

## Программа учебной дисциплины «Беспроводные коммуникационные системы»

Утверждена  
Академическим советом ОП<sup>1</sup>  
Протокол № 4 от 29.08.2019

Разработчик	Королев П.С, преподаватель, Департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ Иванов Илья Александрович, доцент, Департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ
Число кредитов	6
Контактная работа (час.)	40
Самостоятельная работа (час.)	188
Курс, Образовательная программа	4, Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Формат изучения дисциплины	Без использования онлайн курса

### 1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

Целями освоения дисциплины «Беспроводные коммуникационные системы» являются овладение студентами основными концепциями разработки беспроводных коммуникационных сетей, а также приобретение профессиональных компетенций по проектированию, внедрению и администрированию беспроводных коммуникационных систем.

В результате освоения дисциплины студент должен:

#### **знать:**

- принципы функционирования радиосетей различных технологий;
- классификацию беспроводных сетей связи;
- виды аналоговой модуляции сигналов;
- виды цифровой манипуляции сигналов;
- спектральные характеристики сигналов;
- устройство передатчиков и приемников аналогового и цифрового сигналов;
- архитектуру сетей операторов беспроводной связи;
- виды инфокоммуникационных услуг;
- архитектуру интернет-вещей;

---

<sup>1</sup> Для ПУД из общеуниверситетского пула – Руководитель Департамента.

- стандарты в области беспроводных технологий.

**уметь:**

- обосновывать использование технологий при проектировании беспроводной сети в зависимости от постановки задач;
- корректно классифицировать беспроводные виды связи;
- моделировать формирование аналоговых сигналов;
- моделировать формирование цифровых сигналов;
- моделировать модуляцию/ демодуляцию и манипуляцию/ деманипуляцию;
- моделировать прием и идентификацию сигналов;
- определять спектральные характеристики сигналов;
- проектировать и реализовывать беспроводную систему передачи информации с помощью Bluetooth- и Wi-fi-технологий.

**владеть:**

- базовыми средствами определения качества беспроводной связи;
- навыками проектирования беспроводных коммуникационных систем;
- терминологией в области беспроводных коммуникационных технологий;
- основами операций с сигналами;
- навыками анализа спектральных характеристик сигналов;
- навыками использования специализированного программного обеспечения (например, PTC MathCad)

**Результаты освоения дисциплины**

- владеет классификацией беспроводных сетей связи;
- знает способы применения аналоговой модуляции и цифровой манипуляции сигналов;
- знает стандарты в области беспроводных коммуникационных систем связи;
- владеет основами моделирования беспроводных коммуникационных систем связи;
- знает функционирование радиосетей различных беспроводных технологий.

**Пререквизиты**

- общая теория связи;
- методы поиска технических решений;
- основы моделирования в инфокоммуникационных технологиях и системах связи;
- основы телевидения и радиосвязи;
- схемотехника телекоммуникационных устройств;
- цифровая обработка сигналов.

**Постреквизиты**

- подготовка выпускной квалификационной работы.

## 2. Содержание учебной дисциплины

Тема (раздел дисциплины)	Объем в часах	Планируемые результаты обучения (ПРО), подлежащие контролю	Формы контроля
<b>2 модуль</b>			
Тема 1. Введение в беспроводные коммуникационные технологии.	лк 2	Владеет классификацией персональных беспроводных сетей связи, беспроводных сенсорных сетей, малых и больших локальных беспроводных сетей, глобальных беспроводных сетей и спутниковой связи.	Участие в семинаре
	см 2		
	ср 18		
Тема 2. Персональные беспроводные сети связи.	лк 4	Знает устройство IrDA (InfraRed Data Association). Знает диапазон оптического излучения. Знает устройство функционирования и архитектуру технологии Bluetooth. Знает виды манипуляций сигналов при использовании Bluetooth. Знает способы кодирования и декодирования информации. Знает назначение ISM-диапазона. Знает скоростные характеристики и пропускную способность Bluetooth-технологии. Знает состав пакетов данных. Знает методы	Участие в семинаре
	см 4		
	ср 38		

		расширения спектра. Знает стек протоколов Bluetooth- технологии. Знает устройство и принцип работы технологии Wireless USB.	
Тема 3. Обзор беспроводных сенсорных сетей.	лк 2	Знает классификацию беспроводных сенсорных сетей. Знает структуру построения беспроводной связи с использованием систем Z-Wave, DASH7 и One-Net. Знает возможности систем, построенных по технологии Z-Wave, DASH7 и One-Net.	Участие в семинаре
	см 2		
	ср 18		
Тема 4. Малые и большие локальные беспроводные сети.	лк 2	Знает классификацию малых и больших локальных беспроводных сетей. Знает стандарты и частотный диапазон Wi-fi. Знает уровни модели OSI, охватываемые технологией Wi-fi. Знает методы доступа к сети Wi-fi. Знает протокол	Участие в семинаре
	см 2		
	ср 32		

		Zigbee. Знает характеристики технологии Zigbee. Знает конфигурацию стеков протоколов Zigbee. Знает область применения технологии WiMax. Знает принцип работы технологии WiMax.	
<b>3 модуль</b>			
Тема 5. Глобальные беспроводные сети.	лк 2	Знает хронологию развития поколений мобильной связи 1G - 5G. Знает аппаратное обеспечение сетей 1G - 5G. Знает основы построения LTE (4G) сетей. Знает принцип множественного доступа с кодовым разделением каналов CDMA.	Участие в семинаре
	см 2		
	ср 18		
Тема 6. Спутниковая связь.	лк 2	Знает частотное разделение сигналов в системе ГЛОНАСС. Знает кодовое разделение сигналов в системе Galileo. Знает принцип действия глобальной системы позиционирования (GPS). Знает частотные планы систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Знает географическую информационную систему (ГИС). Знает основы технологии Iridium.	Участие в семинаре
	см 2		
	ср 18		
Тема 7. Введение в концепцию Интернет-	лк 2	Знает становление «сети следующего поколения»	Участие в семинаре
	см 2		

вещей IoT.	ср 16	NGN. Знает модель предоставления инфокоммуникационных услуг. Знает эволюцию архитектуры операторов связи. Знает классификацию услуг мультисервисных сетей и технологию ISDN.	
Тема 8. Интернет вещей IoT.	лк 4	Знает технологическую дорожную карту, базовые принципы IoT. Знает направление коммуникаций. Знает эталонную модель и архитектуру IoT. Знает технологию Веб вещей WoT. Знает способы и принципы применения WoT. Знает свойства WoT. Знает структуру представления информации для машинной обработки в виде семантической паутины. Знает предназначение новой сетевой парадигмы «Интернет nano-вещей». Знает архитектуру и компоненты nano-вещей. Знает архитектуру и концепцию когнитивного Интернета вещей CIoT. Знает объекты CIoT и схему когнитивного управления. Знает принцип работы технологии Smart dust.	Участие в семинаре
	см 4		
	ср 30		
<b>Часов по видам учебных занятий:</b>	<b>лк 20</b>		
	<b>см 20</b>		

	<b>ср 188</b>
<b>Итого часов:</b>	<b>228</b>

Формы учебных занятий:

лк – лекции в аудитории;

см – семинары в аудитории;

ср – самостоятельная работа студента.

***Содержание разделов дисциплины:***

***Тема 1. Введение в беспроводные коммуникационные технологии.***

Классификация и область применения персональных беспроводных сетей связи, беспроводных сенсорных сетей, малых и больших локальных беспроводных сетей, глобальных беспроводных сетей и спутниковой связи.

***Тема 2. Персональные беспроводные сети связи.***

Технология IrDA. Диапазон оптического излучения. Функционирование и архитектура технологии Bluetooth. Виды манипуляций сигналов при использовании Bluetooth. Многоячеечная передача данных. Методы расширения спектра. Состав пакета данных Bluetooth. Псевдослучайная перестройка рабочей частоты FHSS. Прямое последовательное расширение спектра. Bluetooth с поддержкой биометрии, GPS и IPv6. Способы кодирования и декодирования информации. Модуляция с непрерывной фазой CPFSK. Двоичная фазовая манипуляция BPSK. Дифференциальная манипуляция DBPSK. Частотно-манипулированные сигналы. Назначение ISM-диапазона. Скоростные характеристики и пропускная способность Bluetooth-технологии. Стек протоколов Bluetooth- технологии. Bluetooth 5.0. Уровни Bluetooth. Устройство и принцип работы технологии Wireless USB. Широкополосное «размазывание» Ultra Wideband. Передача информации по USB-каналу и состав пакета. Процесс записи и чтения. OFDM-модуляция. Квадратурная фазовая манипуляция QPSK.

***Тема 3. Обзор беспроводных сенсорных сетей.***

Классификация беспроводных сенсорных сетей. Область применения. Структура построения беспроводной связи с использованием систем Z-Wave, DASH7 и One-Net. Возможности систем, спроектированных по технологии Z-Wave, DASH7 и One-Net. Оборудование для реализации протоколов Z-Wave, DASH7 и One-Net.

***Тема 4. Малые и большие локальные беспроводные сети.***

Классификация малых и больших локальных беспроводных сетей. Стандарты и частотный диапазон технологии Wi-fi. Уровни модели OSI, охватываемые технологией Wi-fi. Методы доступа к сети Wi-fi. Протокол Zigbee. Характеристики технологии Zigbee. Конфигурация стеков протоколов Zigbee. Область применения технологии WiMax. Принцип работы технологии WiMax.

***Тема 5. Глобальные беспроводные сети.***

Хронология развития поколений мобильной связи 1G - 5G. Аппаратное обеспечение сетей 1G - 5G. Основы построения и функционирования LTE (4G) сетей.

Архитектура LTE сети. Услуги в сетях LTE. Физический уровень сетей LTE. Принцип множественного доступа с кодовым разделением каналов CDMA.

*Тема 6. Спутниковая связь.*

Частотное разделение сигналов в системе ГЛОНАСС. Кодовое разделение сигналов в системе Galileo. Принцип действия глобальной системы позиционирования (GPS). Частотные планы систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Географическая информационная система (ГИС). Основы технологии Iridium. Точность позиционирования. Основные средства обеспечения спутниковой навигации. Орбитальное движение навигационных спутников.

*Тема 7. Введение в концепцию Интернет-вещей IoT.*

Становление «сети следующего поколения» NGN. Модель предоставления инфокоммуникационных услуг. Эволюция архитектуры операторов связи. Классификация услуг мультисервисных сетей. Технология ISDN.

*Тема 8. Интернет вещей IoT.*

Технологическая дорожная карта. Базовые принципы IoT. Направление коммуникаций. Эталонная модель и архитектура IoT. Технология Веб вещей WoT. Способы и принципы применения WoT. Свойства WoT. Направление развития Всемирной паутины WWW. Структура представления информации для машинной обработки в виде семантической паутины. Предназначение новой сетевой парадигмы «Интернет нано-вещей». Архитектура и компоненты нано-вещей. Архитектура и концепция когнитивного Интернета вещей CIoT. Объекты CIoT и схема когнитивного управления. Принцип работы технологии Smart dust.

### **3. Оценивание**

При текущем контроле используются следующие критерии:

- посещение занятий;
- активность работы на семинарских занятиях;
- выполнение самостоятельной работы.

При итоговом контроле используются следующие критерии:

- выполнение критериев оценки знаний на этапе текущего контроля;
- точность, развернутость и корректность ответов на вопросы экзамена.

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по десятибалльной балльной шкале.

Преподаватель оценивает работу студента на семинарских занятиях, уровень посещаемости лекционных и семинарских занятий, ответ студента на экзамене.

Критерии оценки работы на семинарских занятиях: знание материала, умение сообщать материал, умение дополнять ответы, умение задавать существенные вопросы и формулировать проблему, умение готовить и презентовать доклады, посещаемость.

Оценки за работу на семинарских занятиях преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Накопленная оценка по 10-ти балльной шкале за работу на семинарских занятиях ( $O_{cm}$ ) определяется перед итоговым контролем по следующей формуле:



$$O_{cm} = (\sum_{i=1}^N O_{cmi}) / N,$$

где N – это количество семинарских занятий; i – порядковый номер семинарского занятия.

Критерии оценки работы на лекционных занятиях: знание материала, умение дополнять ответы, умение задавать существенные вопросы и формулировать проблему, посещаемость.

Оценки за работу на лекционных занятиях преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Накопленная оценка по 10-ти балльной шкале за работу на семинарских занятиях ( $O_{лк}$ ) определяется перед итоговым контролем по следующей формуле:

$$O_{лк} = (\sum_{i=1}^N O_{лki}) / N,$$

где N – это количество лекционных занятий; i – порядковый номер лекционного занятия.

Оценка самостоятельной работы определяется степенью активности работы на семинарских занятиях (ответы на вопросы по материалам, выходящим за рамки лекций, участие в обсуждениях, выполнение домашних заданий, подготовка докладов и др.).

Оценки за самостоятельную работу преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Накопленная оценка по 10-ти балльной шкале за самостоятельную работу ( $O_{ср}$ ) определяется перед итоговым контролем по следующей формуле:

$$O_{ср} = 0,5 \cdot O_{отчет} + 0,5 \cdot O_{доклад},$$

где  $O_{отчет}$  – оценка за отчет в Microsoft Word о выполнении семинаров;

$O_{доклад}$  – оценка за выступление с докладом с использованием Microsoft PowerPoint.

Накопленная оценка за текущий контроль ( $O_{текущий}$ ) учитывает результаты студента по текущему контролю следующим образом:

$$O_{текущий} = 0,2 \cdot O_{лк} + 0,5 \cdot O_{cm} + 0,3 \cdot O_{ср}.$$

Способ округления накопленной оценки текущего контроля – арифметический.

На экзамене ( $O_{экзамен}$ ) студент может получить дополнительный вопрос ( $O_{доп.вопрос}$ ) (устный вопрос или дополнительную практическую задачу), ответ на который оценивается в 1 балл. Таким образом, результирующая оценка за итоговый контроль в форме экзамена, выставляется по формуле:

Итоговая накопленная оценка по учебной дисциплине ( $O_{итог}$ ) определяется по следующей формуле:

$$O_{итог} = 0,3 \cdot O_{экзамен} + 0,6 \cdot O_{текущий} + 0,1 \cdot O_{доп.вопрос}$$

Все округления проводятся в соответствии с общими математическими правилами. Оценки за курс определяются по пятибалльной и десятибалльной шкале:

Количество набранных баллов	Оценка по десятибалльной шкале	Оценка по пятибалльной шкале
9,5-10	10	отлично
8,5-9,4	9	отлично
7,5-8,4	8	отлично
6,5-7,4	7	хорошо
5,5-6,4	6	хорошо

4,5-5,4	5	удовлетворительно
3,5-4,4	4	удовлетворительно
2,5-3,4	3	неудовлетворительно
1,5-2,4	2	неудовлетворительно
0-1,4	1	неудовлетворительно

#### 4. Примеры оценочных средств

Блокирующие элементы не предусмотрены.

Примерный перечень вопросов для экзамена:

1. Классификация персональных беспроводных сетей связи.
2. Оптическая линия связи ближнего радиуса действия IrDA (InfraRed Data Association). Принцип действия.
3. Bluetooth: история, версии, принцип действия, существующие модули (master/slave).
4. Bluetooth: число каналов, полоса пропускания, состав пакета. Скорости передачи данных. Уровни Bluetooth. Стек протоколов Bluetooth.
5. Bluetooth с поддержкой биометрии, GPS и IPv6.
6. Bluetooth 5.0. Бюджет радиоканала. Чувствительность приемника. Мощность передатчика. Скорости передачи данных. PHY Update Procedure.
7. Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты (FHSS). Frequency Hopping Spread Spectrum. Медленное и быстрое расширение спектра.
8. ISM-диапазон. Общие сведения.
9. Прямое последовательное расширение спектра (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS). Последовательность Баркера.
10. Частотно-манипулированные сигналы FSK (Frequency Shift Key). Спектр сигнала.
11. Частотная модуляция. Формирование.
12. Модуляция с непрерывной фазой CPFSK. Формирование. Частота девиации FM сигнала. Спектр сигнала.
13. Децибел. Переход от «Децибелы – разы» и от «Разы - Децибелы».
14. Фазовая манипуляция PSK (Phase Shift Keying). Формирование.
15. Двоичная фазовая манипуляция (BPSK). Формирование. Векторная диаграмма
16. Дифференциальная манипуляция BPSK (DBPSK). Формирование. Дифференциальное кодирование. Дифференциальное декодирование.
17. Квадратурная фазовая манипуляция QPSK. Структурная схема QPSK модулятора. Формирование. Принцип действия. Спектр сигнала.
18. Дифференциальная квадратурная фазовая модуляция DQPSK. Формирование.
19. Модель OSI. Уровни. Единицы измерения передаваемых данных. Сетевое оборудование.
20. Wireless USB. История, сфера применения. Изохронный трафик.
21. Ultra Wideband (UWB). Используемые уровни модели OSI. Формирование. Применение.
22. OFDM-модуляция (Orthogonal frequency-division multiplexing). Формирование. Спектр сигнала. Характеристики. Преимущества и недостатки.

23. Преобразование Фурье (прямое, обратное). Быстрое преобразование Фурье и обратное быстрое преобразование Фурье.
24. Транзакции USB. Передача информации по USB. Состав пакетов. Процесс записи данных в USB-устройство и чтения данных с USB-устройства. Структура кадра записи и чтения.
25. Разновидности цифровой манипуляции (модуляции).
26. Множественный доступ с разделением по времени TDMA (TimeDivision Multiple Access).
27. Интернет вещей. Сети следующего поколения NGN (Next Generation Networks). Инфокоммуникационные услуги (ИУ).
28. Сеть следующего поколения NGN. Требования к ИУ. Модель предоставления ИУ. Услуга переноса. Потенциальные возможности.
29. Эволюция архитектуры сетей операторов связи. Слияние сетей и технологий.
30. Классификация услуг мультисервисных сетей.
31. ISDN (Integrated Services Digital Network). Особенности.
32. Интернет вещей. Уникальный идентификатор. Технологическая дорожная карта Интернета вещей. Базовые принципы IoT. Отличия Интернета вещей от Интернета людей.
33. Новое направление коммуникаций, реализуемое Интернетом вещей (по МСЭ-Т Y.2060). Схема отображения физических и виртуальных вещей. Различия между «Интернет вещей» и «интернет-вещь».
34. Стандартизация IoT. Эталонная модель IoT согласно МСЭ-Т Y.2060.
35. Функциональная модель архитектуры IoT-A (Европейский интеграционный проект).
36. Сравнение моделей передачи данных в Интернете и в IoT.
37. Архитектура IoT. Уровни.
38. Последовательная асимметричная шина I2C (Inter-Integrated Circuit).
39. Виды соединения с агрегатором сенсоров. Стандарты/ протоколы.
40. Веб вещей WoT (WEB of Things). Основные свойства. Примеры.
41. Семантическая паутина (Semantic Web).
42. Интернет нано-вещей. Разработка новых архитектур. Компоненты.
43. Когнитивный Интернет вещей CIoT (Cognitive Internet of Things). Архитектура, концепция. Объекты CIoT. Схема когнитивного управления. Примеры.
44. Концепция виртуального объекта VO (Virtual Object).
45. Общие сведения о персональных беспроводных сетях связи: Wireless HD, Dect/Gap.
46. Общие сведения о беспроводных сенсорных сетях: DASH7, Z-Wave, One-Net.
47. Общие сведения о малых локальных беспроводных сетях: Wi-Fi, RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access), ZigBee.
48. Общие сведения о больших локальных беспроводных сетях: WiMAX.
49. Общие сведения о глобальных беспроводных сетях: мобильная связь 4G, MMDS.
50. Общие сведения о спутниковой связи: ГЛОНАСС, GPS, Iridium.

## 5. Ресурсы

### 5.1. Рекомендуемая основная литература

№ п/п	Наименование
1	Пескова, С. А. Сети и телекоммуникации: учеб. пособие для вузов / С. А. Пескова, А. В. Кузин, А. Н. Волков. – 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 350 с. – (Сер. "Высшее профессиональное образование") . - Ц(7.05).
2	Сато , Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство / Ю. Сато ; Пер. с япон. под ред. Е. Амэмия. – 2-е изд., стер. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 175 с. - Ц(11 экз.). - ISBN 978-5-941202-12-6.

### 5.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№ п/п	Наименование
1	Информационные сети и телекоммуникации: учебно - методическое пособие для самостоятельной работы студентов / Сост. И. Н. Казанский, С. М. Володин. – М.: МИЭМ, 2013. – 94 с. - ISBN 978-5-945063-11-2.

### 5.3. Программное обеспечение

№ п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1	Microsoft Windows 10	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>
2	Microsoft Office Professional Plus 2010	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>
3	PTC Mathcad	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>

5.4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№ п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1	Библиотека НИУ ВШЭ	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>

### 5.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных и семинарских занятий по дисциплине необходимы: аудитория, оснащенная видеопроектором, интерактивной доской, компьютером с необходимым программным обеспечением и аудиосистемой.

## 6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов, также, в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

6.1.1. для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в

аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.2. для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.3. для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

## **7. Дополнительные сведения**

Отчет о выполнении семинарских занятий должен содержать следующие пункты:

- Титульный лист;
- Аннотация;
- Теория;
- Ход выполнения заданий;
- Заключение (выводы).

Доклад должен быть сделан в течении 7-10 минут и содержать следующие пункты:

- Титульный лист;
- Актуальность;
- Цель и задачи;
- Основная часть;
- Заключение (выводы);
- Список используемой литературы.