распараллеливания.
2. Введение. О некоторых вычислительных задачах.
3. Численный эксперимент и его целесообразность.
4. О параллельных вычислительных системах (ВС).
5. Однопроцессорные, многопроцессорные ВС и трудности их использования. Идея конвейерных вычислений.
6. О классификации многопроцессорных ВС. Параллельная форма алгоритма.
7. Примеры распараллеливания.
8. О схеме сдваивания. О вычислении степени на параллельной системе.
9. Некоторые сведения о графах в связи с распараллеливанием.
10. О понятии графа. Ориентированный граф.
11. Топологическая сортировка. Примеры графов параллельных форм.
12. Изоморфизм графов. Операции гомоморфизма.
13. Построение параллельных форм. Направленный граф.
14. Функциональные устройства (ФУ).
15. Определения: простое ФУ, конвейерное ФУ, длина конвейера, стоимость операции, стоимость работы.
16. Загруженность, асимптотическая загруженность.
17. Свойства простых и конвейерных ФУ. Номинальная (пиковая) производительность, реальная производительность.
18. О времени реализации алгоритма. Об ускорении при распараллеливании. Максимально возможное ускорение, вычислительный алгоритм.
19. Алгоритмы и вычислительные системы.
20. О соотношении графов алгоритма и вычислительной системы. О двух задачах реализации алгоритма.
21. Базовая вычислительная система. Понятие о временной развертке.
22. Достоинства и недостатки базовой вычислительной системы.
23. О построении графа вычислительной системы.
24. О технологии программирования MPI.
25. Трудности перехода от последовательных программ к параллельным.
26. Элементы идеологии интерфейса MPI.
27. О реализации разветвлений на параллельной системе.
28. Программирование операций на параллельной системе.
29. Обзор основных процедур интерфейса MPI.
30. Загруженность системы при использовании интерфейса MPI.
31. Технология программирования DVM.
32. Основные принципы. Распределение массивов.
33. Выравнивание массивов. Параллельное выполнение циклов.
34. Отображение задач на вычислительную систему.
35. Удаленные данные. Редукционные данные.
36. Пересеченные (across) данные.
37. Пример программы. Отладка программы.
38. Заключительные замечания.
39. Программирование на mpC.
40. Базовые и узловые функции.
41. Автоматические сети.
42. Статические сети.
43. Синхронизация работы сети
44. Подсети в mpC.
45. Распределение нагрузки.
46. Заключительные замечания.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса применяется анкетирование в соответствии с методикой и графиком, утвержденными в установленном порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем образовании по соответствующему направлению.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Учебно-вспомогательный и инженерно-технический персонал должен иметь соответствующее образование и обладать навыками организации работы с пользовательскими программными продуктами в локальной сети компьютерного класса и в Интернете.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Для проведения занятий желательно выделение компьютерного класса и/или аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран настенный, др. оборудование.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Программное обеспечение общего пользования должно быть не ниже MS Office 2003.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Не требуется.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Не требуется.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Фломастеры цветные, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители и др. в объёме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. Параллельные вычисления. СПб. 2002.

2. И.Г. Бурова, Ю.К. Демьянович. Алгоритмы параллельных вычислений и программирование. Курс лекций. СПб. 2007.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Сетевые операционные системы. СПб., 2009.

2. А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. М.: Финансы и статистика, 2003.

3. Ian Foster. Designing and Building Parallel Program. http://www.parallel.ru

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1. http://www.parallel.ru

**Раздел 4. Разработчики программы**

Демьянович Юрий Казимирович, доктор ф-м.н., профессор, зав. кафедрой параллельных алгоритмов, y.demjanovich@spbu.ru