

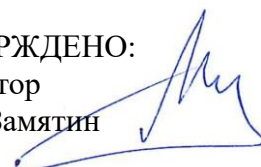
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДЕНО:

Директор

А. В. Замятин



Рабочая программа дисциплины

**Моделирование сетей связи 6G терагерцового диапазона частот**

по направлению подготовки

**02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии**

Направленность (профиль) подготовки:

**Математика беспроводных сетей связи и интернета вещей**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

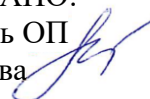
Год приема

**2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

С.П. Моисеева



Председатель УМК

С.П. Сущенко



Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен осуществлять научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки как при исследовании самостоятельных тем, так и разработки по тематике организации.

ПК-3 Способен производить анализ особенностей функционирования инфокоммуникационных систем и предоставляемых на их основе услуг, оценивать качество предоставляемых услуг и формировать требования к показателям функционирования сервисов ИС в соответствии с запросами и отраслевыми нормами.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.2 Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений

ИПК-3.2 Оценивает значимость параметров и показателей, характеризующих потребительские свойства услуг, предоставляемых инфокоммуникационной системой

ИПК-3.3 Определяет показатели качества функционирования инфокоммуникационных систем на основе построенных математических и имитационных моделей

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Научиться строить математические модели сценариев обслуживания абонентов на базовой станции.

– Овладеть навыками параметризации математических моделей исходя из сценариев обслуживания абонентов.

– Знать метрики для оценки качества обслуживания абонентов.

– Овладеть навыками оценки, анализа и интерпретации полученных результатов.

## **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 Введение в специализацию.

## **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 массового обслуживания», «Полумарковские процессы и специальные потоки событий».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

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

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Методы повышения надежности обслуживания в 5G.

Борьба с блокировками в сетях 5G NR. Механизмы мультисвязности и резервирования ресурсов.

Тема 2. Сети связи 6G.

Проблемы терагерцового диапазона частот. Новые возможности терагерцового диапазона частот. Микромобильность. Безопасность. Детектирование блокировок. Детектирование приложений.

Тема 3. Новые задачи исследований.

АoI (возраст информации). Семантическая связь. IAB (интегрированный доступ и транзит).

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения домашних заданий (расчетно-графических работ) и итогового теоретического теста и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза 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**

Итоговая оценка по предмету (экзамен) выставляется следующим образом:

«отлично» – студент набрал не менее 80 первичных баллов, выполнил все расчетно-графические работы, нет неудовлетворительных оценок за тесты;

«хорошо» – студент набрал от 65 до 80 первичных баллов, выполнил все расчетно-графические работы, нет неудовлетворительных оценок за тесты;

«удовлетворительно» – студент набрал от 50 до 65 первичных баллов, выполнил все расчетно-графические работы, нет неудовлетворительных оценок за тесты;

«неудовлетворительно» – студент не сдал расчетно-графические работы, набрал менее 50 первичных баллов или сдал тест на «неудовлетворительно».

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.

в) План практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

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

а) основная литература:

– Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – Советское радио, 1976. – 656 с.

– Мицель А.А., Катаев М.Ю. Математическое и имитационное моделирование: Методические указания к выполнению практических работ по курсу «Математическое и имитационное моделирование» для студентов, обучающихся по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика» всех форм обучения / А.А. Мицель, М.Ю. Катаев. – Юрга: Изд-во ЮТИ (филиал) ТПУ, 2016. – 110 с.

- Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – Москва: Физматлит, 2005. – 296 с.
- Майстренко В.А. Современные информационные каналы и системы связи: учебник / В.А. Майстренко, А.А. Соловьев, М.Ю. Пляскин, А.И. Тихонов. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2017. – 452 с.
- Самуйлов К.Е., Абаев П.О. Мультисервисные сети связи [Текст/электронный ресурс]: Учебно-методический комплекс / К.Е. Самуйлов, П.О. Абаев. – М.: Изд-во РУДН, 2013. – 363 с.
- Кисель Н.Н. Моделирование распространения радиоволн в пакете Wireless InSite: учебное пособие / Н.Н. Кисель. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 108 с.
- Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания : учебник для вузов / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – Москва: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.
- Rappaport T.S. Wireless communications: principles and practice / T.S. Rappaport. – New Jersey: prentice hall PTR, 1996. – 707 с.
- Самуйлов К.Е. Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для вузов / К.Е. Самуйлов, И.А. Шалимов, Д.С. Кулябов. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 363 с.
- Гольдштейн Б.С. Сети связи. Учебник для вузов / Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
- Тихвинский В.О. Сети мобильной связи 5G. Технологии, архитектура и услуги / В.О. Тихвинский. – Москва: Медиа Паблишер, 2019. – 375 с.
- Bacelli F., Blaszczyzyn B. Stochastic Geometry and Wireless Networks, Part I: Theory / F. Bacelli, B. Blaszczyzyn – NoW Publishers, 2009. – 164 p.
- Haenggi M. Stochastic geometry for wireless networks / M. Haenggi. – Cambridge University Press, 2012. – 284 p.
- Akyildiz I. F. 6G and beyond: The future of wireless communications systems // I. F. Akyildiz, A. Kak, S. Nie – IEEE access, 2020. – Vol. 8. – P. 133995-134030.
- Chettri L., Bera R. A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems // L. Chettri, R. Bera. – IEEE Internet of Things Journal, 2019. – Vol. 7. – №. 1. – P. 16-32.
- Кучерявый А. Е. Новые перспективы научных исследований в области сетей связи на 2021-2024 годы // А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, М. А. Маколкина, А. И. Парамонов, Р. А. Дунайцев, Р. Я. Пирмагомедов, А. С. Бородин, А. Г. Владыко, А. С. А. Мутханна, А. И. Выборнова, С. С. Владимиров, И. В. Гришин. – Информационные технологии и телекоммуникации, 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 1-19.
- Shahzadi, R.. UAV assisted 5G and beyond wireless networks: A survey // R. Shahzadi,,. M. Ali, H. Z. Khan, M. Naeem. – Journal of Network and Computer Applications, 2021. – Vol. 189. – P. 1-20.

#### б) дополнительная литература:

- Бегишев В. О. Оценка эффективности механизма резервирования полосы пропускания для технологии mmWave в сетях связи пятого поколения // В.О. Бегишев, Э.С. Сопин, Д.А. Молчанов, А.К. Самуйлов, Ю.В. Гайдамака, К.Е. Самуйлов. – Информационно-управляющие системы, 2019. – №. 5 (102). – С. 51-63.
- Гайдамака Ю. В. Моделирование отношения сигнал/интерференция в мобильной сети со случайным блужданием взаимодействующих устройств // Ю. В. Гайдамака, Ю. Н. Орлов, Д. А. Молчанов, А. К. Самуйлов – Информатика и её применения, 2017. – Т. 11. – №. 2. – С. 50-58.
- Гайдамака Ю. В. Оценка характеристик интерференции при взаимодействии беспроводных устройств в смежных помещениях прямоугольной формы // Ю. В. Гайдамака, А. К. Самуйлов, В. О. Бегишев, Р. Н. Ковальчуков, Д. А. Молчанов. – Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт, 2015. – Т. 9. – №. 11. – С. 41-45.

– Боронин П. Н. Анализ пропускной способности и характеристик частотного спектра в сетях связи сверхмалого радиуса действия в терагерцовом диапазоне // П. Н. Боронин, Е. А. Кучерявый, Д. А. Молчанов. – Электросвязь, 2014. – №. 11. – С. 18-21.

– Молчанов Д. А. Оценка отношения сигнал/шум в беспроводных сетях доступа пятого поколения // Д. А. Молчанов, Р. Н. Ковальчуков, А. Я. Ометов, Е. А. Кучерявый, А. К. Самуйлов, К. Е. Самуйлов – Электросвязь, 2019. – №. 9. – С. 37-44.

– Петров В. И. Анализ интерференции в беспроводных сетях связи терагерцового диапазона частот // В. И. Петров, Д. А. Молчанов, Е. А. Кучерявый. – Информатика, телекоммуникации и управление, 2017. – Т. 10. – №. 1. – С. 27-36.

– Петров В. И. Оценка отношения сигнал/помеха в беспроводных сетях связи терагерцового диапазона частот // В. И. Петров, Д. А. Молчанов, Е. А. Кучерявый. – Электросвязь, 2017. – №. 10. – С. 24-29.

– Гайдамака Ю. В. Задачи стохастического моделирования интегрированной всепроникающей наземно-воздушной сети 6G // Ю. В. Гайдамака, Е. А. Кучерявый, К. Е. Самуйлов. – Новые информационные технологии в исследовании сложных структур, 2020. – С. 44-45.

– Дараселия А. В. Анализ стратегии разгрузки базовых станций 5G NR с помощью технологии NR-U // А. В. Дараселия, Э. С. Сопин, Д. А. Молчанов, К. Е. Самуйлов – Информатика и её применения, 2021. – Т. 15. – №. 3. – С. 98-111.

в) ресурсы сети Интернет:

– Открытый курс «Стохастическая геометрия», Лекториум – <https://www.lektorium.tv/node/39390>

– Цикл обучающих видео от команды разработчиков YouGile – <https://ru.yougile.com/training>

– Ознакомительная статья о работе в Notion – <https://checkroi.ru/blog/kak-rabotat-v-notion/>

– Советы для начинающих пользователей Notion – <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/602d39a29a794730cf032cc1>

Тематические журналы:

– Электросвязь – <https://elsv.ru/>

– Т-Comm – Телекоммуникация и транспорт – <https://istina.msu.ru/journals/97645/>

– Информационно-управляемые системы – <http://www.i-us.ru/index.php/ius>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.)

– Microsoft Windows 7, Microsoft Office 2016 (Power Point, Excel, Word), Google Chrome, Mathcad 15, Visual Studio 2015 (или версии выше)

– платформы видеоконференцсвязи (Яндекс Телемост, Zoom).

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>

### 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**

Молчанов Дмитрий Александрович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики,

Лисовская Екатерина Юрьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теории вероятностей и математической статистики.