

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

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Беспроводные сети для Интернета вещей
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>магистерская программа:</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

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (Весенний) - Дифференцированный зачёт

**Программу составил:** Д.В. Банков, кандидат технических наук

**Аннотация**

В данном курсе студенты познакомятся с концепцией Интернета вещей и основными технологиями беспроводной связи, используемыми для её реализации. Студенты изучат базовые аспекты беспроводных сетей для Интернета вещей, а также получат подробные знания об устройстве таких технологий, как Wi-Fi HaLow, LoRa/LoRaWAN, SigFox, RPMA, ZigBee, EC-GSM-IoT, NB-IoT. Много внимания также будет уделяться вопросам математического моделирования данных технологий, а также открытым научным задачам, касающимся беспроводных сетей для Интернета вещей.

**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)**

Семестр: 2 (Весенний)

1. Концепция Интернета вещей.

Определение Интернета вещей. Сенсоры и актуаторы. Беспроводные сенсорные сети. Основные сценарии Интернета вещей. Особенности устройств Интернета вещей. Основные задачи, решаемые при построении беспроводных сетей Интернета вещей.

2. Использование технологии Wi-Fi для Интернета вещей.

Недостатки IEEE 802.11-2016 при использовании в Интернете вещей. Стандарт IEEE 802.11ah. Физический уровень технологии Wi-Fi HaLow. Окно ограниченного доступа: описание и модель процесса передачи. Протоколы управления присоединением устройств к сети Wi-Fi HaLow: централизованное управление и распределённое. Математическое моделирование процесса присоединения к сети Wi-Fi HaLow. Методы энергосбережения в сетях Wi-Fi. Механизм сегментации транспортной карты в сетях Wi-Fi HaLow. Механизм заданного времени пробуждения устройств в сетях Wi-Fi HaLow. Передача гетерогенных потоков данных в сетях Wi-Fi HaLow.

### 3. Сотовые технологии для Интернета вещей.

Использование сотовых сетей в сценариях Интернета вещей. LTE Release 13. Технологии eMTC, NB-IoT и EC-GSM-IoT. Методы снижения энергопотребления в сотовых сетях. Методы обслуживания большого числа устройств в сотовых сетях.

### 4. Беспроводные энергоэффективные сети дальнего радиуса действия.

Понятие энергоэффективной сети дальнего радиуса действия (LPWAN). Технология LoRaWAN. Физический уровень технологии LoRaWAN: модуляция LoRa. Уровень доступа к сети технологии LoRaWAN. Модель процесса передачи устройств в сети LoRaWAN. Задача назначения сигнально-кодовых конструкций в сетях LoRaWAN. Технология SigFox. Технология NB-Fi (WAVIoT). Модель процесса передачи устройств в сетях NB-Fi. Технология RPMA.

### 5. Персональные вычислительные сети для Интернета вещей.

ZigBee. Физический уровень технологии ZigBee. Метод доступа к каналу в сети ZigBee: описание и моделирование. Процесс присоединения устройств к сети ZigBee. Bluetooth Low Energy: физический и канальный уровень. Методы снижения энергопотребления в сетях BLE. 6LoWPAN. RFID.

## **Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Khorov E., Lyakhov A., Krotov A. and Guschin A. A survey on IEEE 802.11 ah: An enabling networking technology for smart cities // *Computer Communications*. – 2015. – Vol. 58. – PP. 53-69.
2. Bankov D., Khorov E., Lyakhov A. On the limits of LoRaWAN channel access // *Engineering and Telecommunication (EnT), 2016 International Conference on*. – IEEE, 2016. – PP. 10-14.
3. Khorov E., Krotov A., Lyakhov A. Modelling Machine Type Communication in IEEE 802.11ah networks // *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 8-12 Jun., 2015, London, UK.
4. Bankov D., Khorov E., Lyakhov A. The Study of the Distributed Control Method to Hasten Link Set-up in IEEE 802.11ah Networks // *In Proc. of XV International Symposium "Problems of Redundancy in Information and Control Systems" - IEEE 2016*.
5. Bankov D., Khorov E., Lyakhov A. and Stepanova E. Fast centralized authentication in Wi-Fi HaLow networks // *Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on*. – IEEE, 2017. – PP. 1-6.
6. Bankov D., Khorov E., Lyakhov A. Mathematical model of LoRaWAN channel access with capture effect // *In Proc. of the IEEE 28<sup>th</sup> International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. – IEEE, 2017.
7. Faragher R. and Harle R. Location fingerprinting with bluetooth low energy beacons // *IEEE journal on Selected Areas in Communications*. – 2015. – V. 33. – №. 11. – PP. 2418-2428.
8. Faragher R. and Harle R. An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications // *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+’14)*. – 2014. – PP. 201-210.
9. Ratasuk R. et al. NB-IoT system for M2M communication // *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2016 IEEE*. – IEEE, 2016. – PP. 1-5.
10. Mangalvedhe N., Ratasuk R., Ghosh A. NB-IoT deployment study for low power wide area cellular IoT // *Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2016 IEEE 27th Annual International Symposium on*. – IEEE, 2016. – PP. 1-6.

11. Lauridsen M. et al. Coverage and capacity analysis of LTE-M and NB-IoT in a rural area // Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2016 IEEE 84th. – IEEE, 2016. – PP. 1-5.
12. Pollin S. et al. Performance analysis of slotted carrier sense IEEE 802.15. 4 medium access layer // IEEE Transactions on wireless communications. – 2008. – V. 7. – №. 9.
13. Baronti P. et al. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15. 4 and ZigBee standards // Computer communications. – 2007. – V. 30. – №. 7. – PP. 1655-1695.
14. Wang L., Reinhardt A. A simulative study of network association delays in IEEE 802.15. 4e TSCH networks // A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2017 IEEE 15th International Symposium on. – IEEE, 2017. – PP. 1-3.
16. De Guglielmo D. et al. A performance analysis of the network formation process in IEEE 802.15. 4e TSCH wireless sensor/actuator networks // Computers and Communication (ISCC), 2014 IEEE Symposium on. – IEEE, 2014. – PP. 1-6.

#### Дополнительная литература

1. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005.