

**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>	Технологии физического уровня беспроводных сетей
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составили:

А.П. Кулешов, д-р техн. наук, профессор

Д.С. Осипов, канд. техн. наук

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

## Аннотация

Курс посвящен основным технологиям, методам и моделям, которые применяются при проектировании и исследовании физического уровня современных систем беспроводной связи.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Освоение студентами основных технологий, применяемых при передаче цифровой информации в современных системах связи.

#### Задачи дисциплины

- фундаментальная подготовка студентов в области теории передачи информации;
- формирование у студентов навыков применения полученных знаний при проектировании, исследовании и моделировании телекоммуникационных сетей и систем;
- консультирование студентов, при проведении ими самостоятельных исследований в области построения телекоммуникационных сетей и систем.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные принципы построения телекоммуникационных сетей и систем;
- методы приема и передачи данных в современных телекоммуникационных системах и сетях;
- современные тенденции развития телекоммуникаций.

уметь:

- самостоятельно формулировать и решать научно-исследовательские задачи в области проектирования телекоммуникационных систем;
- использовать полученные знания и навыки для исследования моделей систем множественного доступа.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- математическими методами описания и исследования телекоммуникационных сетей и систем.

#### 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	Методы цифровой модуляции		6		2
2	Каналы связи		5		3
3	Задача множественного доступа		5		2
4	Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа		6		4
5	Пространственное разнесение		4		2
6	Общая структура физического уровня широкополосного радиointерфейса		4		2
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

###### 1. Методы цифровой модуляции

Методы цифровой модуляции. Представление сигнала в виде комплексной функции. Гильбертово пространство. Методы цифровой модуляции: ASK, PSK, FM и QAM.

Ортогонализация Гильберта-Шмидта. Мультиплексирование с использованием ортогональных частот (OFDM) и его использование в современных системах связи.

###### 2. Каналы связи

Каналы связи: общая классификация. Особенности распространения сигнала в беспроводных каналах связи: затухание сигнала на расстоянии, замирания, смещение частоты несущей. Классификация замираний и ее связь с параметрами системы связи. Линейный фильтр как модель канала с замираниями. Распределения Релея, Райса и Накагами. Оценивание параметров беспроводных каналов связи. Компенсация искажений сигнала при распространении по беспроводным каналам связи. Синхронизация в системах связи использующих беспроводные каналы.

###### 3. Задача множественного доступа

Задача множественного доступа. Модели систем множественного доступа: модель с центральным узлом и модель без центрального узла. Прямой и обратный каналы и методы их разделения (TDD и FDD). Методы доступа TDMA и FDMA. Использование OFDM в системах множественного доступа: OFDMA.

#### 4. Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа

Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Использование последовательностей с низкой корреляцией для разделения пользователей в системах множественного доступа (DS CDMA). Выбор ансамблей кодовых последовательностей и особенности приема в DS CDMA. Псевдослучайная перестройка рабочей частоты (FH CDMA). Связь с использованием сигналов со сверхширокой полосой (UWB). Использование линейной частотной модуляции в системах множественного доступа (CSS).

#### 5. Пространственное разнесение

Пространственное разнесение. Технология многоантенной передачи MIMO. Коды для многоантенной передачи: критерии построения и примеры конструкций.

#### 6. Общая структура физического уровня широкополосного радиointерфейса

Общая структура физического уровня широкополосного радиointерфейса. Эволюция технологий физического уровня в сетях WLAN на примере IEEE 802.11, WMAN на примере IEEE 802.16, WPAN на примере Wireless USB, ECMA 368, IEEE 802.15.3a/c, Bluetooth, IEEE 802.15.4.

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

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

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Krouk E. and Semenov S. (ed.) Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications. John Wiley & Sons. 1st edition. Chichester, UK, 2011.
2. Zigangirov, K. Sh. Theory of Code Division Multiple Access Communication // IEEE Press. Piscataway, New Jersey, 2004.
3. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов: принципы и приложения М: Техносфера, 2007.

#### Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Glisic S. Advanced Wireless Communications: 4G Cognitive and Cooperative Broadband Technology (2nd edition) // John Wiley & Sons. Chichester, UK, 2007.
2. Molisch A. F. Wireless Communications (2nd edition) // John Wiley & Sons. Chichester, UK, 2011.
3. Seybold J.S. Introduction to RF Propagation // John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005.
4. Kuhn V. Wireless Communications over MIMO Channels: Applications to CDMA and Multiple Antenna Systems // John Wiley & Sons. Chichester, UK, 2006.

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

## **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 фундаментальные принципы построения телекоммуникационных сетей и систем, методы приема и передачи данных в современных телекоммуникационных системах и сетях; современные тенденции развития телекоммуникаций.

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 конспектам занятий, 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 лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

А.П. Кулешов, д-р техн. наук, профессор

Д.С. Осипов, канд. техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Технологии физического уровня беспроводных сетей» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные принципы построения телекоммуникационных сетей и систем;
- методы приема и передачи данных в современных телекоммуникационных системах и сетях;
- современные тенденции развития телекоммуникаций.

### уметь:

- самостоятельно формулировать и решать научно-исследовательские задачи в области проектирования телекоммуникационных систем;
- использовать полученные знания и навыки для исследования моделей систем множественного доступа.

### владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- математическими методами описания и исследования телекоммуникационных сетей и систем.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого семинара или в конце занятия по пройденной теме.

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

Перечень контрольных вопросов к дифференцированному зачёту:

1. Методы цифровой модуляции. Представление сигнала в виде комплексной функции. Гильбертово пространство. Методы цифровой модуляции: ASK, PSK, FM и QAM.
2. Методы цифровой модуляции. Представление сигнала в виде комплексной функции. Гильбертово пространство. Ортогонализация Гильберта-Шмидта.
3. Мультиплексирование с использованием ортогональных частот (OFDM) и его использование в современных системах связи. Оценивание параметров беспроводных каналов связи в системах, использующих OFDM. Компенсация искажений сигнала при распространении по беспроводным каналам связи.
4. Мультиплексирование с использованием ортогональных частот (OFDM) и его использование в современных системах связи. Достоинства и недостатки использования технологии OFDM. Пик-фактор (PAPR) и методы его снижения.
5. Каналы связи: общая классификация. Особенности распространения сигнала в беспроводных каналах связи: затухание сигнала на расстоянии, замирания, смещение частоты несущей. Классификация замираний и ее связь с параметрами системы связи.
6. Каналы связи: общая классификация. Особенности распространения сигнала в беспроводных каналах связи: затухание сигнала на расстоянии, замирания, смещение частоты несущей. Линейный фильтр как модель канала с замираниями. Распределения Релея, Райса и Накагами.
7. Задача множественного доступа. Модели систем множественного доступа: модель с центральным узлом и модель без центрального узла. Прямой и обратный каналы и методы их разделения (TDD и FDD). Преимущества и недостатки TDD и FDD.
8. Методы доступа TDMA и FDMA. Использование OFDM в системах множественного доступа: OFDMA. Технология SC FDMA.
9. Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Использование последовательностей с низкой корреляцией для разделения пользователей в системах множественного доступа (DS CDMA). Технология приема в системах DS CDMA: однопользовательский приемник, оптимальный приемник, субоптимальные приемники, приемник RAKE.
10. Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Использование последовательностей с низкой корреляцией для разделения пользователей в системах множественного доступа (DS CDMA). Выбор ансамблей кодовых последовательностей в системах DS CDMA: минимаксный критерий, граница Уэлча и граница Сидельникова.
11. Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Использование последовательностей с низкой корреляцией для разделения пользователей в системах множественного доступа (DS CDMA). Особенности синхронизации в системах DS CDMA.
12. Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Псевдослучайная перестройка рабочей частоты (FH CDMA).
13. Кодовые методы разделения пользователей в системах множественного доступа. Связь с использованием сигналов со сверхширокой полосой (UWB). Использование линейной частотной модуляции в системах множественного доступа (CSS).
14. Пространственное разнесение. Технология многоантенной передачи MIMO. Коды для многоантенной передачи: критерии построения и примеры конструкций.
15. Общая структура физического уровня широкополосного радиоинтерфейса. Эволюция технологий физического уровня в сетях WLAN на примере IEEE 802.11, WMAN на примере IEEE 802.16, WPAN на примере Wireless USB, ECMA 368, IEEE 802.15.3a/c, Bluetooth, IEEE 802.15.4.

#### 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.