

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

Высокопроизводительное статистическое моделирование

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Анализ данных в прикладных областях

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.06 Высокопроизводительное статистическое моделирование 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-2: Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1: Знает современные математические методы решения прикладных задач ОПК-2.2: Умеет совершенствовать математические методы решения прикладных задач ОПК-2.3: Имеет навыки создания новых математических методов решения прикладных задач	ОПК-2.1: Знает: 1) основные модели параллельных вычислений 2) способы организации независимых потоков случайных чисел для нужд параллельных вычислений 3) основные приемы построения численных методов Монте-Карло ОПК-2.2: Умеет: 1) разрабатывать и использовать программное обеспечение с использованием параллельных алгоритмов 2) моделировать случайные величины, векторы и случайные процессы с заданным законом распределения, используя современные методы (например, метод цепей Маркова) ОПК-2.3: Имеет навыки: 1) разрабатывать и использовать программное обеспечение с использованием параллельных алгоритмов в области статистических испытаний 2) разработки численных	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы

		методов решения практических задач, учитывающих специфику задачи с точки зрения теории вероятностей и теории случайных процессов, и проведения статистического анализа результатов моделирования		
ПК-3: Способен представлять результаты проведенной работы в области профессиональной деятельности	<p>ПК-3.1: Знает методы подготовки отчетов, статей, докладов, презентаций, публикаций по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-3.2: Умеет оформлять отчеты, статьи, доклады, презентации по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-3.3: Имеет опыт подготовки отчетов, докладов, статей, презентаций по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-3.1: Знает:</p> <p>1) методы проверки качества датчиком псевдослучайных чисел</p> <p>2) способы сравнения эффективности методов статистического моделирования</p> <p>ПК-3.2: Умеет:</p> <p>анализировать результаты статистического моделирования, представлять найденные оценки с учетом доверительных интервалов</p> <p>ПК-3.3: Владеет навыками проведения полного цикла работ по анализу данных от сбора данных до интерпретации полученных результатов и подготовки соответствующих отчетов</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

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

самостоятельная работа	114
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Модели параллельных вычислений	23	4	4	8	15
Методы генерации независимых потоков равномерно распределенных случайных величин	32	6	6	12	20
Генерация величин с произвольным законом распределения	32	6	6	12	20
Параллельные вычисления в задаче о вычислении многомерного интеграла методом Монте-Карло	23	4	4	8	15
Имитационное моделирование стохастических систем.	41	8	8	16	25
Статистический анализ результатов моделирования	27	4	4	8	19
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	216	32	32	66	114

Содержание разделов и тем дисциплины

Модели параллельных вычислений: векторные вычисления, архитектуры с общей и разделенной памятью. Примеры параллельных алгоритмов численного анализа

Методы генерации независимых потоков равномерно распределенных случайных величин: генераторы линейный конгруэнтный, обобщенный Фибоначчи, Вихрь Мерсенна, методы подпоследовательностей, параметризации и непересекающихся периодов.

Генерация величин с произвольным законом распределения: общие и специальные методы генерации типовых дискретных и непрерывных одномерных и многомерных распределений. Конечные цепи Маркова. Метод цепей Маркова, генератор Гиббса, примеры применений.

Параллельные вычисления в задаче о вычислении многомерного интеграла методом Монте-Карло: методы геометрический и математического ожидания, сравнение эффективности, методы уменьшения дисперсии, реализация на архитектурах с общей и разделенной памятью, свойства оценок, учет ограничений на полное время моделирования.

Имитационное моделирование стохастических систем: моделирование случайных процессов, моделирование моменты пересечения уровня винеровским процессом, использование неоднородного пуассоновского процесса для задач теории массового обслуживания и уравнений в частных производных, методы моделирования "черный ящик", дискретно-событийный, нелокальный.

Статистический анализ результатов моделирования: проблемы оценивания по зависимым наблюдениям, применение регенерирующих процессов, оценка вероятности редкого события, моделирования стационарного распределения случайного процесса

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:

Высокопроизводительное статистическое моделирование, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6165>.

Иные учебно-методические материалы:

Самостоятельная работа заключается в чтении литературы из списка основной литературы, решения домашних заданий и подготовке к промежуточной аттестации.

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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

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

Задача 3. Сгенерируйте 100 членов последовательности, порожденной генератором Фибоначчи. Постройте гистограмму и выборочную функцию распределения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина,

Оценка	Критерии оценивания
	сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно»

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-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?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно»

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	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

					ошибок		
<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 некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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-2

1. Способы обеспечения параллелизма
2. Организация параллельных вычислений с помощью OpenMP и MPI.
3. Линейный конгруэнтный генератор и его свойства. Методы векторизации.
4. Генератор Фибоначчи с запаздыванием и его свойства. Использование векторных вычислений
5. Явный обратный конгруэнтный генератор, «вихрь Мерсенна», метод перетасовывания
6. Методы генерации типовых дискретных распределений
7. Методы генерации типовых непрерывных распределений
8. Метод цепи Маркова для генерации случайных векторов
9. Способы распределения вычислительной работы в задаче о приближенном вычислении определенного интеграла
10. Метод черного ящика при имитационном моделировании
11. Метод дискретных событий при имитационном моделировании
12. Метод кибернетической управляющей системы при имитационном моделировании
13. Задача об оценке вероятности редкого события

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

1. Требования к потокам псевдослучайных чисел и способы их организации
2. Геометрический метод и метод математического ожидания для вычисления определенного интеграла. Сравнение их эффективности
3. Способы уменьшения дисперсии при вычислении определенного интеграла методом Монте-Карло
4. Оценка стационарной характеристики по периодам регенерации
5. Оценка стационарной характеристики с помощью квазистационарного режима

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена

Оценка	Критерии оценивания
	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»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

Основная литература:

1. 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.
2. 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.
3. Кнут Д. Э. Искусство программирования : пер. с англ. Т. 2. Получисленные алгоритмы / под ред. Ю. В. Козаченко. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Вильямс, 2000. - 832 с. - ISBN 0-201-89684-2 (англ.) : 335.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Гергель Виктор Павлович. Современные языки и технологии параллельного программирования : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям ВПО 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундам. информатика и информ. технологии. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012. - 402, [7] с. - (Библиотека Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского) (Серия "Суперкомпьютерное образование"). - Библиогр. указ.: с. 394 - 402. - ISBN 978-5-211-06380-8 : 140.00., 40 экз.

2. 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.
3. 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.

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

- программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)
Сайт с ресурсами и документацией для высокопроизводительных вычислений на основе технологии OpenMP <http://www.openmp.org/>
- Сайт с ресурсами и документацией для высокопроизводительных вычислений на основе технологии MPI <https://www.mpich.org/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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): Зорин Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент.

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

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