

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

Анализ производительности и оптимизация программного обеспечения

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Анализ производительности и оптимизация программного обеспечения 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-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1: ЗНАТЬ Методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения, включая роль и место современных программных инструментальных средств для решения задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-11.2: УМЕТЬ Применять на практике методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-11.3: ВЛАДЕТЬ Навыками использования современного системного программного обеспечения для профилировки и оптимизации программ: пакет Intel Parallel Studio XE, включая оптимизирующий</p>	Практическая задача	Зачёт: Контрольные вопросы

		компилятор, профилировщик, специализированные библиотеки, – для решения задач производственно-технологической деятельности.		
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.1: ЗНАТЬ</p> <p>Методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения, включая роль и место современных программных инструментальных средств для решения задач научной деятельности.</p> <p>ПК-4.2: УМЕТЬ</p> <p>Применять на практике методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения для решения задач научной деятельности.</p> <p>ПК-4.3: ВЛАДЕТЬ</p> <p>Навыками использования современного системного программного обеспечения для профилировки и оптимизации программ: пакет Intel Parallel Studio XE, включая оптимизирующий компилятор, профилировщик, специализированные библиотеки, – для решения задач научной деятельности.</p>	Практическая задача	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	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- 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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1.1, 1.2 Введение в оптимизацию программ.	5	2	0	2	3
1.3 Архитектурные механизмы, влияющие на производительность. Уровни параллелизма	13	1	0	1	12
1.4 Основные метрики, методика их сбора и анализа	15	1	2	3	12
1.5 Использование инструментария: оптимизирующий компилятор, профилировщик, рекомендательная система	17	1	4	5	12
1.6. Методика анализа производительности: выбор тестовых данных, особенности замеров времени, связь с параллельными вычислениями	15	1	2	3	12
1.7. Векторизация кода	14	1	1	2	12
2.1. Оптимизация вычислений в задачах финансовой математики. Алгоритмическая и программная оптимизация	15	1	2	3	12
2.2. Оптимизация вычислений в алгоритмах алгебры разреженных матриц. Оптимизация структур данных и балансировка вычислительной нагрузки	4	2	2	4	
2.3. Оптимизация вычислений в задачах моделирования лазерной плазмы. Многоуровневое распараллеливание и балансировка нагрузки.	4	2	2	4	
2.4. Оптимизация вычислений в задачах моделирования электрофизиологии сердца. Использование высокопроизводительных программных пакетов	2	2	0	2	
3.1. Оптимизация программ для процессоров архитектуры RISC-V. Базовые подходы и примеры	1	1	0	1	
3.2. Оптимизация программ для процессоров архитектуры RISC-V на примере алгоритмов линейной алгебры	2	1	1	2	
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Анализ производительности и оптимизация программ. Введение в предмет
 - 1.1. Кратко о курсе
 - 1.2. Введение в оптимизацию программ
 - 1.3. Архитектурные механизмы, влияющие на производительность. Уровни параллелизма
 - 1.4. Основные метрики, методика их сбора и анализа
 - 1.5. Использование инструментария: оптимизирующий компилятор, профилировщик, рекомендательная система
 - 1.6. Методика анализа производительности: выбор тестовых данных, особенности замеров времени, связь с параллельными вычислениями
 - 1.7. Векторизация кода
2. Анализ производительности и оптимизация программ на примерах
 - 2.1. Оптимизация вычислений в задачах финансовой математики. Алгоритмическая и программная оптимизация
 - 2.2. Оптимизация вычислений в алгоритмах алгебры разреженных матриц. Оптимизация структур данных и балансировка вычислительной нагрузки
 - 2.3. Оптимизация вычислений в задачах моделирования лазерной плазмы. Многоуровневое распараллеливание и балансировка нагрузки.
 - 2.4. Оптимизация вычислений в задачах моделирования электрофизиологии сердца. Использование высокопроизводительных программных пакетов
3. Оптимизация программ для новых вычислительных архитектур
 - 3.1. Оптимизация программ для процессоров архитектуры RISC-V. Базовые подходы и примеры
 - 3.2. Оптимизация программ для процессоров архитектуры RISC-V на примере алгоритмов линейной алгебры

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Анализ производительности и оптимизация программ, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6080>.

Иные учебно-методические материалы:

а) основная литература:

Технопарк Mail.ru Group. Курс «Алгоритмы и структуры данных».

<http://www.intuit.ru/studies/courses/3496/738/info>.

Школа Анализа Данных (Яндекс). Курс «Алгоритмы и структуры данных поиска».

<http://www.intuit.ru/studies/courses/13848/1245/info>.

б) дополнительная литература:

Учебные курсы Академии Интел. <http://www.intuit.ru/academies/companiesn/41/info>.

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 - Практическая задача) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

Лабораторная работа (проект) «Алгоритмы умножения разреженных матриц».

Требуется разработать программу для умножения разреженных квадратных матриц в формате Compressed Sparse Rows. Элементами матриц являются числа с плавающей запятой двойной точности. Результатом работы программы является разреженная матрица. Оценивание результатов выполняется в смысле а) работоспособности программы – малое отклонение результата от эталона; б) производительности программы – время, затраченное на выполнение умножения.

Программная реализация выполняется на языках C или C++. Допускается использование технологий параллельного программирования OpenMP, Cilk Plus, TBB. Используется пакет программ Intel Parallel Studio XE (компилятор, профилировщик). Целевая архитектура выбирается исходя из текущих технических возможностей суперкомпьютера ННГУ «Лобачевский».

Подробные технические требования и спецификации передаются студентам в начале семестра. Данное задание может быть выдано студентам в разных формулировках (пример: прямоугольные матрицы, целочисленные значения, одинарная точность, разные форматы хранения т.д. – не менее 10 разновидностей)

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическая задача) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Лабораторная работа (проект) «Алгоритмы умножения плотных матриц».

Требуется разработать программу для умножения плотных квадратных матриц. Элементами матриц являются числа с плавающей запятой двойной точности. Результатом работы программы является плотная матрица. Оценивание результатов выполняется в смысле а) работоспособности программы – малое отклонение результата от эталона; б) производительности программы – время, затраченное на выполнение умножения.

Программная реализация выполняется на языках C или C++. Допускается использование технологий параллельного программирования OpenMP, Cilk Plus, TBB. Используется пакет программ Intel Parallel Studio XE (компилятор, профилировщик). Целевая архитектура выбирается исходя из текущих технических возможностей суперкомпьютера ННГУ «Лобачевский».

Подробные технические требования и спецификации передаются студентам в начале семестра. Данное задание может быть выдано студентам в разных формулировках (пример:

прямоугольные матрицы, целочисленные значения, одинарная точность и т.д. – не менее четырех разновидностей).

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическая задача)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код 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, код 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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	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	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	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-11

1. Программная оптимизация. Примеры.
2. Оптимизация вычислений с плавающей запятой. Использование математических функций. Вопросы точности и производительности.
3. Оптимизация производительности в параллельных программах. Особенности оптимизации, связь с эффективностью масштабируемости.
4. Использование оптимизирующих компиляторов. Управление современными

оптимизирующими компиляторами на примере Intel C/C++ Compiler.

5. Использование специализированных высокопроизводительных библиотек на примере Intel Math Kernel Library. Пример (по выбору студента).

6. Оптимизация вычислений в задаче матричного умножения.

7. Современные метрики для оценивания производительности. Roofline-модель.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Оптимизация программ. Цели, задачи, принципы, критерии, правила, примеры.

2. Основные критерии оптимизации программ. Взаимодействие критериев.

3. Понятие бенчмарка. Выбор бенчмарка. Требования к бенчмарку. Методика измерения времени при проведении серии экспериментов для оценивания производительности.

4. Виды оптимизации программ. Примеры.

5. Элементы теории сложности. Оценки сложности. Примеры.

6. Алгоритмическая оптимизация на примере одного из классических разделов курса «Алгоритмы и структуры данных» по выбору студента.

7. Архитектурные механизмы, влияющие на производительность.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы, возможно с незначительными неточностями в определении понятий, процессов и т.п. Студент работал на практических занятиях и выполнил все задания для текущего контроля успеваемости как минимум на 80%.
не зачтено	Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы, так и на наводящие вопросы экзаменатора. Студент пропустил большую часть практических занятий и не выполнил задания для текущего контроля успеваемости.

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

Основная литература:

1. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 1.

Библиотека MPI. 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.

2. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 2.

Технология OpenMP. Технология Cilk Plus. Библиотека Intel ArBB. Библиотека TBB. Технология CUDA. Технология OpenCL / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 367 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 257.26., 52 экз.

3. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 3.

Элементы компьютерной арифметики. Прямые и итерационные методы решения СЛАУ / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 415 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 288.63., 52 экз.

4. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 4. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Дифференциальные уравнения в частных производных. Методы Монте-Карло / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 369 с. - ISBN 978-5-91326-203-5 : 258.25., 52 экз.

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):

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

Используются

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 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

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

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

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