

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

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор



А. В. Замятин

« 16 » мая 20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

**Оценка состояний дважды стохастических потоков событий**

по направлению подготовки

**01.04.02 Прикладная математика и информатика**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Интеллектуальный анализ больших данных**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.03.03.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А. В. Замятин

Председатель УМК

С. П. Сущенко

Томск – 2022

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 – способность разрабатывать и применять математические методы, алгоритмы, программное обеспечение для решения задач научно-исследовательской и проектной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.2 Применяет существующие математические методы, алгоритмы и программное обеспечение для решения задач в области профессиональной деятельности.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Ознакомить студентов с различными моделями дважды стохастических потоков событий, которые являются адекватными математическими моделями реальных информационных потоков в телекоммуникационных системах и сетях связи, как правило, функционирующих в условиях частичной либо полной априорной неопределённости; научить решать задачи оценки состояний информационных потоков, математическими моделями которых являются дважды стохастические потоки событий, в телекоммуникационных системах; обучить студентов основным аналитическим методам оценки состояний дважды стохастических потоков событий, а также привить навыки пользования этими методами при решении актуальных задач фундаментальной и прикладной математики.

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в минор «Введение в исследование стохастических систем».

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

Третий семестр, зачет

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

Для освоения дисциплины необходимо знать математический анализ, линейную алгебру и аналитическую геометрию, дифференциальное и интегральное исчисление, теорию случайных процессов, математическую статистику и методы оптимизации. Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Математические методы и модели для компьютерных наук».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

### **Раздел 1. Классификация дважды стохастических потоков событий**

- 1.1. Введение. Простейший поток. Об истории возникновения дважды стохастических потоков событий.
- 1.2. МАР-поток событий (МС-поток). Марковость процесса  $\lambda(t)$ ; функция распределения длительности пребывания  $\lambda(t)$  в  $i$ -м состоянии. Реализация процесса  $\lambda(t)$ .
- 1.3. Построение матрицы инфинитези-мальных характеристик процесса  $\lambda(t)$ . О физическом смысле инфинитезимальных характеристик.
- 1.4. Синхронный поток событий. Определение потока. Матрица инфинитезимальных характеристик процесса  $\lambda(t)$ . Марковские свойства процесса  $\lambda(t)$  и его реализация.
- 1.5. Асинхронный поток событий (ММРР-поток), обобщённый асинхронный поток. Определение, марковость процесса  $\lambda(t)$ , матрицы инфините-зимальных характеристик.
- 1.6. Полусинхронный поток событий. Обобщённый полусинхронный поток. Марковость процесса  $\lambda(t)$  для обоих потоков. Матрицы инфинитезималь-ных характеристик процесса  $\lambda(t)$ .
- 1.7. Модулированный поток событий и его свойства. Определение МАР1-и МАР2-потоков.
- 1.8. Синхронная суперпозиция МАР1-и МАР2-потоков.

## **Раздел 2. Оценивание МАР-потока событий в условиях полной наблюдаемости потока**

- 2.1. Вывод рекуррентного соотношения для апостериорных вероятностей.
- 2.2. Вывод формулы пересчёта в случае  $r_{m+1} = 1$ .
- 2.3. Вывод дифференциального уравнения Риккати в случае  $r_{m+1} = 0$ .
- 2.4. Интегрирование уравнения Риккати. Явный вид апостериорных вероятностей.
- 2.5. Исследование поведения функции апостериорной вероятности.
2. 6. Нахождение явного вида априорных вероятностей состояний. Алгоритм оптимального оценивания состояний.

## **Раздел 3. Оптимальное оценивание состояний МАР-потока событий при неполной наблюдаемости потока – при непродлеваемом мёртвом времени**

- 3.1. Нахождение явных выражений для апостериорных вероятностей состо-яний на интервале ненаблюдаемости потока.
- 3.2. Алгоритм оптимального оценивания в условиях мёртвого времени.

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем проверки выполнения домашних заданий по темам лекций и проведения коллоквиума по первому разделу дисциплины.

#### **Типовые задания для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

Задание 1.

Математическая модель дважды стохастического асинхронного потока событий (ММРР-поток).

Задание 2.

Математическая модель дважды стохастического синхронного потока событий.

Задание 3.

Математическая модель дважды стохастического синхронного потока событий.

Задание 4.

Математическая модель дважды стохастического МАР- потока событий.

#### **Темы опросов на занятиях:**

1. Основные требования, предъявляемые к моделям дважды стохастических потоков событий.
2. Математическая адекватность моделей дважды стохастических потоков событий.

3. Характеристики математических моделей дважды стохастических потоков событий.
4. Этапы построения математических моделей дважды стохастических потоков событий.

**Вопросы на собеседование:**

1. Математическая модель дважды стохастического асинхронного потока событий (ММРР-поток).
2. Математическая модель дважды стохастического синхронного потока событий.
3. Математическая модель дважды стохастического синхронного потока событий.
4. Математическая модель дважды стохастического МАР- потока событий.

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

Промежуточная аттестация осуществляется в письменном виде при условии успешной сдачи коллоквиума.

**Вопросы к экзамену:**

1. Почему поток событий называется асинхронным?
2. Почему поток событий называется синхронным?
3. Можно ли полусинхронный поток назвать полусинхронным?
4. Какой поток является частным случаем МАР-потока?
5. В чём отличие обобщённого асинхронного потока событий от асинхронного потока?
6. Назвать отличие обобщённого полусинхронного потока событий от полусинхронного потока.
7. По какой причине представленные в главах 1 и 3 потоки относятся к классу дважды стохастических потоков?
8. Почему все рассмотренные потоки событий являются коррелированными?
9. Каким свойством должны обладать перечисленные выше потоки, чтобы стать некоррелированными?
10. Дать физическую интерпретацию инфинитезимальных характеристик сопровождающего случайного процесса.
11. Каким отличительным свойством обладает апостериорная вероятность?
12. Почему оценивание состояний потока по критерию максимума апостериорной вероятности является оптимальным?
13. Назовите условие применимости методики Стратонович-Хазен для вывода рекуррентного соотношения, определяющего распределение апостериорных вероятностей для значений ненаблюдаемых компонент случайного процесса при условии известных значений наблюдаемых его компонент.
14. Вывести рекуррентное соотношение для апостериорных вероятностей состояний дважды стохастического потока событий с произвольным числом состояний.
15. Дать физическую интерпретацию того факта, что апостериорная вероятность для всех рассматриваемых потоков является разрывной функцией времени.
16. При выполнении какого условия поведение апостериорной вероятности первого состояния синхронного потока не зависит от предыстории? Дать физическую интерпретацию этого явления.
17. Какое условие обеспечивает независимость от предыстории поведения апостериорной вероятности первого состояния сопровождающего случайного процесса для полусинхронного потока? Дать физическую интерпретацию этого явления.
18. Какие условия обеспечивают независимость от предыстории (в общем и особом случаях задания параметров потока) поведения апостериорной вероятности первого

состояния сопровождающего процесса для MAP-потока? Дать физическую интерпретацию этого явления.

19. Чем отличаются друг от друга понятия непродлевающееся мёртвое время и продлевающееся мёртвое время? Пояснить на временной диаграмме.
20. Изменяются ли условия пунктов 16–18 для синхронного, полусинхронного и MAP-потоков событий, функционирующих в условиях непродлевающегося мёртвого времени?
21. Каким образом ведёт себя среднее количество потерянных событий исходного потока в зависимости от длительности мёртвого времени?
22. При каком типе мёртвого времени (продлевающееся, непродлевающееся), имеющего фиксированную длительность, потери событий исходного потока окажутся в среднем большими?
23. Для какого потока — асинхронного или обобщённого асинхронного, функционирующего в условиях непродлевающегося мёртвого времени, потери событий исходного потока будут в среднем большими?
24. Для какого потока — полусинхронного или обобщённого полусинхронного, функционирующего в условиях непродлевающегося мёртвого времени, потери событий исходного потока в среднем будут большими?
25. Возможно ли получить аналитическую формулу для вероятности ошибки принятия решения о состояниях коррелированных потоков? Каким образом поступать в случае отрицательного ответа?
26. С какой целью осуществляется имитационное моделирование дважды стохастических потоков событий, функционирующих как в условиях полной наблюдаемости, так и при наличии непродлевающегося мёртвого времени?

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

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle»
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

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

- а) основная литература:
  - Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. Теория массового обслуживания. – М.: Либроком, 2012.
  - Рыков В.В., Козырев Д.В. Основы теории массового обслуживания. – М.: ИНФРА-М, 2016.
  - Вишневский В.М., Дудин А.Н., Клименок В.И. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018.
  - А.А. Калягин, Л.А. Нежелская. Сравнение МП- и ММ-оценок длительности мёртвого времени обобщённом полусинхронном потоке событий. – Вестник Томско-го государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика., 2015.
  - L.A. Nezhelskaya. Estimation of the unextendable dead time period in a flow of physical events by the method of maximum likelihood. – Russian Physics Journal, 2016.
  - L. Nezhelskaya, E. Sidorova. Optimal Estimation of the States of Synchronous Generalized Flow of Events of the Second Order Under Its Complete Observability. – Communications in Computer and Information Science, 2018.
  - L. Nezhelskaya. Optimal state estimation in modulated MAP event flows with unextendable dead time. – Communications in Computer and Information Science, 2014.
  - А.М. Горцев, Л.А. Нежелская. Оптимальная нелинейная фильтрация марковского потока событий с переключениями. – Техника средств связи. Серия: Системы связи, 1989.

### **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 On-eNote, 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:

- <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000398231>
- <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000447511/000447511.pdf>
- <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000563429>
- <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000528146>
- <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000481043>

### **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.

### **15. Информация о разработчиках**

Нежелская Людмила Алексеевна, доктор физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики НИ ТГУ.