

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

Институт прикладной математики и компьютерных наук  
Кафедра теории вероятностей и математической статистики.

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор



Рабочая программа дисциплины

**Надежность и управление в телекоммуникационных сетях**

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  
**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.01.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 С.П. Моисеева

Председатель УМК

 С.П. Сущенко

Томск – 2023

## 1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Ускорение научно-технического прогресса и цифровая трансформация способствуют созданию систем, использующих каналы передачи данных во всех отраслях человеческой жизни, это интернет людей и вещей, технологии сотовой связи, БПЛА, промышленный интернет. Во многих отраслях проблема обеспечения надежности передачи данных стала ключевой проблемой современности, определяющей как безопасность использования той или иной технологии, так и экономическое конкурентное преимущество.

Для повышения эффективности использования телекоммуникационных сетей необходимо осуществление управления их параметрами без потери качества предоставляемого сервиса. В частности, динамический способ разделения канального ресурса позволяет значительно повысить его загрузку, что особенно важно для сотовых сетей мобильной связи и БПЛА, из-за ограниченности диапазона выделяемых радиочастот.

Данный курс позволяет подготовить специалистов ИТ сферы, способных строить математические модели реальных процессов и систем передачи данных, проводить анализ их надежности, предлагать варианты их модификации, с целью повышения надежности, эффективности и конкурентного преимущества на рынке.

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

ПК-3 – способность 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-1.1. Осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований;

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

ИПК-3.1. Осуществляет выбор методов анализа и обработки данных;

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

№ п/п	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции (ИДК)	Результаты обучения по дисциплине
1	ПК-1. Способен осуществлять научно-исследовательские и	ИПК 1.1. Осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и	<b>Знать:</b> математические модели функций надежности теории телетрафика, технологию ТСП-соединений в IP-сетях

	опытно-конструкторские разработки как при исследовании самостоятельных тем, так и разработки по тематике организации	результатов исследований	<b>Уметь:</b> проводить обработку и анализ трафика в пакете Statistica, Excel, MathCad, R
			<b>Владеть:</b> навыками создания имитационных моделей информационных потоков на платформе AnyLogic или средствами ЯП C++, R, Python

№ п/п	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции (ИДК)	Результаты обучения по дисциплине
2	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	ИПК 3.2. Оценивает значимость параметров и показателей, характеризующих потребительские свойства услуг, предоставляемых инфокоммуникационной системой	<p><b>Знать:</b> показатели качества обработки требований на передачу данных, методы оценки характеристик передачи данных</p> <p><b>Уметь:</b> строить оценки основных характеристик передачи данных в различных условиях загрузки линии на примере трафика устройств интернета вещей</p> <p><b>Владеть:</b> навыками расчета и построения графиков зависимости характеристик надежности ТКС от коэффициента загрузки линии с использованием пакета Mathcad, Excel, Wolfram</p>

## 2. Задачи освоения дисциплины

- приобрести знания по способам оценки надежности проектируемых и эксплуатируемых телекоммуникационных систем;
- изучить математический аппарат, используемый для оценки телекоммуникационных систем;
- приобрести практические навыки по проведению анализа надежности аппаратного и программного обеспечения систем.

### **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Надежность и управление в телекоммуникационных сетях» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 «Дисциплины» входит в модуль «Специализации» (Б1.В.01).

Данная дисциплина, помимо самостоятельного значения, является предшествующей дисциплиной для выполнения НИР.

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

Семестр 3, 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 телетрафика», «Математические модели телекоммуникационных потоков», «ИТ для имитационного моделирования», «Интернет вещей».

### **6. Язык реализации**

Русский язык, предусмотрена возможность реализации программы на английском языке.

### **7. Объем дисциплины (модуля)**

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

- лекции: 16 ч.;
- семинарские занятия: 0 ч.
- практические занятия: 0 ч.;
- лабораторные работы: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

#### **Раздел 1. Введение в теорию надежности**

Тема 1. Основные понятия теории надежности

Основные понятия: объект, система, элемент, эксплуатация, надежность, отказ (полные, частичные, постепенные, внезапные, сбои, математическая классификация отказов), безотказность, долговечность, ремонт, ремонтпригодность, безопасность.

Количественные показатели надежности и их определение:

Показатели безотказности: вероятность безотказной работы/вероятность отказа, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, средняя наработка до отказа, средняя наработка между отказами.

Показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления работоспособного состояния, среднее время восстановления.

Комплексные показатели: коэффициент готовности, коэффициент технического использования, коэффициент оперативной готовности.

Модели надежности: Функция распределения времени безотказной работы. Функция надежности. Законы надежности: показательный/экспоненциальный, нормальный, логнормальный, усеченный нормальный, гамма, Гнеденко – Вейбулла, Релея, Пуассона.

## Тема 2. Надежность восстанавливаемых систем

Процесс восстановления; поток отказов. Рекуррентные потоки отказов. распределение и числовые характеристики моментов отказов; распределение числа восстановлений; асимптотические свойства процесса восстановления; теоремы восстановления; понятия «возраст» и «остаточное время жизни» в теории надежности, их распределения; показатели надежности с учетом времени замены.

## Тема 3. Статистический анализ надежности

Наблюдения и планы испытаний на надежность; статистические оценки показателей надежности восстанавливаемых систем (эмпирическая функция надежности, частота отказов); статистические оценки показателей надежности восстанавливаемых систем (интенсивность потока отказов, наработка на отказ, длительность восстановления, коэффициент готовности, коэффициент простоя). Оценка показателей надежности передачи данных на примере модели распределенной радиопеленгационной системы и канала связи БПЛА

## Тема 4. Структурная надежность и резервирование.

Структурная функция системы. Последовательное, параллельное соединение элементов, система типа «k из n». Монотонные структуры. Вектор состояний системы: вектор-сечение, вектор-путь. Функция надежности монотонных структур.

Резервирование без восстановления. Способы резервирования (структурное, функциональное, временное, постоянное/нагруженное, резервирование замещением/ненагруженное, скользящее). Свойства надежности резервированных систем (зависимость надежности от уровня резервирования, скорость роста надежности при резервировании). Раздельное и общее резервирование.

Резервирование с восстановлением. Математическая модель. Функция надежности восстанавливаемой системы.

## Раздел 2. Управление системами передачи данных.

### Тема 5. Равномерное распределение ресурса передачи информации.

Моделирование потока передачи данных. Параметры трафика. Примеры передачи данных в сотовой сети, передачи эластичного трафика (TCP-соединение). Протоколы стека TCP/IP. Характеристики пропускной способности в режиме PS. Анализ трафика устройств интернета вещей.

### Тема 6. Режим PS для моносервисного трафика

Модель M/M/1 PS (описание модели, показатели обслуживания заявок, оценка эффективности использования дисциплины PS). Нахождение скорости линии при заданных интенсивности потока заявок на установление TCP – соединения в IP-сети и пропускной способности линии. Математическая модель системы с динамическим распределением ресурса и ограничением доступа по числу абонентов. Математическая модель системы с динамическим распределением ресурса и ограничением скорости доступа.

### Тема 7. Мультисервисные системы передачи данных

Передача данных в сети HSDPA. Сбалансированное распределение ресурса. Функция баланса. Сбалансированная равнодоступность ресурса. Рекурсивный алгоритм оценки функции баланса. Ограничение скорости доступа. Показатели обслуживания заявок. Численное исследование модели (рекурсивный алгоритм).

Дифференцированное обслуживание (математическая модель, показатели обслуживания заявок, ограничение доступа по числу одновременно обслуживаемых заявок)

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля выполнения лабораторных работ и индивидуальной работы и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Текущий контроль успеваемости по теоретическому материалу осуществляется в виде теста (по разделу «Управление системами передачи данных») и коллоквиума (по разделу «Введение в теорию надежности»).

Оценка текущего контроля проводится на основе оценки компетенций, соответствующих текущему разделу дисциплины, согласно таблице:

Вид работы	Удельный вес	Критерии оценки
Лабораторные работы	30	от 0-5 баллов за выполнение работы (максимум 30 баллов)
Коллоквиум	10	от 0-10 баллов
Тест	10	от 0-10 баллов
Индивидуальная работа	30	от 0-30 баллов
Экзамен	20	от 0-20 баллов

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

**Экзамен** проводится устно в следующей форме:

Первая часть – представление индивидуальной работы (выступление с докладом и представление презентации, отражающей постановку задачи, выбор метода, ход выполнения индивидуальной работы (проверяет ИПК-3.1.), полученные результаты (проверяет ИПК 1.1) и их анализ и интерпретацию в соответствии с постановкой задачи (проверяет ИПК 3.2.)). Продолжительность первой части экзамена 7-10 минут.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий ИПК-1.2. Ответ на вопрос второй части дается устно в развернутой форме. Продолжительность второй части экзамена 5 минут.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Итоговая оценка по предмету выставляется следующим образом:

- «отлично» – студент набрал не менее 80 первичных баллов и выполнил все лабораторные работы, нет неудовлетворительных оценок за коллоквиум/тест;
- «хорошо» – студент выполнил от 65 до 80 первичных баллов и выполнил все лабораторные работы, нет неудовлетворительных оценок за коллоквиум/тест;
- «удовлетворительно» – студент выполнил от 50 до 65 первичных баллов и выполнил все лабораторные работы, нет неудовлетворительных оценок за коллоквиум/тест;
- «неудовлетворительно» – студент не сдал лабораторные работы, набрал менее 50 первичных баллов или сдал коллоквиум/тест на «неудовлетворительно».

Во время экзамена студент может повысить свою оценку, сдав заново соответствующую контрольную работу (коллоквиум/тест), дополнительно к основному экзамену, при условии выполнения остальных требований к оценке.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

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

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Гольдштейн, Б. С. Инфокоммуникационные сети и системы/ Санкт-Петербург : 2019. – 208 с.
2. Вишневский В.М., Семёнова О.В., Ефросинин Д.В. Математические модели и методы исследования гибридных сетей связи на основе лазерной и радиотехнологий. М.: ИПУ РАН, 2020. – 120 с.
3. Naumov V.A., Gaidamaka Y.V., Yarkina N.V., Samouylov K.E.. Matrix and Analytical Methods for Performance Analysis of Telecommunication Systems.Springer Nature Switzerland AG. 2021. 308 с.
4. Пагано М., Рыков В.С., Хохлов Ю.С. Модели телетрафика. М: ИНФРА-М, 2018. – 178 с.
5. Рыков, В. В. Надёжность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / В.В. Рыков, В.Ю. Иткин. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 192 с.
6. Степанов С. Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. – М.:Горячая линия – Телеком, 2015. – 868 с.
7. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности: Пер. с англ. 1969. 488 с.
8. Герцбах И. Б., Кордонский Х. Б. Модели отказов/ Под ред. Б. В. Гнеденко. - Москва: Сов. радио, 1966. - 166 с.
9. Глазунов Л. П., Грабовецкий В. П., Щербаков О. В. Основы теории надежности автоматических систем управления : [Учеб. пособие для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика"].– Л. : Энергоатомиздат : Ленингр. отд-ние, 1984. - 207 с.
10. Голинкевич Т. А. Прикладная теория надежности : [Учеб. для вузов по спец. "Автоматизир. системы управления"] - М. : Высш. шк., 1985. - 168 с.
11. ПоловкА. М. о, Гуров С. В. Основы теории надежности — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. —704 с.
12. ПоловкА. М. о, Гуров С. В. Основы теории надежности. Практикум. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. —560 с.
13. Яхьяев Н.Я. Основы теории надежности и диагностика : учебник для вузов / Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. — 2-е изд., перераб.. — Москва: Академия, 2014. — 208 с.. — Высшее профессиональное образование. Транспорт. —Бакалавриат. — Библиогр.: с. 205.
14. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. Москва: Техносфера, 2002. – 512 с.

б) дополнительная литература:

1. – Елагин, А. А. Зарубин, А. Е. Селиванов. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2018. – 48 с.
2. Pallavi Sethi, Smruti R. Sarangi Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications/Journal of Electrical and Computer Engineering. Vol. 2017.- 26с.
3. Е.А.Ушаков, М.В.Ушакова. Исследование работы беспроводных интернет устройств с различными протоколами ячеистой маршрутизации. Современные информационные технологии и ИТ-образование, Том 14 (3).- 2018. – С.686-691.

4. Мушовец К. В., Золотарев В. В. Логико-вероятностный анализ надежности функций сбора и доставки телеметрии до земной станции спутниковой системы связи // Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10, № 1. С. 50–57.
5. Мушовец К. В., Золотарев В. В. Методика определения надежности сбора и обработки телеметрии в системе спутниковой связи // Системы управления и информационные технологии. 2012. Т. 48, № 2.2. С. 308–312.
6. Ромасевич Е.П., Пасюк А.О. Исследование трафика беспроводных устройств в условиях развития интернета вещей // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 1. С. 214-221.
7. Ромасевич Е.П. О создании и развитии имитационной модели сети «Интернета вещей» // Ученые записки ИСГЗ. 2016. Выпуск № 2(14), Часть I. С. 64-68.
8. Ромасевич Е.П. Исследование влияния передачи трафика IPv6 на работоспособность сети MetroEthernet на основе имитационной модели.– Современные информационные технологии и ИТ-образование / Сборник избранных трудов IX Международной научно-практической конференции. Под ред. проф. В.А. Сухомлина. - М.: ИНТУИТ.РУ, 2014. – 957 с.
9. Fremantle P. A Reference Architecture For The Internet Of Things. Version 0.9.0 (October 20, 2015). URL: [https://wso2.com/wso2\\_resources/wso2\\_whitepaper\\_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf](https://wso2.com/wso2_resources/wso2_whitepaper_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf)
10. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons Ltd. 2010. 372 p.
11. Haas E. Aeronautical channel modeling// IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2002. V. 51. № 2. P. 254-264.

в) ресурсы сети Интернет:

– Журнал «Эксперт» - <http://www.expert.ru>

– Журнал «Сети и системы связи», Б. Л. Сатовский. Создание мультисервисных сетей: задачи и перспективы/ Способ доступа: URL: [http://www.ccc.ru/magazine/depot/99\\_12/read.html?0303.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/99_12/read.html?0303.htm)

– Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ - [www.gsk.ru](http://www.gsk.ru)

– <https://hindawi.com/journals/jece/>

– <https://gnedenko.net/Journal/index.htm>

– <http://www.mathnet.ru/>

– <https://www.researchgate.net/>

– <https://www.mdpi.com/journal/mathematics>

– <https://cyberleninka.ru/>

### 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:

– 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.

Лаборатории, оборудованные ПК с лицензионной ПО MathCad, Statistica.

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

Туренова Ирина Алексеевна, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теории вероятностей и математической статистики НИ Томского государственного университета.