

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Параллельные алгоритмы на графах

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

---

Направленность образовательной программы  
Инженерия программного обеспечения

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.05 Параллельные алгоритмы на графах относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники	<p>ПК-3.1: Знает методы анализа и исследования математических моделей в области фундаментальной информатики и информационных технологий</p> <p>ПК-3.2: Умеет определять ключевые свойства и ограничения системы</p>	<p>ПК-3.1: Знает основные приемы построения параллельных алгоритмов на графах для систем с общей и распределенной памятью. Знает основные высокопроизводительные библиотеки с реализацией алгоритмов на графах.</p> <p>ПК-3.2: Умеет разрабатывать параллельные алгоритмы на графах для систем с общей и распределенной памятью. Умеет применять основные высокопроизводительные библиотеки с реализацией алгоритмов на графах.</p>	Задания	Зачёт: Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0

- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
Введение. Обзор задач на графах	4	4	0	4	0
Моделирование графов	14	4	0	4	10
Основные принципы проектирования параллельных алгоритмов на графах для систем с общей памятью, проблемы и способы их решения	14	4	0	4	10
Основные принципы проектирования распределенных алгоритмов на графах, проблемы и способы их решения	19	4	0	4	15
Параллельные алгоритмы для решения NP-трудных задач на графах	19	4	0	4	15
Алгоритмы для веб-графов и графов социальных сетей	18	8	0	8	10
GraphBLAS. Алгоритмы на графах и линейная алгебра	19	4	0	4	15
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Проблемы распараллеливания алгоритмов на графах, и подходы к их решению. Обзор открытых высокопроизводительных библиотек. Форматы хранения графов для высокопроизводительных вычислений.
2. Коллекции графов из реальных приложений. Моделирование графов (модели Эрдеша-Реньи, Барабаши-Альберт, Уаттса-Строгатса, графы Кронекера).
3. Основные принципы проектирования параллельных алгоритмов на графах для систем с общей памятью, проблемы и способы их решения. Принципы Pull-push, фильтрация. Параллельные алгоритмы BFS, MST, дельта-шага.
4. Основные принципы проектирования распределенных алгоритмов на графах, проблемы и способы их решения. Параллельные алгоритмы BFS, SSSP (алгоритм дельта-шага).
5. Параллельные алгоритмы для решения NP-трудных задач на графах: алгоритмы разделения графов.
6. Структура веб-графов и графов социальных сетей. Понятие центральности и алгоритмы вычисления PageRank, Betweenness Centrality.

7. Алгоритмы кластеризации и поиска сообществ.
8. Связь алгоритмов на графах и линейной алгебры. Примеры задач.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

1. Учебный курс "Графы и алгоритмы" (Алексеев В.Е., Таланов В.А.):

<http://www.intuit.ru/studies/courses/101/101/info>.

2. Учебный курс "Теория и практика параллельных вычислений" (Гергель В.П.):

<http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/info>.

б) дополнительная литература:

1. Гергель В.П. Курс «Основы параллельных вычислений».

<http://www.intuit.ru/studies/courses/1091/293/info>.

2. Корняков К.В., Мееров И.Б., Сиднев А.А., Сысоев А.В., Шишков А.В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2010. (19 экз.).

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

Задание 1. С помощью библиотеки NetworkX сгенерировать набор тестовых графов одной из заданных моделей. Проверить распределение степеней получившихся графов. Визуализация.

Задание 2. В ОС Linux скомпилировать одну из HPC-библиотек для работы с графами для систем с общей памятью (на выбор: Ligra / NetworKit / GBBS / GraphIT). Провести вычислительные эксперименты на синтетических графах для решения одной из стандартных задач.

Задание 3. Разработать собственную параллельную реализацию одного из классических алгоритмов с использованием технологии OpenMP. Сравнить решение с HPC-библиотекой.

Задача 4. Провести вычислительные эксперименты на кластере с использованием библиотеки Galois (MPI) для решения классических задач. Исследовать влияние разделения графа на работу распределенного алгоритма с использованием библиотек Galois, ParMETIS.

Задача 5. Провести вычислительные эксперименты на кластере с использованием библиотек SuiteSparse GraphBLAS + LAGraph для решения стандартной задачи.

##### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Программа и результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, программа работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю).

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальный набор	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы навыки	Продемонстрирован творческий

Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	подход к решению нестандартных задач
--	--	--	---	---	--	--------------------------------------

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Каковы основные вычислительные особенности задач на графах?
2. Какие форматы хранения графа в памяти компьютера вы знаете?
3. Сколько памяти необходимо для хранения невзвешенного графа с  $n$  вершинами и  $m$  ребрами в формате списков смежности?
4. Как генерируются случайные RМAT графы?
5. Как генерируются разреженные графы с заданной плотностью?
6. Какие параллельные библиотеки по обработке графов вы знаете? Какие специализированные библиотеки по обработке графов вы знаете?
7. В каких прикладных областях решается задача  $k$ -разделения графа?
8. Какие методы  $k$ -разделения графа вы знаете?

9. В чем заключается основная идея распараллеливания  $k$ -разделения графа?
10. Какие структуры данных используются для улучшения  $k$ -разделения графа?
11. Какие алгоритмы поиска в графе минимального пути из одной вершины во все вы знаете? Какова их вычислительная сложность? Как выбрать алгоритм в зависимости от свойств графа?
12. Какова идея распараллеливания алгоритма Дейкстры?
13. Как выбор реализации структур данных влияет на производительность алгоритма Дейкстры?
14. Какова идея распараллеливания алгоритма Беллмана-Форда?
15. Какие алгоритмы поиска кратчайшего пути между всеми парами вершин вы знаете? Какова их вычислительная сложность?
16. Какова идея распараллеливания алгоритма Флойда-Уоршала?
17. Какова идея распараллеливания алгоритма Джонсона?
18. В каких прикладных областях решается задача нахождения минимального остовного дерева?
19. Какие алгоритмы нахождения минимального остовного дерева вы знаете? Какова их вычислительная сложность?
20. Приведите основные виды центральностей для графов-сетей. Какие свойства графов они отражают?
21. Опишите алгоритмы для поиска сообществ в графе. Какая метрика используется для определения сообществ?
22. Приведите описание алгоритма поиска в ширину в терминах линейной алгебры.
23. Приведите описание алгоритма поиска кратчайших путей в терминах линейной алгебры.
24. В чем основная идея подхода GraphBLAS?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Теория и практика параллельных вычислений / Гергель В.П. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=663423&idb=0>.
2. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 1. Библиотека МРІ. Матрично-векторное и матричное умножение. Решение СЛАУ. Поиск путей на графе / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 239 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 171.99., 52 экз.
3. Алексеев В.Е. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений : учебник / Алексеев В.Е., Таланов В.А. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - . - ISBN 5-9556-0066-3., <https://e->

lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=1011433&idb=0.

Дополнительная литература:

1. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью : учеб. пособие / [под ред. В. П. Гергеля] ; ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 201 с. - ISBN 978-5-91326-138-0 : 100.00., 21 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
2. Браузер Google Chrome, предоставляется бесплатно на условиях лицензионных соглашений на программное обеспечение с открытым исходным кодом.
3. Среда разработки семейства Microsoft Visual Studio, лицензия по подписке Microsoft Imagine.

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук, доцент  
Пирова Анна Юрьевна, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.