

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Параллельные численные методы

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

09.04.04 - Программная инженерия

---

Направленность образовательной программы

Технологии цифровой трансформации

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.01 Параллельные численные методы 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: Владеет методами организационного и технологического обеспечения проектирования и дизайна ИС	ПК-11.1: Знать инструменты и методы проектирования и дизайна ИС ПК-11.2: Уметь проводить обеспечение соответствия проектирования и дизайна ИС принятым в организации или проекте стандартам и технологиям ПК-11.3: Иметь практический опыт верификации структуры программного кода ИС	ПК-11.1: Знает инструменты и методы проектирования и дизайна ИС  ПК-11.2: Умеет проводить обеспечение соответствия проектирования и дизайна ИС принятым в организации или проекте стандартам и технологиям  ПК-11.3: Имеет практический опыт верификации структуры программного кода ИС	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>6</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>114</b>

<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</b>
---------------------------------	-----------------------------

### 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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение в технологии параллельного программирования в системах с общей памятью	22	4	4	8	14
Элементы компьютерной арифметики	29	4	5	9	20
Прямые методы решения СЛАУ	32	6	6	12	20
Итерационные методы решения СЛАУ	32	6	6	12	20
Методы решения дифференциальных уравнений в частных производных	32	6	6	12	20
Параллельные методы Монте-Карло	31	6	5	11	20
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	216	32	32	66	114

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение в технологии параллельного программирования в системах с общей памятью
2. Элементы компьютерной арифметики
3. Прямые методы решения СЛАУ
4. Итерационные методы решения СЛАУ
5. Методы решения дифференциальных уравнений в частных производных
6. Параллельные методы Монте-Карло

#### 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:

- электронный курс "Параллельные численные методы" (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6131>).

## 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 - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Метод встречной прогонки:
  1. плохо параллелится, ускорение отсутствует
  2. + хорошо параллелится для любых задач.
  3. хорошо параллелится, но только в случае задач небольшого размера.
2. Какой из трех вариантов LU-разложения (по столбцу, по строке, компактная схема) более предпочтителен при реализации (матрица хранится по строкам)?
  1. +По столбцу, так как при вычислении j-го столбца используются все элементы строк от j-й до n-й, а доступ к строке матрицы в языке C организован эффективно.
  2. По строке, так как при вычислении i-й строки используются все элементы столбцов от 1-го до i-го, а доступ к столбцу матрицы в языке C организован эффективно.
  3. Компактная схема, так как она обладает меньше трудоемкостью.
3. Как соотносятся погрешности метода Гаусса без выбора ведущего элемента и метода Гаусса с выбором ведущего элемента по столбцу?
  1. Погрешности одинаковые и сопоставимы с ошибкой округления
  2. Погрешность обычного метода Гаусса меньше, чем метода с выбором ведущего элемента
  3. +Погрешность метода Гаусса с выбором ведущего элемента меньше, чем обычного метода.
4. Как соотносятся погрешности метода Гаусса без выбора ведущего элемента и метода Гаусса с выбором ведущего элемента по столбцу и по строке?
  1. Погрешности одинаковые и сопоставимы с ошибкой округления
  2. Погрешность обычного метода Гаусса меньше, чем метода с выбором ведущего элемента
  3. +Погрешность метода Гаусса с выбором ведущего элемента меньше, чем обычного метода.
5. Будет ли блочный алгоритм LU-разложения эффективнее обычного алгоритма?
  1. Нет, в силу одинаковой трудоемкости методы одинаково эффективны
  2. Нет, обычный алгоритм эффективнее в силу меньшей трудоемкости
  3. Да, блочный алгоритм эффективнее в силу меньшей трудоемкости
  4. +Да, блочный алгоритм эффективнее при одинаковой трудоемкости в силу правильного использования кэш-памяти.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	как минимум 80% правильных ответов в тесте
не зачтено	менее 80% правильных ответов в тесте

### 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 задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<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 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 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
	<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»
<b>не зачтено</b>	<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-11

1. Реализация основных матричных операций (умножение матрицы на вектор и матрицы на матрицу) в случае плотных матриц. Проблемы эффективного использования памяти. Распараллеливание матричных алгоритмов.
2. Метод исключения Гаусса, оценка его трудоемкости, подходы к распараллеливанию. Связь метода Гаусса и LU-разложения. Эффективное использование памяти. Блочное LU-разложение.
3. Метод прогонки, последовательный вариант. Оценка трудоемкости метода. Параллельная встречная прогонка. Параллельная блочная прогонка в  $p$  потоков.
4. Метод циклической редукции, последовательный вариант. Оценка трудоемкости метода. Параллельный метод редукции.
5. Решение систем линейных уравнений с симметричной положительно определенной матрицей методом Холецкого. Оценка трудоемкости метода, подходы к его распараллеливанию. Эффективное использование памяти. Блочное LLT-разложение.
6. Структура данных для хранения разреженных матриц. (Координатный формат, разреженный строчный формат). Реализация типовых алгоритмов для разреженных матриц (произведение матрицы на вектор, матричное произведение, транспонирование).
7. Структура данных для хранения разреженных матриц. (Координатный формат, разреженный строчный формат). Решение системы линейных уравнений с симметричной положительно определенной разреженной матрицей: использование разложения Холецкого, проблемы его эффективной реализации. Переупорядочивание матрицы методом минимальной степени. Переупорядочивание матрицы методом вложенных сечений. Распараллеливание алгоритма с учетом дерева исключения.
8. Решение уравнения колебаний (дифференциальное уравнение в частных производных 2-го порядка гиперболического типа) методом конечных разностей. Параллельная реализация метода: особенности использования для общей и разделяемой памяти.

9. Решение уравнения теплопроводности (дифференциальное уравнение в частных производных 2-го порядка параболического типа) методом конечных разностей. Явная разностная схема, схема Кранка-Николсона. Параллельная реализация метода.
10. Решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона с использованием метода верхней релаксации. Распараллеливание метода, волновая схема вычислений.
11. Базовые итерационные методы линейной алгебры: простой итерации, Якоби, Зейделя, верхней релаксации. Распараллеливание методов. Связь с предобуславливанием.
12. Предобуславливание систем линейных уравнений. Предобуславливатели, основанные на базовых итерационных методах. Предобуславливатели, основанные на неполном LU-разложении (ILU(0), ILU(p), ILU(t) предобуславливатели).
13. Численное решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения, семейство методов Рунге-Кутты. Параллельное решение систем линейных дифференциальных уравнений; применение методов 1-го, 2-го и 4-го порядков. Конвейеризация при решении разреженных систем.
14. Решение задач вычислительной математики методом Монте-Карло. Генерация псевдослучайных чисел, примеры генераторов. Параллельная генерация псевдослучайных чисел, метод с перешагиванием, метод разделения последовательности (на примере линейного конгруэнтного генератора).

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

Оценка	Критерии оценивания
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»
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»

## 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.
5. Гергель Виктор Павлович. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям ВПО 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундам. информатика и информ. технологии" / Б-ка ННГУ. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 2010. - 544 с. : ил. - (Суперкомпьютерное образование). - На обл. кн.: Суперкомпьютерный консорциум университетов России. - ISBN 978-5-211-05937-5 : 220.00., 49 экз.
6. Белов Сергей Александрович. Численные методы линейной алгебры : лабораторный практикум / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2005. - 264 с. - (Направление подготовки "Информационные технологии"). - ISBN 5-85746-837-X : 35.00., 102 экз.
7. Бахвалов Н. С. Численные методы : учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. вузов / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2003. - 632 с. : ил. - (Технический университет). - ISBN 5-94774-060-5 : 165.00., 45 экз.
8. Самарский Александр Андреевич. Численные методы : [учеб. пособие для вузов по специальности "Прикладная математика"]. - М. : Наука, 1989. - 429, [1] с. : ил. - ISBN 5-02-013996-3 (в пер.) : 1.20., 44 экз.

### Дополнительная 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>.

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



Бояршинов Б.С. Численные методы, курс лекций – <http://www.intuit.ru/studies/courses/2317/617/info>

Лобанов А.И. Численные методы решения уравнений в частных производных, курс лекций – <http://www.intuit.ru/studies/courses/1181/374/info>

Гергель В.П. Введение в методы параллельного программирования, курс лекций – <http://www.intuit.ru/studies/courses/1021/284/info>

Якобовский М.В. Введение в параллельные алгоритмы, курс лекций – <http://www.intuit.ru/studies/courses/1022/296/info>

## **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 09.04.04 - Программная инженерия.

Автор(ы): Баркалов Константин Александрович, доктор технических наук, доцент.

Рецензент(ы): Старостин Николай Владимирович, доктор технических наук.

Заведующий кафедрой: Баркалов Константин Александрович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.