

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

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

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.04 Высокопроизводительное статистическое моделирование 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-12: Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-12.1: Знает основные методы разработки математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</p> <p>ПК-12.2: Умеет оценивать трудоемкость разработки программных средств для решения задач производственно-технологической деятельности</p> <p>ПК-12.3: Имеет навыки разработки системного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</p>	<p>ПК-12.1: Знать основные модели параллельных вычислений</p> <p>ПК-12.2: Уметь проводить анализ трудоемкости параллельных алгоритмов</p> <p>ПК-12.3: Уметь разрабатывать и использовать программное обеспечение с использованием параллельных алгоритмов</p>	<p>Задания</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>
ПК-5: Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной деятельности	<p>ПК-5.1: Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>ПК-5.2: Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения</p>	<p>ПК-5.1: Знать способы организации независимых потоков случайных чисел для нужд параллельных вычислений</p> <p>ПК-5.2: Уметь моделировать случайные величины и векторы с заданным законом распределения</p>	<p>Задания</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

	задач научной деятельности ПК-5.3: Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности	ПК-5.3: Иметь навыки разработки имитационных алгоритмов и проведения статистического анализа результатов моделирования		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	79
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/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Модели параллельных вычислений	17	4	4	8	9
Методы генерации независимых потоков равномерно распределенных случайных величин	26	6	6	12	14
Генерация величин с произвольным законом распределения	26	6	6	12	14
Параллельные вычисления в задаче о вычислении многомерного интеграла методом Монте-Карло	18	4	4	8	10
Имитационное моделирование стохастических систем.	36	8	8	16	20
Статистический анализ результатов моделирования	20	4	4	8	12
Аттестация	0				

КСР	1			1	
Итого	144	32	32	65	79

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:

- электронный курс "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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

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

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

Задача 1. Сгенерируйте 100 членов последовательности $X_n = \{n \sqrt{3}\}$. Постройте гистограмму и выборочную функцию распределения.

Задача 2. Сгенерируйте выборку из 100 значений из биномиального распределения. Постройте частотное распределение и выборочную функцию распределения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

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»

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

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?

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

1. Что такое линейный конгруэнтный генератор?
2. Приведите пример регенерирующего процесса?
3. Какие существуют способы разбиения последовательности псевдослучайных чисел на непересекающиеся интервалы?
4. В чем заключается метод моделирования « Δt »?
5. В чем заключается метод моделирования дискретных событий?

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 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	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 отдельными 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продемонстрированы навыки при решении нестандарт	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х 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-12

1. Способы обеспечения параллелизма
2. Организация параллельных вычислений с помощью OpenMP и MPI.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-5

1. Линейный конгруэнтный генератор и его свойства. Методы векторизации.
2. Генератор Фибоначчи с запаздыванием и его свойства. Использование векторных вычислений
3. Явный обратный конгруэнтный генератор, «вихрь Мерсенна», метод перетасовывания

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

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»

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 Clik Plus. Библиотека Intel ArBB. Библиотека TBV. 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):

- в) 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 13.12.2023, протокол № 3.