

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "27" апреля 2022 г. №6

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Статистические проблемы имитационного моделирования»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2022 год

## 1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Статистические проблемы имитационного моделирования» относится к числу факультативных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3 году обучения в 5 семестре.

**Цель дисциплины** – знакомство обучающихся с современными высокопроизводительными методами статистического имитационного моделирования.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

### Знать:

- современные математические основания статистического анализа выходных характеристик имитационных стохастических моделей

### Уметь:

- подбирать методы решения и программные инструменты исследовательских и прикладных задач в теории вероятностей, в приложениях теории случайных процессов и прикладного статистического анализа
- использовать методы имитационного моделирования в учебном процессе при преподавании базовых курсов теории вероятностей и математической статистики

### Владеть:

- навыками решения нестандартных прикладных задач теории вероятностей, математической статистики с привлечением информационных технологий

## 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часов, практические занятия – 18 часов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Моделирование случайных величин и векторов с произвольным законом распределения	22	6	0	4	0	10	12
Реализации метода Монте-Карло для параллельных вычислений	38	10	0	12	0	22	16
Моделирование редких событий	12	2	0	2	0	4	8
Промежуточная аттестация: – зачет							
Итого	72	18		18	0	36	36

**Таблица 3****Содержание дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Содержание раздела</b>	<b>Форма проведения занятия</b>	<b>Форма текущего контроля*</b>
1.	Моделирование случайных величин и векторов с произвольным законом распределения	Генераторы псевдослучайных чисел. Методы получения псевдослучайных последовательностей с равномерным распределением для параллельных вычислений. Моделирование случайных векторов методом функциональных преобразований. Моделирование случайных векторов методом цепей Маркова.	лекции, лабораторные работы	собеседование, отчеты по лабораторным работам
2.	Реализации метода Монте-Карло для параллельных вычислений	Вычисление интеграла: точность оценки, методы уменьшения дисперсии, возможные способы распределения вычислительной нагрузки. Имитационное моделирование: метод «черного ящика», метод дискретных событий, метод на основе представления в виде управляющей системы. Статистические оценки на основе циклов регенерации. Способы выделения переходных процессов. Оценивание в квазистационарном режиме	лекции, лабораторные работы	собеседование, отчеты по лабораторным работам
3.	Моделирование редких событий	Постановка задачи. Метод существенной выборки.	лекции, лабораторные работы	собеседование, отчеты по лабораторным работам

**4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

В процессе изучения дисциплины применяются лекционные и семинарские занятия. Применяются следующие виды лекций: 1) лекция-информация (ориентированная на изложение и объяснение научной информации, подлежащей осмыслению и запоминанию); 2) лекция-беседа (предполагающая непосредственное общение со слушателями посредством вопросов информационного, проблемного характера и вопросов для напоминания пройденного материала). Самостоятельная работа реализуется в форме изучения лекций и выполнения домашних заданий. Самостоятельная работа контролируется преподавателем как в ходе аудиторных занятий, так и во время внеаудиторной работы, в том числе посредством консультаций по электронной почте, видеосвязи, в социальных сетях.

**5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине****5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

– уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается

правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);

– умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;

– качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);

- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,

- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

#### ***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета***

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

#### ***5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине***

##### **Вопросы для собеседования**

1. Что такое итерированное стохастическое ядро?
2. Приведите пример минорантного множества для процесса перескоков.
3. При каких условиях процесс авторегрессии первого порядка будет апериодическим?
4. Приведите пример, когда стационарного распределения для цепи Маркова не существует, а инвариантная мера существует.

##### **Лабораторные работы**

**Тема 1.** Работа с датчиками псевдослучайных чисел. Реализация независимых потоков псевдослучайных чисел.

**Задача 1.** Напишите линейный конгруэнтный генератор для одного потока. Сгенерируйте выборку из 100 псевдослучайных чисел.

**Задача 2.** Напишите генератор Фибоначчи для одного потока. Сгенерируйте выборку из 100 псевдослучайных чисел.

**Задача 3.** Напишите линейный конгруэнтный генератор для нескольких потоков. Сгенерируйте выборку из 100 псевдослучайных чисел.

**Тема 2.** Параллелизация вычисления многомерного интеграла методом математического ожидания.

**Задача 1.** Напишите многопоточную реализацию вычисления интеграла

$$\int \dots \int_{\substack{x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \\ x_1 + \dots + x_n \leq 1}} x_1^{p_1-1} \dots x_n^{p_n-1} dx_1 \dots dx_n.$$

Сравните время работы в зависимости от числа потоков, а также размерности задачи  $n$ .

**Тема 3.** Оценка стационарных характеристик систем массового обслуживания методом имитационного моделирования.

**Задание 1.** Реализуйте имитационную модель системы обслуживания М/М/1 методом дискретных событий. Вычислите выборочное среднее время пребывания требований в системе, вероятность простоя прибора. Сравните оценку с теоретическим значением.

**Тема 4.** Моделирование случайных процессов

**Задание 1.** Разработать демонстрационную программу на тему «Центральная предельная теорема в схеме Бернулли» как элемент преподавания курса теории вероятностей и математической статистики для бакалавров математических направлений

**Задание 2.** Разработать демонстрационную программу на тему «Процессы рождения и гибели» как элемент преподавания курса теории вероятностей и математической статистики для бакалавров математических направлений

### Вопросы для собеседования

1. Какие области применения методов Монте-Карло в научно-исследовательской деятельности Вы знаете?

2. Может ли использование параллельных вычислений дать существенный выигрыш во времени при имитационном моделировании?

Вопросы для оценки компетенции «ПК-2»:

1. Что такое линейный конгруэнтный генератор и генератор Фибоначчи?

2. В чем сущность метод разбиения цикла и метод параметризации цикла при получении независимых потоков псевдослучайных чисел?

3. Как можно уменьшать дисперсию оценки математического ожидания?

### Вопросы к зачету:

1. На каких общих принципах основаны генераторы псевдослучайных последовательностей?

2. Какие статистические требования предъявляются к генератору псевдослучайных чисел?

3. Какие требования предъявляются к генераторам потоков псевдослучайных требований для параллельных вычислений?

4. Как оцениваются стационарные характеристики на основе циклов регенерации?

5. Как можно повысить точность вычисления интеграла при параллельных вычислениях?

6. В чем состоит метод существенной выборки при оценке вероятности редкого события?

7. Какие методы имитационного моделирования Вы знаете?

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

##### **а) Основная литература**

1. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Статистическое моделирование. — М.: Наука, 1982. — 296 с. (2 экз)

2. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. — М.: Издательство Московского университета, 2010. — 544 с. (47 экз.)

##### **б) Дополнительная литература**

1. Гергель В. П. Теория и практика параллельных вычислений. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: Бином. Лаб. знаний, 2007. — 423 с. (5 экз).

##### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

- Сайт с ресурсами и документацией для высокопроизводительных вычислений на основе технологии OpenMP <http://www.openmp.org/>
- Компилятор языка Си++ (Visual Studio) с поддержкой технологии OpenMP

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

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - компилятор GCC с языка C++:
  - – либо компилятор из набора GCC, адрес официального сайта <http://gcc.gnu.org>, свободное ПО, лицензия GNU GPL,
  - – либо среда разработки Microsoft Visual Studio, лицензия по подписке Microsoft Imagine
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки

научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Авторы: Зорин Андрей Владимирович, профессор кафедры теории вероятностей и анализа данных Института ИТММ

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии Института /факультета от \_\_\_\_\_ 2022 года, протокол № \_\_\_\_.