

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

УТВЕРЖДЕНО

**ИО директора физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

Д.А. Гаврилов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Сотовая связь пятого поколения
по направлению:	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки:	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.Н. Красилов, канд. техн. наук, преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем передачи информации и анализа данных 22.03.2021

Аннотация

Целью данной дисциплины является изучение студентами основ функционирования, архитектуры и протоколов сетей сотовой связи пятого поколения (5G). В рамках курса детально рассматриваются физический и канальный уровни новой технологии радиодоступа New Radio (NR), а также архитектура и компоненты ядра сети 5G. Помимо теоретического материала студентам излагаются современные тренды в исследованиях и разработке новых поколений сотовых сетей.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами основ функционирования, архитектуры и протоколов сетей сотовой связи пятого поколения (5G), в том числе технологии построения сети радиодоступа New Radio и архитектуры ядра сети 5G.

Задачи дисциплины

- формирование у студентов углублённых знаний об архитектуре и основных протоколах систем сотовой связи пятого поколения;
- построение у студентов навыков применения полученных знаний при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи;
- оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований сотовых сетей пятого поколения.

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 пятого поколения;
- основные понятия, касающиеся архитектуры и функционирования этих сетей;
- современные направления развития технологий сотовой связи;

уметь:

- свободно ориентироваться во всем спектре современных технологий построения сетей пятого поколения;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи;

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов сотовой связи по их техническим описаниям и спецификациям.

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	Архитектура и основные принципы построения сетей 5G	6			6
2	Обзор технологии New Radio	16			16
3	Методы обеспечения заданных требований к качеству обслуживания	4			4
4	Эволюция сетей 5G и переход к сетям 6G	4			4
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Архитектура и основные принципы построения сетей 5G

Новые сценарии использования и требования к сотовым сетям пятого поколения (5G). Основные принципы построения сетей 5G и ключевые нововведения: частотные диапазоны, гибкая нумеро-логия, гибкое назначение частотно-временных ресурсов, совместимость с предыдущими и последующими поколениями (backward/forward compatibility).

Архитектура ядра сети 5G: использование технологий SDN и NFV. Обзор сетевых функций (network functions) ядра сети 5G. Разделение сетевых функций (functional split, CU/DU). Взаимодействие с сетями 4G: standalone/non-standalone operation. Разделение сетевых ресурсов (network slicing).

2. Обзор технологии New Radio

Обзор стека протоколов New Radio (NR). Физический уровень NR. Новые методы передачи, структура кадра, схемы дуплексной работы (FDD, TDD, flexible TDD). Обзор сигнально-кодовых конструкций. Частотные-временные ресурсы: понятие ресурсного блока, слота, минислота. Физические каналы в восходящей и нисходящей линиях связи: PDCCH, PDSCH, и др. Пилотные сигналы (SRS, DM-RS, CSI-RS) и оценка качества канала. Поддержка многоантенных передач (Massive MIMO) в технологии NR.

Особенности работы технологии NR в каналах миллиметрового диапазона (mmWave): процедуры поиска базовой станции и адаптивной юстировки луча, множественное подключение (multi-connectivity).

Канальный и сетевой уровень NR: отличия от стека протоколов LTE. Обзор протоколов MAC, RLC, PDCP, SDAP.

3. Методы обеспечения заданных требований к качеству обслуживания

Механизмы поддержки сервиса eMBB: обзор методов повышения пропускной способности сетей 5G, взаимодействие с протоколами транспортного уровня (в т.ч. протоколом TCP). Механизмы для поддержки сервиса URLLC: обзор методов повышения надежности и снижения задержек в сетях 5G.

4. Эволюция сетей 5G и переход к сетям 6G

Текущий статус разработки сетей 5G: обзор функциональных возможностей, введенных в Rel.15-17, и планы развития сетей 5G в последующих релизах. Новые сценарии использования и требования к сетям шестого поколения (6G). Обзор перспективных методов передачи данных и технологий для построения сетей 6G (новые частотные диапазоны, реконфигурируемые поверхности, применение искусственного интеллекта для управления сетью и др.).

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):

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А. Сети мобильной связи 5G. Технологии, архитектура и услуги. Медиа Паблишер, 2019. - 375 с. ISBN: 978-5-903650-45-3.
2. Erik Dahlman Stefan Parkvall Johan Skold. 5G NR. The Next Generation Wireless Access Technology. 2d edition. Elsevir, 608 pp. ISBN: 9780128223208.
3. Mihai Enescu. 5G New Radio: A Beam-based Air Interface. 1st Edition, Wiley, 437 pp. ISBN: 978-1-119-58238-0.

Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Sassan Ahmadi. 5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards. 1st Edition, 960 pp. ISBN 9780081022672.

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

1. Электронные ресурсы:

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

<http://www.etsi.org>

2. Базы данных телекоммуникационных стандартов сотовых сетей:

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

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 конспектам занятий, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения, решение задач;
- подготовка к экзамену.

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)

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

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: А.Н. Красилов, канд. техн. наук, преподаватель

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 «Сотовая связь пятого поколения» обучающийся должен:

знать:

- основные алгоритмы и протоколы физического, канального и сетевого уровней современных сетей пятого поколения;
- основные понятия, касающиеся архитектуры и функционирования этих сетей;
- современные направления развития технологий сотовой связи;

уметь:

- свободно ориентироваться во всём спектре современных технологий построения сетей пятого поколения;
- применять полученные знания при исследованиях и разработке протоколов и лежащих в их основе алгоритмов для современных систем сотовой связи;

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- навыком самостоятельного изучения новых стандартов сотовой связи по их техническим описаниям и спецификациям.

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 прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

1. Сценарии использования и требования к сотовым сетям 5G.
2. Основные принципы построения сетей 5G: частотные диапазоны, гибкая нумерология, гибкое назначение частотно-временных ресурсов, совместимость с предыдущими и последующими поколениями, использование концепций SDN/NFV.
3. Архитектура ядра сети 5G. Обзор сетевых функций ядра сети 5G.
4. Разделение сетевых функций (functional split, CU/DU) в сети 5G. Разделение сетевых ресурсов (network slicing).
5. Физический уровень NR: структура кадра, схемы дуплексной работы (FDD, TDD, flexible TDD). Обзор сигнально-кодовых конструкций. Частотные-временные ресурсы: понятие ресурсного блока, слота, минислота.
6. Физические каналы NR (PDCCH, PDSCH, PUCCH, PUSCH).
7. Пилотные сигналы (SRS, DM-RS, CSI-RS) и оценка качества канала.
8. Поддержка многоантенных передач (Massive MIMO) в технологии NR.
9. Особенности работы технологии NR в каналах миллиметрового диапазона (mmWave): процедуры поиска базовой станции и адаптивной юстировки луча, множественное подключение.
10. Стек протоколов NR. Обзор протоколов MAC, RLC, PDCP, SDAP.
11. Механизмы поддержки сервиса eMBB: обзор методов повышения пропускной способности сетей 5G.
12. Механизмы для поддержки сервиса URLLC: обзор методов повышения надежности и снижения задержек в сетях 5G.
13. Текущий статус разработки сетей 5G: обзор функциональных возможностей, введенных в Rel.15-17, планы на последующие релизы.
14. Новые сценарии использования и требования к сетям шестого поколения (6G). Обзор перспективных методов повышения производительности сотовых сетей.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Сценарии использования и требования к сотовым сетям 5G.
2. Новые сценарии использования и требования к сетям шестого поколения (6G). Обзор перспективных методов повышения производительности сотовых сетей.

Билет 2.

1. Основные принципы построения сетей 5G: частотные диапазоны, гибкая нумерология, гибкое назначение частотно-временных ресурсов, совместимость с предыдущими и последующими поколениями, использование концепций SDN/NFV.
2. Текущий статус разработки сетей 5G: обзор функциональных возможностей, введенных в Rel.15-17, планы на последующие релизы.

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

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

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