

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

**Оценка состояний дважды стохастических потоков событий**

по направлению подготовки

**02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Системная инженерия и управление IT-проектами**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
А.Н. Моисеев

Председатель УМК  
С.П. Сущенко

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-3 Способен осуществлять научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки как при исследовании самостоятельных тем, так и при исследовании по тематике организации.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-3.2 Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат оценки состояний дважды стохастических потоков событий и привить навыки пользования этими методами при решении актуальных задач фундаментальной и прикладной математики.

– Научиться применять понятийный аппарат теории дважды стохастических потоков событий для решения практических задач профессиональной деятельности.

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

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Введение в исследование сложных систем.

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

Третий семестр, зачет

## **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: «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятностей и случайные процессы», «Математическая статистика», «Методы оптимизации».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

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

- лекции: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Различные математические модели дважды стохастических потоков событий

Даётся введение в дисциплину. Простейший поток. Об истории возникновения дважды стохастических потоков событий. МАР-поток событий (МС-поток). Марковость процесса  $\lambda(t)$ ; функция распределения длительности пребывания  $\lambda(t)$  в  $i$ -м состоянии.

Реализация процесса  $\lambda(t)$ . Построение матрицы инфинитезимальных характеристик процесса  $\lambda(t)$ . О физическом смысле инфинитезимальных характеристик. Синхронный поток событий. Определение потока. Матрица инфинитезимальных характеристик процесса  $\lambda(t)$ . Марковские свойства процесса  $\lambda(t)$  и его реализация. Асинхронный поток событий (ММРР-поток), обобщённый асинхронный поток. Определение, марковость процесса  $\lambda(t)$ , матрицы инфинитезимальных характеристик. Полусинхронный поток событий. Обобщённый полусинхронный поток. Марковость процесса  $\lambda(t)$  для обоих потоков. Матрицы инфинитезимальных характеристик процесса  $\lambda(t)$ . Модулированный МАР-поток событий и его свойства.

Тема 2. Оптимальное оценивание состояний дважды стохастических потоков событий при полной наблюдаемости потоков

Вывод рекуррентного соотношения для апостериорных вероятностей состояний. Оптимальная оценка состояний асинхронного потока по наблюдениям за потоком событий. Вывод дифференциального уравнения Риккати для апостериорных вероятностей состояний. Интегрирование уравнения Риккати. Явный вид апостериорных вероятностей. Вывод формулы пересчёта. Исследование поведения функции апостериорной вероятности. Алгоритм принятия решения о состоянии потока. Оптимальное оценивание состояний МАР-потока событий. Уравнение Риккати для апостериорных вероятностей. Апостериорная вероятность как функция времени в общем и особом случаях задания параметров потока. Формула пересчёта. Алгоритм вынесения решения о состоянии потока и численные результаты оценивания.

Тема 3. Оптимальное оценивание состояний дважды стохастических потоков событий при наличии непродлевающегося мёртвого времени

Условия неполной наблюдаемости за дважды стохастическими потоками событий. Оптимальная оценка состояний МАР-потока событий, функционирующего в условиях непродлевающегося мёртвого времени, по моментам наблюдения за потоком. Исходные предпосылки для вывода апостериорной вероятности. Апостериорная вероятность на участках ненаблюдаемости потока. Поведение апостериорной вероятности как функции времени в общем и особом случаях задания параметров потока. Алгоритм оптимального оценивания состояния МАР-потока событий при непродлевающемся мёртвом времени. Численные результаты оптимального оценивания.

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, контроля выполнения домашних заданий, проведения контрольных работ и фиксации результатов не менее одного раза в семестр, проведения коллоквиума по лекционному материалу.

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**

**Зачет в третьем семестре** проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит 2 теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1 час.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Почему поток событий называется асинхронным?
2. Почему поток событий называется синхронным?
3. Можно ли полусинхронный поток назвать полуасинхронным?

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. Почему все рассмотренные потоки событий являются коррелированными?
8. Каким свойством должны обладать перечисленные выше потоки, чтобы стать некоррелированными?
9. Дать физическую интерпретацию инфинитезимальных характеристик сопровождающего случайного процесса.
10. Каким отличительным свойством обладает апостериорная вероятность?
11. Почему оценивание состояний потока по критерию максимума апостериорной вероятности является оптимальным?
12. Вывести рекуррентное соотношение для апостериорных вероятностей состояний дважды стохастического потока событий с произвольным числом состояний.
13. Дать физическую интерпретацию того факта, что апостериорная вероятность для всех рассматриваемых потоков является разрывной функцией времени.
14. При выполнении какого условия поведение апостериорной вероятности первого состояния синхронного потока не зависит от предыстории? Дать физическую интерпретацию этого явления.
15. Чем отличаются друг от друга понятия непродлевающееся мёртвое время и продлевающееся мёртвое время? Пояснить на временной диаграмме.
16. Каким образом ведёт себя среднее количество потерянных событий исходного потока в зависимости от длительности мёртвого времени?
17. При каком типе мёртвого времени (продлевающееся, непродлевающееся), имеющего фиксированную длительность, потери событий исходного потока окажутся в среднем большими?
18. Для какого потока — асинхронного или обобщённого асинхронного, функционирующего в условиях непродлевающегося мёртвого времени, потери событий исходного потока будут в среднем большими?
19. Для какого потока — полусинхронного или обобщённого полусинхронного, функционирующего в условиях непродлевающегося мёртвого времени, потери событий исходного потока в среднем будут большими?
20. С какой целью осуществляется имитационное моделирование дважды стохастических потоков событий, функционирующих как в условиях полной наблюдаемости, так и при наличии непродлевающегося мёртвого времени?

Пропуски занятий, несданный или неудовлетворительно написанный коллоквиум по лекционному материалу, написанная на «неудовлетворительно» контрольная работа влекут за собой необходимость ликвидации перечисленных задолженностей для получения допуска к зачёту.

Результаты зачёта определяются оценками «зачтено», «не зачтено» в соответствии с приведённой ниже таблицей.

| Не зачтено                                    | Не зачтено                                    | Зачтено                                                          |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Нет ответа ни на один из двух вопросов билета | Имеется ответ на один из двух вопросов билета | Имеются полные с доказательствами ответы на оба вопроса в билете |

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 «Moodle» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=9067>

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

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Ивченко Г.И. Теория массового обслуживания / Г.И. Ивченко [и др.]. – М.: Наука, 1973. – 190 с.

– Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. – М.: Физматгиз, 1963. – 236 с.

– Хазен Э.М. Методы оптимальных статистических решений и задачи оптимального управления. – М.: Советское радио, 1968. – 256 с.

– Вишневский В.М. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях / В.М. Вишневский [и др.]. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 564 с.

– Горцев А.М., Оптимальная нелинейная фильтрация марковского потока событий с переключениями / А.М. Горцев, Л.А. Нежелская // Техника средств связи. Серия: Системы связи. – 1989. – Вып. 7. – С. 46–54.

– Горцев А.М. Асинхронный дважды стохастический поток с инициированием лишних событий / А.М. Горцев, Л.А. Нежелская // Дискретная математика. – 2011. – Т. 23. Вып. 2. – С. 59–65.

– Gortsev A.M. Optimal state estimation in MAP event flows with unextendable dead time / A.M. Gortsev, L.A. Nezhel'skaya, A.A. Solov'ev // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73, is. 8. – P. 1316–1326.

– Нежелская Л.А. Оценка состояний дважды стохастических потоков событий: учеб. пособие. – Томск: Издательство Томского государственного университета, 2020. – 210 с.

б) дополнительная литература:

– Нежелская Л.А. Оптимальная оценка состояний обобщенного МАР-потока событий с произвольным числом состояний / Л.А. Нежелская, А.В. Кеба // Автоматика и телемеханика. – 2021. – № 5. – С. 68–85.

– Горцев А.М. Полусинхронный дважды стохастический поток при продлеваемом мёртвом времени / А.М. Горцев, Л.А. Нежелская // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13. № 1. – С. 31–41.

– Апанасович В.В. Статистический анализ случайных потоков в физическом эксперименте / В.В. Апанасович [и др.]. – Минск: Университетское, 1988. – 256 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] / Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ: [сайт]. – [Томск]. – URL:

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000398231>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] / Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ: [сайт]. – [Томск]. – URL:

<http://sun.tsu.ru/limit/2016/000447511/000447511.pdf>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] / Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ: [сайт]. – [Томск]. – URL:

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000563429>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] / Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ: [сайт]. – [Томск]. – URL:

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000528146>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] / Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ: [сайт]. – [Томск]. – URL:

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000481043>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint

– 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/>

### **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**

Нежелская Людмила Алексеевна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики НИ ТГУ.