

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДЕНО:  
Директор  
А. В. Замятин

Рабочая программа дисциплины

**Статистика случайных процессов**

по направлению подготовки

**01.04.02 Прикладная математика и информатика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Обработка данных, управление и исследование сложных систем**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
Л.А. Нежелская

Председатель УМК  
С.П. Сущенко

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен изучить работу системы и подсистем, выявить требования к функциям системы и подсистем, обрабатывать запросы на изменения к функциям системы и подсистем.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1 Осуществляет декомпозицию системы на подсистемы.

ИПК-1.2 Строит математическую модель системы или подсистемы, вводит целевую функцию системы или подсистемы, строит ограничения, соответствующие требованиям к системе или подсистеме.

ИПК-1.3 Модернизирует математическую модель системы или подсистемы на изменение требований к системе или подсистеме.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

- Освоить аппарат современной теории случайных процессов
- Научиться применять понятийный аппарат теории случайных процессов для построения моделей наблюдений и решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы. Дисциплина входит в модуль Специализация.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Второй семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: теория вероятностей, теория случайных процессов.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Основные понятия теории случайных процессов.

Типы случайных процессов с дискретным и непрерывным временем.

Примеры. Методы моделирования.

Тема 2. Авторегрессионные и обобщенные авторегрессионные модели.

Методы оценивания параметров. Последовательное оценивание.

Тема 3. Скрытые марковские (НММ) модели.

Методы оценивания параметров. EM метод.

Тема 4. Обнаружение изменения характеристик случайных процессов.

Задача о разладке. Методы решения при различных уровнях априорной информации.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольной работы, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки один раз в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

### **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов и задачи. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

### **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете LMS IDO

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

1. Пуассоновский процесс с произвольной функцией интенсивности. Метод моделирования

2. Скалярный процесс авторегрессии  $AR(p)$ . Оценивание авторегрессионных параметров.

3. Представление скалярного процесса  $AR(p)$  в матричной форме. Свойства оценок параметров.

4. Нелинейные авторегрессионные процессы. Процесс ARCH. Оценивание параметров.

5. Последовательное оценивание параметра процесса  $AR(1)$ .

6. Доверительное оценивание параметров процесса TAR(1) в случае гауссовских шумов.

7. Пуассоновский процесс со случайной функцией интенсивности. Процесс MAP(2).

8. EM алгоритм оценивания параметров скрытой марковской модели.

9. Применение EM алгоритма в задаче разделения гауссовских смесей.

10. Обсуждение применения EM алгоритма в задаче оценивания параметров процесса MAP(2).

11. Метод обнаружения момента изменения функции распределения в последовательности независимых случайных величин. CUSUM алгоритм.

12. Последовательный алгоритм обнаружения изменения параметров авторегрессионного процесса.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

Раздел 1. Основные понятия теории случайных процессов.

Понятие случайного процесса. Процессы с дискретным и непрерывным временем. Винеровский процесс. Пуассоновский процесс. Методы моделирования.

Раздел 2. Процессы авторегрессионного типа.

Устойчивые процессы. Оценивание параметров: метод наименьших квадратов (МНК). Свойства оценок, в том числе асимптотические при неограниченном увеличении количества наблюдений.

Нелинейные процессы с условной неоднородностью (ARCH, GARCH, ARARCH, TAR). Свойства процессов.

Последовательное оценивание параметров авторегрессионных процессов, свойства оценок, в том числе при неизвестной дисперсии шумов. Преимущества по сравнению с оценками МНК.

Раздел 3. Скрытые марковские (НММ) модели.

Общая схема. Примеры НММ моделей. Пуассоновский процесс с интенсивностью, являющейся кусочно-постоянным случайным процессом. Методы оценивания параметров. EM метод.

Раздел 4. Обнаружение изменения характеристик случайных процессов.

Задача о разладке. Примеры: обнаружение изменения среднего значения в последовательности независимых случайных величин, обнаружение изменения дисперсии.

Метод обнаружения изменения параметров авторегрессионного процесса.

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

При изучении дисциплины «Статистика случайных процессов» используются следующие виды самостоятельной работы:

- разбор теоретического материала по конспектам лекций;
- самостоятельное изучение теоретических вопросов;
- решение задач по темам практических занятий;
- подготовка и представление докладов на семинарских занятиях;
- подготовка к экзамену.

Для текущего контроля самостоятельной работы студентов предусмотрено проведение коллоквиума по основным разделам дисциплины.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976.
2. Бассвиль, М., Банвенист, А. (Ред.). Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем. Пер. с англ. И.Б. Вильховченко, Г.А. Сидоровой; под ред. И.В. Никифорова. – М.: Мир, 1989. – 278 с.
3. A. P. Dempster, N. M. Laird, and D. B. Rubin. Maximum likelihood from incomplete data via the em algorithm // *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 39(1):1–38, November 1977.
4. Rabiner L.R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition // *Proceedings of the IEEE*. – 1989. – Vol. 77, №2. – Pp. 257- 286.
5. Борисов В.З., Конев В.В. О последовательном оценивании параметров дискретных процессов // *Автоматика и телемеханика*. 1977. № 10. С. 58–64.

б) дополнительная литература:

1. Воробейчиков С.Э., Пупков А.В. О гарантированном оценивании параметров процесса авторегрессии с неизвестной дисперсией шума // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 63. С. 53–61. DOI: 10.17223/19988605/63/7
2. Vorobeychikov S.E., Burkatovskaya Y.B. Non-asymptotic Confidence Estimation of the Autoregressive Parameter in AR(1) Process with an Unknown Noise Variance // Austrian journal of statistics. 2020. Vol. 49, № 4. P. 19-26.
3. Konev V.V., Vorobeychikov S.E. Quickest Detection of Parameter Changes in Stochastic Regression: Nonparametric CUSUM // IEEE Transactions on Information Theory. 2017. Vol. 63, № 9. P. 5588-5602.
4. Yu. Burkatovskaya, S. Vorobeychikov, A. Kudinov, E. Frantczuskaia. Cumulative Sum Algorithms for Automatic Detection of Gas Well Parameter Changes // IFAC-PapersOnline. 2017. Vol. 50, № 1. P. 14614-14619. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317318621>.

в) ресурсы сети Интернет:

- открытые онлайн-курсы
- Журнал «Эксперт» - <http://www.expert.ru>
- Официальный сайт Всемирного банка - [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

## 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате («Актру»).

## 15. Информация о разработчиках

Воробейчиков Сергей Эрикович, д.ф.-м.н., доцент, кафедра системного анализа и математического моделирования, профессор