

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  
от 30.11.2022 г. протокол № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

**Анализ производительности и оптимизация программ**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

### Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.В.ДВ.02.02) читается в первом семестре магистратуры, относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Дисциплина опирается на базовые знания студентов по языкам и методам программирования, алгоритмам и структурам данных, системному программированию (архитектура ЭВМ, операционные системы).

### Цель освоения дисциплины

Цель данной дисциплины – дать общее представление и сформировать навыки оптимизации программного обеспечения (ПО) с точки зрения сокращения времени работы.

Данная цель предполагает решение следующих задач:

1. Формирование общего представления о целях, задачах, принципах, правилах, критериях, видах оптимизации ПО.
2. Изучение аспектов производительности в базовых алгоритмах и структурах данных.
3. Изучение специализированного ПО, предназначенного для профилировки и оптимизации ПО.
4. Изучение некоторых типовых приемов оптимизации ПО.

## 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	
<i>ПК-5 Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной деятельности</i>	<i>ПК-5.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	<i>ЗНАТЬ Методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения, включая роль и место современных программных инструментальных средств для решения задач научной деятельности.</i>	Собеседование (зачет)

	<i>ПК-5.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	<b>УМЕТЬ</b> <i>Применять на практике методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения для решения задач научной деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
	<i>ПК-5.3 Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	<b>ВЛАДЕТЬ</b> <i>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.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
<i>ПК-12 Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач производственно-технологической деятельности</i>	<i>ПК-12.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения производственно-технологических задач</i>	<b>ЗНАТЬ</b> <i>Методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения, включая роль и место современных программных инструментальных средств для решения задач производственно-технологической деятельности.</i>	Собеседование (зачет)
	<i>ПК-12.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения производственно-технологических задач</i>	<b>УМЕТЬ</b> <i>Применять на практике методику анализа производительности и оптимизации по скорости программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)

	<i>ПК-12.3. Имеет навыки разработки системного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</i>	<i>ВЛАДЕТЬ 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 производственно-технологической деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>Очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
– занятия лекционного типа	16
– занятия семинарского типа	0
– занятия лабораторного типа	16
– текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация: зачет</b>	<b>0</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
Введение в оптимизацию программ.	7	2		2	4	3
Анализ эффективности алгоритмов и алгоритмическая оптимизация.	14	4		4	8	6
Оптимизация структур данных.	10	2		2	4	6
Архитектура ЭВМ: механизмы, влияющие на производительность.	10	2		2	4	6
Векторизация вычислений.	10	2		2	4	6
Использование специализированного ПО для оптимизации.	10	2		2	4	6
Программная оптимизация на примерах.	10	2		2	4	6
Текущий контроль (КСР)	1					
Промежуточная аттестация – зачет	0					
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>16</b>		<b>16</b>	<b>33</b>	<b>39</b>

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в

выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме проверки работ на занятиях лабораторного типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме зачета.

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

Самостоятельная работа студентов подразделяется на следующие категории:

- Изучение учебной литературы (см. перечень образовательных материалов).
- Выполнение лабораторных работ на следующие темы (по усмотрению преподавателя): алгоритмы матричного умножения (плотные матрицы), алгоритмы матричного умножения (разреженные матрицы), алгоритмы сортировки.

Задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по

дисциплине, включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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 несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»

	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### Критерий оценивания лабораторной работы

Результаты работы	Оценка
Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, результаты работы представлены преподавателю.	Зачтено
Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, результаты работы не представлены преподавателю).	Не зачтено

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1. Оптимизация программ. Цели, задачи, принципы, критерии, правила, примеры.	ПК-5
2. Основные критерии оптимизации программ. Взаимодействие критериев.	ПК-5
3. Понятие бенчмарка. Выбор бенчмарка. Требования к бенчмарку. Методика измерения времени при проведении серии экспериментов для оценивания производительности.	ПК-5
4. Виды оптимизации программ. Примеры.	ПК-5
5. Элементы теории сложности. Оценки сложности. Примеры.	ПК-5
6. Алгоритмическая оптимизация на примере одного из классических разделов курса «Алгоритмы и структуры данных» по выбору студента.	ПК-5
7. Архитектурные механизмы, влияющие на производительность.	ПК-5
8. Программная оптимизация. Примеры.	ПК-12

9. Оптимизация вычислений с плавающей запятой. Использование математических функций. Вопросы точности и производительности.	ПК-12
10. Оптимизация производительности в параллельных программах. Особенности оптимизации, связь с эффективностью масштабируемости.	ПК-12
11. Использование оптимизирующих компиляторов. Управление современными оптимизирующими компиляторами на примере Intel C/C++ Compiler.	ПК-12
12. Использование специализированных высокопроизводительных библиотек на примере Intel Math Kernel Library. Пример (по выбору студента).	ПК-12
13. Оптимизация вычислений в задаче матричного умножения.	ПК-12
14. Современные метрики для оценивания производительности. Roofline-модель.	ПК-12

### 5.2.2. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-5

*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).

### 5.2.3. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-12

*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 С или С++. 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).

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

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>.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: И.Б. Мееров

Заведующий кафедрой Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.