

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 № 11 от 25.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы вычислений

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

02.04.01 - Математика и компьютерные науки

Направленность образовательной программы

Математика и компьютерные науки

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.05 Методы вычислений относится к обязательной части 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
ОПК-3: Способен самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов, в том числе отечественного производства	ОПК-3.1: Обладает фундаментальными знаниями в области прикладного программирования и информационных технологий ОПК-3.2: Умеет использовать их в профессиональной деятельности ОПК-3.3: Имеет практический опыт применения программных средств, используемых при построении математических моделей в естественных науках	ОПК-3.1: Знать: -методику разработки параллельных программ для систем с распределенной памятью, анализа их эффективности и подходы к ее повышению; -основные модели параллельных вычислений; - способы организации независимых потоков случайных чисел для нужд параллельных вычислений. ОПК-3.2: Уметь: -применять на практике технологию MPI для разработки параллельных программ. -проводить анализ трудоемкости параллельных алгоритмов; -моделировать случайные величины и векторы с заданным законом распределения; -разрабатывать имитационные алгоритмы и производить статистический анализ результатов моделирования. ОПК-3.3: Владеть:	Тест Задачи Собеседование Отчет по лабораторным работам	Зачёт: Контрольные вопросы Экзамен: Контрольные вопросы

		-навыками настройки IDE Microsoft Visual Studio для разработки MPI-программ, конфигурирования системного окружения для запуска MPI-программ, использования библиотеки MPI; -владеть навыками разработки и использования программного обеспечения с использованием параллельных алгоритмов.		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	9
Часов по учебному плану	324
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	48
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	48
- КСР	3
самостоятельная работа	189
Промежуточная аттестация	36 Экзамен, 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	
	о ф	о ф	о ф	о ф	о ф
1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных	9	1		1	8
2. Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности	9	1		1	8
3. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем	10	2		2	8

с общей и распределенной памятью					
4. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»	10	2		2	8
5. Анализ модели вычислений: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания, выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов. Агрегация модели вычислений	10	2		2	8
6. Принципы организации параллелизма с использованием MPI	13	2	3	5	8
7. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции	15	2	4	6	9
8. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных. Организация асинхронной схемы вычислений	16	2	5	7	9
9. Типы данных MPI. Виртуальные топологии	15	2	4	6	9
10. Модели параллельных вычислений	27	4	4	8	19
11. Методы генерации независимых потоков равномерно распределенных случайных величин	31	6	6	12	19
12. Генерация величин с произвольным законом распределения	31	6	6	12	19
13. Параллельные вычисления в задаче о вычислении многомерного интеграла методом Монте-Карло	27	4	4	8	19
14. Имитационное моделирование стохастических систем.	35	8	8	16	19
15. Статистический анализ результатов моделирования	27	4	4	8	19
Аттестация	36				
КСР	3			3	
Итого	324	48	48	99	189

Содержание разделов и тем дисциплины

1 семестр

1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных
2. Обзор современных параллельных вычислительных систем. Классификация и оценка производительности
3. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью
4. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды»
5. Анализ модели вычислений: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания, выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов. Агрегация модели вычислений
6. Принципы организации параллелизма с использованием MPI
7. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции
8. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных. Организация асинхронной схемы вычислений
9. Типы данных MPI. Виртуальные топологии

2 семестр

1. Модели параллельных вычислений
2. Методы генерации независимых потоков равномерно распределенных случайных величин
3. Генерация величин с произвольным законом распределения
4. Параллельные вычисления в задаче о вычислении многомерного интеграла методом Монте-Карло

5. Имитационное моделирование стохастических систем.
6. Статистический анализ результатов моделирования

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.

Самостоятельная работа в первом семестре обучения заключается в изучении учебной литературы и выполнении лабораторных работ, а во втором - в чтении конспектов лекций, литературы из списка основной литературы и решения домашних заданий. По ходу выполнения самостоятельной работы возможны консультации с преподавателем посредством электронной почты и социальных сетей.

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 ОПК-3:

Ускорение параллельных вычислений – это:

- отношение времени последовательного алгоритма ко времени параллельного решения задачи (+)
- отношение времени последовательного алгоритма ко времени параллельного решения задачи при использовании максимально возможного количества процессоров
- отношение времени параллельного алгоритма ко времени последовательного решения задачи.

Отметьте верные утверждения:

- вызов `MPI_Comm_rank(&ProcRank)` определяет ранг (номер) вызвавшего процесса
- (+) вызов `MPI_Comm_rank(&ProcRank, MPI_COMM_WORLD)` определяет ранг (номер) вызвавшего процесса
- вызов `MPI_Comm_size(&ProcNum)` определяет общее число запущенных параллельных процессов приложения
- (+) вызов `MPI_Comm_size(&ProcNum, MPI_COMM_WORLD)` определяет общее число запущенных параллельных процессов приложения

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

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

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

Задача 1. Напишите программу с использованием технологии OpenMP для приближенного интегрирования функции $f(x) = x^2 \times \sin(x)$ по отрезку $[0, p]$. Сравните достигаемую точность при одинаковом объеме выборки и разных способах разбиения интегрируемой функции.

Задача 2. Сгенерируйте 100 членов последовательности $X_n = \{n \cdot \pi\}$. Постройте гистограмму и выборочную функцию распределения.

Задача 3. Сгенерируйте выборку из 100 значений из биномиального распределения. Постройте частотное распределение и выборочную функцию распределения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

- 1) Как можно оценить выгоду от применения параллельных вычислений для конкретной программы?
- 2) Как разумно распределить вычислительные задания на кластер из разнотипных компьютеров?
- 3) В чем сложность оценки математического ожидания в условиях ограничений по времени?
- 4) Что такое линейный конгруэнтный генератор?
- 5) Приведите пример регенерирующего процесса?
- 6) Какие существуют способы разбиения последовательности псевдослучайных чисел на непересекающиеся интервалы?
- 7) В чем заключается метод моделирования « Δt »?

8) В чем заключается метод моделирования дискретных событий?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

- 1) Умножение плотных матриц. Блочная схема, алгоритм Фокса
- 2) Умножение плотных матриц. DNS-алгоритм

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, результаты работы представлены преподавателю.
не зачтено	Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, 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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовк	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	вследствие отказа обучающегося от ответа		негрубых ошибок	. Допущено несколько негрубых ошибок	. Допущено несколько несущественных ошибок	и. Ошибок нет.	
<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 отдельным и 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. 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 ОПК-3

1. Цели и задачи введения параллельной обработки данных.
2. Принципы построения параллельных вычислительных систем.
3. Классификация современных параллельных вычислительных систем.
4. Оценка производительности современных параллельных вычислительных систем.
5. Понятие многоядерных и многопроцессорных вычислительных систем с общей и распределенной памятью.
6. Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость.
7. Модель вычислений в виде графа «операции-операнды».
8. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: определение времени выполнения параллельного метода, оценка максимально достижимого распараллеливания.
9. Анализ модели вычислений в виде графа «операции-операнды»: выбор вариантов распределения вычислительной нагрузки, методы оценки масштабируемости параллельных алгоритмов.
10. Агрегация модели вычислений в виде графа «операции-операнды».
11. Принципы организации параллелизма с использованием MPI.
12. Передача данных средствами MPI. Операции «точка-точка» и коллективные. Задача редукции.
13. Передача данных средствами MPI. Типы операций передачи/приема. Сбор и рассылка данных.
14. Передача данных средствами MPI. Организация асинхронной схемы вычислений.
15. Типы данных MPI. Виртуальные топологии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Организация параллельных вычислений с помощью OpenMP и MPI.
2. Линейный конгруэнтный генератор и его свойства. Методы векторизации.
3. Генератор Фибоначчи с запаздыванием и его свойства. Использование векторных вычислений
4. Явный обратный конгруэнтный генератор, «вихрь Мерсенна», метод перетасовывания
5. Требования к потокам псевдослучайных чисел и способы их организации
6. Методы генерации типовых дискретных распределений
7. Методы генерации типовых непрерывных распределений
8. Метод цепи Маркова для генерации случайных векторов
9. Геометрический метод и метод математического ожидания для вычисления определенного интеграла. Сравнение их эффективности
10. Способы уменьшения дисперсии при вычислении определенного интеграла методом Монте-Карло
11. Способы распределения вычислительной работы в задаче о приближенном вычислении определенного интеграла
12. Метод черного ящика при имитационном моделировании
13. Метод дискретных событий при имитационном моделировании
14. Метод кибернетической управляющей системы при имитационном моделировании
15. Оценка стационарной характеристики по периодам регенерации
16. Оценка стационарной характеристики с помощью квазистационарного режима
17. Задача об оценке вероятности редкого события

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент дал развернутый ответ на все вопросы и при этом продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент дал развернутый ответ на все вопросы.
очень хорошо	Студент дал ответ на все вопросы, возможно с незначительными недочетами.
хорошо	Студент ответил на большую часть вопросов с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент ответил на большую часть вопросов с существенными недочетами.
неудовлетворительно	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

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

Основная литература:

1. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 2. Технология OpenMP. Технология Clik 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.
2. 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.
3. Гергель Виктор Павлович. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем : учеб. пособие / ННГУ, Центр компьютер. моделирования на Интел-процессор. системах. - Н. Новгород : Изд-во Нижегор. гос. ун-та, 2001. - 176 с. - ISBN 5-85746-602-4 : 25.00., 3 экз.
4. Гергель Виктор Павлович. Теория и практика параллельных вычислений : учеб. пособие. - М. : Интернет-Университет Информационных Технологий : Бином. Лаб. знаний, 2007. - 423 с. : ил., табл. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-9556-0096-3 (ИНТУИТ.РУ) : 287.90., 7 экз.
5. 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.

6. Федоткин Михаил Андреевич. Основы прикладной теории вероятностей и статистики : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Прикладная математика и информатика" и по направлению "Прикладная математика и информатика". - М. : Высшая школа, 2006. - 368 с. : ил. - ISBN 5-06-005328-8 : 215.60., 183 экз.
7. Соболев Илья Меерович. Метод Монте-Карло. - 3-е изд., доп. - М. : Наука, 1978. - 64 с. : ил. - (Популярные лекции по математике. вып. 46). - 0.10., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Параллельные вычисления. Технологии и численные методы : учеб. пособие : в 4 т. Т. 2. Технология OpenMP. Технология Clik Plus. Библиотека Intel ArBB. Библиотека TBW. 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.

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

1. Сайт с ресурсами и документацией для высокопроизводительных вычислений на основе технологии OpenMP <http://www.openmp.org/>
2. Сайт с ресурсами и документацией для высокопроизводительных вычислений на основе технологии MPI <https://www.mpi.org/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 02.04.01 - Математика и компьютерные науки.

Автор(ы): Зорин Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент
Сысоев Александр Владимирович, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Зорин Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук.

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