

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Современные проблемы беспроводной связи
<b>по направлению:</b>	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
<b>профиль подготовки:</b>	Телекоммуникационные сети и системы
	Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий
	кафедра проблем передачи информации и анализа данных
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.А. Логинов

М.В. Любогощев

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем передачи информации и анализа данных 20.04.2020

## Аннотация

При создании и внедрении новых перспективных технологий беспроводной связи исследователям и разработчикам сетевого оборудования приходится сталкиваться с различными научными задачами и проблемами. В рамках данного курса студенты смогут познакомиться с актуальными задачами, стоящими перед разработчиками современных беспроводных сетей, а также с перспективными направлениями их решения. Цель курса – расширить кругозор студентов и предоставить им возможность выбрать актуальную и интересную тематику для работы над выпускной квалификационной работой магистра.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Освоение студентами основных проблем и задач, возникающих в современных сетях связи, а также передовых способов их решения.

#### Задачи дисциплины

- формирование у студентов углублённых знаний о современных сетях связи;
- развитие у студентов навыков выявления возможных проблем в современных сетях связи, а также развитие у студентов умения разбираться в тонкостях алгоритмов работы протоколов современных беспроводных сетей;
- оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований современных сетей беспроводной связи.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях

ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности
--	---

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные алгоритмы и протоколы физического, канального и сетевого уровней современных сетей связи;
- основные проблемы, возникающие в современных сетях беспроводной связи, а также возможные пути их решения.

уметь:

- оценить актуальность поставленной научной задачи;
- анализировать алгоритмы, используемые с современных сетях беспроводной связи, находить возможные способы увеличения их производительности;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем связи.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов цифровой беспроводной связи по их техническим описаниям и спецификациям;
- навыком поиска решений существующих проблем в литературе.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Совместное существование различных сетей в нелицензируемом диапазоне		6		3
2	Сверхнадежная передача данных с малыми задержками		6		3
3	Облачная архитектура построения сети		6		3
4	Неортогональный множественный доступ и новые формы сигнала		6		3
5	Многоантенные системы		6		3
6	Сети передачи данных для транспорта		6		3
7	Множественный доступ в сетях с высокой плотностью		6		3
8	Технологии передачи данных в миллиметровом и терагерцевом диапазонах		6		3
9	Передача данных с использованием БПЛА и низкоорбитальных спутников		6		3
10	Информационная безопасность на физическом уровне		6		3
Итого часов			60		30

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Совместное существование различных сетей в нелицензируемом диапазоне

Сети Wi-Fi и LTE в нелицензируемом диапазоне 5 ГГц: основные сходства и различия. Методы доступа к среде в сетях LTE-LAA: CSAT, LBT. Проблема справедливого разделения частотных ресурсов. Дальнейшее развитие методов доступа к среде в сетях LTE: eLAA, feLAA. Открытые задачи.

##### 2. Сверхнадежная передача данных с малыми задержками

Сверхнадежная передача данных с малыми задержками (URLLC, ultra-reliable low latency communication) и ее приложения: тактильный интернет, промышленная автоматизация. Перспективы развития URLLC на базе беспроводных сотовых сетей, возможности технологии New Radio в сотовых сетях пятого поколения, возникающие проблемы. Проблемы планирования ресурсов и увеличения емкости сети. Перспективы развития URLLC на базе сетей Wi-Fi: резервирование ресурсных блоков в OFDMA-передачах сетях стандарта IEEE 802.11ax/ba, использование вспомогательного радиointерфейса для резервирования среды в сетях Wi-Fi.

##### 3. Облачная архитектура построения сети

Современный взгляд на архитектуру построения сетей беспроводной связи. SDN, NFV, Cloud-RAN. Сравнение популярных облачных архитектур построения сетей связи. Алгоритмы динамического управления архитектурой сети. Проблема планирования ресурсов.

##### 4. Неортогональный множественный доступ и новые формы сигнала

Проблемы и ограничения существующих технологий ортогонального множественного доступа и ортогонального разделения сигналов. Неортогональный и полуортогональный множественный доступ: преимущества, особенности. Новые формы сигналов: преимущества, особенности.

##### 5. Многоантенные системы

Необходимость внедрения многоантенных систем, их преимущества и технологические ограничения. Оценка канала. Планирование радиоресурсов. Распределенные антенные системы.

##### Семестр: 2 (Весенний)

##### 6. Сети передачи данных для транспорта

Автономный транспорт, как новый тип клиентских устройств в беспроводных сетях передачи данных. Приложения и паттерны трафика, генерируемого транспортом. Требования к качеству обслуживания. Оценка и предсказание канала. Распределенный обмен информацией и централизованное управление движением.

##### 7. Множественный доступ в сетях с высокой плотностью

Проблемы существующих методов доступа в сетях с высокой плотностью пользователей. Методы увеличения производительности в плотных сетях Wi-Fi: внедрение технологии OFDMA, адаптивный выбор мощности передачи, настройка порога детектирования сигнала. Плотные сети в сценариях Интернета Вещей (IoT, Internet of Things). Возможности технологий IEEE 802.11ah, LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT. Открытые проблемы.

#### 8. Технологии передачи данных в миллиметровом и терагерцевом диапазонах

Особенности работы в миллиметровом и терагерцевом диапазонах. Моделирование канала. Методы доступа к каналу. Методы обеспечения надежной доставки данных. Многошаговая передача в миллиметровом и терагерцевом диапазонах. Открытые задачи.

#### 9. Передача данных с использованием БПЛА и низкоорбитальных спутников

Перспективы и возможные преимущества использования летательных аппаратов в качестве мобильных точек подключения к глобальной сети. Использование группировки ЛА в качестве опорной сети. Задачи выбора точки подключения, маршрутизации. Моделирование и оценка беспроводных каналов между ЛА и ЛА, между ЛА и землей.

#### 10. Информационная безопасность на физическом уровне

Недостаточность обеспечения информационной безопасности на уровне данных. Методы обеспечения информационной безопасности на физическом уровне. Основные угрозы информационной безопасности на физическом уровне.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектор или плазменная панель), доской.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. М.: Эко-Трендз, 2010. - 281 с. ISBN: 978-5-88405-094-5.

#### Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Erik Dahlman. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G. 3rd Edition. 616 pp. ISBN 9780128046111.

2. Erik Dahlman Stefan Parkvall Johan Skold 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. 466 pp. ISBN 9780128143247

3. Fei Hu Vehicle-to-Vehicle and Vehicle-to-Infrastructure Communications: A Technical Approach. 346 pp, ISBN 9781138706835

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<https://ieeexplore.ieee.org>

<https://scholar.google.com>

<http://www.3gpp.org>

<http://www.etsi.org>

<http://mentor.ieee.org>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общими понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, алгоритмы и протоколы.

Успешное освоение курса требует напряженной самостоятельной работы студента. В программе курса отведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения, решение задач;
- подготовка к дифференцированному зачёту.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов следует обращаться за консультациями к преподавателю.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
<b>профиль подготовки:</b>	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

В.А. Логинов  
М.В. Любогощев

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современные проблемы беспроводной связи» обучающийся должен:

### знать:

- основные алгоритмы и протоколы физического, канального и сетевого уровней современных сетей связи;
- основные проблемы, возникающие в современных сетях беспроводной связи, а также возможные пути их решения.

### уметь:

- оценить актуальность поставленной научной задачи;
- анализировать алгоритмы, используемые в современных сетях беспроводной связи, находить возможные способы увеличения их производительности;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем связи.

### владеть:



- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов цифровой беспроводной связи по их техническим описаниям и спецификациям;
- навыком поиска решений существующих проблем в литературе.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В рамках курса студентам будут предоставлен доступ к научным работам, посвященным современным проблемам, возникающим при разработке современных технологий беспроводной связи. Студентам предлагается самостоятельно выбрать заинтересовавшие их работы из предоставленного списка и сделать по ним доклад на семинаре.

Критерии выставления оценки:

Удовлетворительно — студент выступил с докладом по одной работе, но не смог правильно ответить на возникающие вопросы;

Хорошо — студент выступил с докладом по одной работе, правильно ответил на вопросы по содержанию статьи;

Отлично — студент выступил с докладами по двум и более работам, правильно ответил на вопросы по их содержанию и деталям предложенных в работах решений

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

1. Сети Wi-Fi и LTE в нелицензируемом диапазоне 5 ГГц: основные сходства и различия. Методы доступа к среде в сетях LTE-LAA: CSAT, LBT.
2. Проблема справедливого разделения частотных ресурсов. Дальнейшее развитие методов доступа к среде в сетях LTE: eLAA, feLAA. Открытые задачи.
3. Сверхнадежная передача данных с малыми задержками (URLLC, ultra-reliable low latency communication) и ее приложения: тактильный интернет, промышленная автоматизация. Перспективы развития URLLC на базе беспроводных сотовых сетей, возможности технологии New Radio в сотовых сетях пятого поколения, возникающие проблемы.
4. Проблемы планирования ресурсов и увеличения емкости сети. Перспективы развития URLLC на базе сетей Wi-Fi: резервирование ресурсных блоков в OFDMA-передачах сетях стандарта IEEE 802.11ax/ba, использование вспомогательного радиоинтерфейса для резервирования среды в сетях Wi-Fi.
5. Современный взгляд на архитектуру построения сетей беспроводной связи. SDN, NFV, Cloud-RAN. Сравнение популярных облачных архитектур построения сетей связи.
6. Алгоритмы динамического управления архитектурой сети. Проблема планирования ресурсов.
7. Проблемы и ограничения существующих технологий ортогонального множественного доступа и ортогонального разделения сигналов.
8. Неортогональный и полуортогональный множественный доступ: преимущества, особенности.
9. Новые формы сигналов: преимущества, особенности.
10. Необходимость внедрения многоантенных систем, их преимущества и технологические ограничения. Оценка канала. Планирование радиоресурсов. Распределенные антенные системы.
11. Автономный транспорт, как новый тип клиентских устройств в беспроводных сетях передачи данных.
12. Приложения и паттерны трафика, генерируемого транспортом. Требования к качеству обслуживания.
13. Оценка и предсказание канала. Распределенный обмен информацией и централизованное управление движением.
14. Проблемы существующих методов доступа в сетях с высокой плотностью пользователей. Методы увеличения производительности в плотных сетях Wi-Fi: внедрение технологии OFDMA, адаптивный выбор мощности передачи, настройка порога детектирования сигнала.
15. Плотные сети в сценариях Интернета Вещей (IoT, Internet of Things). Возможности технологий IEEE 802.11ah, LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT. Открытые проблемы.
16. Особенности работы в миллиметровом и терагерцевом диапазонах. Моделирование канала.
17. Методы доступа к каналу. Методы обеспечения надежной доставки данных. Многошаговая передача в миллиметровом и терагерцевом диапазонах. Открытые задачи.

18. Перспективы и возможные преимущества использования летательных аппаратов в качестве мобильных точек подключения к глобальной сети. Использование группировки ЛА в качестве опорной сети.
19. Задачи выбора точки подключения, маршрутизации. Моделирование и оценка беспроводных каналов между ЛА и ЛА, между ЛА и землей.
20. Недостаточность обеспечения информационной безопасности на уровне данных.
21. Методы обеспечения информационной безопасности на физическом уровне.
22. Основные угрозы информационной безопасности на физическом уровне.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме.

При проведении устного дифференцированного зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку.

Во время проведения дифференцированного зачёта обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой и проч.