

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 22

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

Ю.В. Бакшеева

(инициалы, фамилия)

(подпись)

« 20 » февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Радиотехника 5G и последующих поколений»

(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	11.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Радиотехника
Наименование направленности/ специализации	Радиотехнические системы и их эксплуатация
Форма обучения	очная
Год приема	2026

Санкт-Петербург– 2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

ассист.

(должность, уч. степень, звание)



17.02.2026

(подпись, дата)

Т.М. Козлов

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 22

«17 » февраля 2026 г, протокол № 2

Заведующий кафедрой № 22

к.т.н.

(уч. степень, звание)



17.02.2026

(подпись, дата)

Ю.В. Бакшеева

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №2 по методической работе

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)



17.02.2026

(подпись, дата)

Н.В. Марковская

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Основы комплексной разработки радиотехнических систем» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 11.03.01 «Радиотехника» направленности/специализации «Радиотехнические системы радиолокации и радионавигации». Дисциплина реализуется кафедрой «№22».

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование следующих компетенций:

ПК-3 «Способен осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и устройств радиотехнических систем»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами комплексного подхода к разработке радиотехнических систем, анализом требований к их функциональным и техническим характеристикам, выбором структуры и принципов построения, а также оценкой эффективности принимаемых проектных решений.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета (7 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Радиотехника 5G и последующих поколений» является получение обучающимися необходимых знаний, умений и навыков в области построения и эксплуатации перспективных систем подвижной радиосвязи, изучение физических основ и технических решений, применяемых в стандартах 5G и разрабатываемых для поколений 6G и выше. Дисциплина направлена на формирование у студентов системного понимания эволюции радиотехнологий, принципов многопользовательского доступа, методов повышения спектральной эффективности и помехоустойчивости, а также на создание поддерживающей образовательной среды, способствующей развитию инженерного мышления и навыков самостоятельного анализа новых технических решений в области высокоскоростной беспроводной связи. Освоение материала предоставляет обучающимся развить и продемонстрировать навыки в области моделирования радиоканалов, расчета зон покрытия сетей 5G, выбора оптимальных параметров антенных решеток и оценки влияния деструктивных факторов (интерференция, затухание, многолучевость) на качество предоставляемых услуг связи с учетом требований к низкой задержке, высокой пропускной способности и надежности передачи информации в сетях нового поколения.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-5 Радиотехника 5G и последующих поколений	ПК-5.3.1 знать принципы организации архитектуры сетей 5G и последующих поколений ПК-5.3.2 знать теоретические основы и принципы построения радиотехнических систем, работающих с сигналами стандартов 5G и последующих поколений, а также их отдельных деталей, узлов и устройств ПК-5.3.3 знать особенности синтеза, генерации, передачи и приема широкополосных сигналов стандартов 5G и последующих поколений ПК-5.У.1 уметь проводить моделирование и синтез широкополосных сигналов стандартов 5G и последующих поколений ПК-5.У.2 уметь проводить моделирование отдельных деталей, узлов и устройств радиотехнических систем, работающих с сигналами стандартов 5G и последующих поколений ПК-5.В.1 владеть навыками расчета отдельных деталей, узлов и устройств радиотехнических

		систем, работающих в стандарте 5G ПК-5.В.2 владеть навыками работы с современными стандартными средствами измерений и автоматизации процессов измерений
--	--	---

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Теория сигналов»;
- «Цифровая обработка сигналов»;
- «Радиотехнические цепи и сигналы»;
- «Основы построения систем подвижной радиосвязи»;
- «Антенно-фидерные устройства»;
- «Электродинамика и распространение радиоволн».

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

- «Многофункциональные РЛС»;
- «Перспективные методы обработки информации в РТС»;
- «Помехоустойчивость радиотехнических систем»;
- «Системы связи с подвижными объектами»;
- «Адаптивные радиотехнические системы»;
- «Спутниковые радионавигационные системы»;
- «Пространственно-временная обработка радиосигналов»;
- «Радиотехнические системы передачи информации»;
- «Защита информации в радиотехнических системах»;
- «Основы построения телекоммуникационных сетей».

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№7
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	3/ 108	3/ 108
Из них часов практической подготовки	34	34
Аудиторные занятия, всего час.	51	51
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17

практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	34	34
лабораторные работы (ЛР), (час)		
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)	36	36
Самостоятельная работа , всего (час)	21	21
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Экз.,	Экз.,

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП/КР (час)	СР (час)
Семестр 7					
Раздел 1. Физические основы и стандарты радиотехники 5G Тема 1.1. Эволюция стандартов сотовой связи (1G–6G). Основные требования 5G (eMBB, URLLC, mMTC) Тема 1.2. Частотные ресурсы 5G: диапазоны FR1 и FR2 (mmWave). Особенности распространения миллиметровых волн. Тема 1.3. Множественный доступ в 5G: OFDM, Filtered-OFDM, NOMA. Нумерологии и гибкие параметры сигналов	4	8			5
Раздел 2. Антенные системы и каналные модели Тема 2.1. Массивные антенные решетки (Massive MIMO). Методы формирования диаграммы направленности (beamforming) Тема 2.2. Канальные модели для 5G (TDL, CDL). Влияние многолучевости, доплеровского сдвига и замираний. Тема 2.3. Оценка канала (CSI) и адаптация MIMO-конфигураций (SU-MIMO, MU-MIMO).	4	8			5
Раздел 3. Сетевые технологии и помехоустойчивость в 5G Тема 3.1. Архитектура сети 5G (NSA/SA). Функциональное разделение (CU/DU). Интерфейсы и протоколы. Тема 3.2. Помехоустойчивое кодирование в 5G: LDPC и полярные коды. Методы HARQ. Тема 3.3. Интерференция и методы её подавления в плотных сетях (ICIC, CoMP).	4	8			5
Раздел 4. Перспективные технологии 6G и beyond Тема 4.1. Терагерцовые диапазоны, RIS (реконфигурируемые интеллектуальные поверхности). Тема 4.2. Интеграция с спутниковыми системами (NTN) и связи в небесных платформах. Тема 4.3. Искусственный интеллект в радиоинтерфейсе (AI-native Air Interface).	5	10			6
Итого в семестре:	17	34			21

Итого	17	34	0	0	21

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
	Учебным планом не предусмотрено

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 7					
	Анализ требований стандарта 5G и расчет энергетического бюджета линии связи	Практическая работа: анализируют требования eMBB, URLLC, mMTC к параметрам сигналов, выполняют расчет потерь на трассе (FSPL) и бюджета мощности для диапазонов FR1 и FR2	8		
	Исследование параметров OFDM-сигналов и нумерологий 5G	Расчетно-графическая работа: рассчитывают длительность символа, циклического префикса и интервал между поднесущими для различных нумерологий ($\mu=0,1,2,3,4$), сравнивают CP-OFDM и DFT-s-OFDM	8		
	Моделирование каналов MIMO и исследование	Практическое занятие: рассчитывают	8		

	методов beamforming	пропускную способность канала для конфигураций MIMO (2x2, 4x4, 64x64), оценивают формирование ДН антенной решетки и эффективность подавления помех			
	Анализ канальных моделей и помехоустойчивости в 5G	Практическая работа: моделируют импульсную характеристику канала (TDL/CDL), строят графики BER для LDPC и полярных кодов, оценивают влияние многолучевости и доплеровского сдвига	10		
Всего			34		

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
Всего				

4.5. Выполнение курсового проекта/ курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 7, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	10	10
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		

Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	5	5
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	6	6
Всего:	21	21

5. Перечень учебно-методического обеспечения
для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. разделов 6-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
URL: https://e.lanbook.com/book/212156 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Зырянов, Ю. Т. Основы радиотехнических систем : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, О. А. Белоусов, П. А. Федюнин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-1903-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/118185 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Филатова, С. Г. Радиотехнические системы : учебное пособие / С. Г. Филатова. — Новосибирск : НГТУ, 2018. — 119 с. — ISBN 978-5-7782-3518-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/6050 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Радиолокационные системы : учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.] ; под	

	общей редакцией В. П. Бердышева. — Красноярск : СФУ, 2011. — 400 с. — ISBN 978-5-7638-2479-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/404444 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Лозовский, И. Ф. Теория и техника радиолокации : учебное пособие / И. Ф. Лозовский. — Новосибирск : НГТУ, 2022. — 216 с. — ISBN 978-5-7782-4774-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/153680 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Гельгор, А. Л. Технологии мобильной связи: стандарты 5G : учебное пособие / А. Л. Гельгор, В. В. Комаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-2435-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/199766 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Шувалов, В. П. Системы мобильной связи: от 1G до 5G : учебное пособие / В. П. Шувалов, В. В. Комаров. — Москва : Горячая линия – Телеком, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-9912-0531-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/170023 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Клюев, Д. С. Цифровая обработка сигналов в системах связи пятого поколения : учебное пособие / Д. С. Клюев, А. В. Кокорев. — Новосибирск : НГТУ, 2021. — 148 с. — ISBN 978-5-	

	7782-3366-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/245636 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Антенны и устройства СВЧ для систем 5G : учебное пособие / под ред. А. Е. Зюзюкина. — Воронеж : ВГТУ, 2022. — 216 с. — ISBN 978-5-7731-0598-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	
URL: https://e.lanbook.com/book/187567 — Режим доступа: для авторизованного пользователя.	Помехоустойчивость радиотехнических систем : учебное пособие / Д. В. Агеев, В. В. Галкин, П. А. Федюнин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-2807-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
http://e.lanbook.com	Электронно-библиотечная система Лань

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лекционная аудитория	
2	Мультимедийная лекционная аудитория	

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты*; Тесты.

Примечание: *экзаменационные билеты формируются на основе вопросов и задач таблицы 15.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	Обучающийся: – глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно связывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 90% до 100% тестовых заданий**.

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«хорошо» «зачтено»	Обучающийся: – твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 70% до 89% тестовых заданий**.
«удовлетворительно» «зачтено»	– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 51% до 69% тестовых заданий**.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	– обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений. – правильно выполнил менее 51% тестовых заданий**.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1	Эволюция стандартов сотовой связи (1G–6G). Основные требования и сценарии использования 5G (eMBB, URLLC, mMTC).	ПК-5.3.1
2	Частотные диапазоны 5G (FR1 и FR2). Особенности распространения радиоволн в миллиметровом диапазоне.	ПК-5.3.1
3	Технология OFDM в 5G: принципы построения, параметры сигналов, нумерологии. Сравнение CP-OFDM и DFT-s-OFDM.	ПК-5.3.1
4	Множественный доступ в 5G: OFDMA, SC-FDMA, NOMA. Принципы работы и области применения.	ПК-5.3.1
5	Архитектура сети 5G: режимы NSA и SA. Функциональное разделение (CU/DU). Интерфейсы и протоколы.	ПК-5.3.1
6	Массивные антенные решетки (Massive MIMO): принципы работы, конфигурации (SU-MIMO, MU-MIMO), преимущества и ограничения.	ПК-5.3.2
7	Методы формирования диаграммы направленности (beamforming): классификация, алгоритмы, эффективность.	ПК-5.3.2
8	Канальные модели для 5G (TDL, CDL). Параметры каналов, влияние многолучевости и доплеровского сдвига.	ПК-5.3.2

9	Оценка канала (CSI) в 5G: методы, обратная связь, адаптация MIMO-конфигураций.	ПК-5.3.2
10	Помехоустойчивое кодирование в 5G: LDPC и полярные коды. Принципы кодирования/декодирования, сравнительная характеристика.	ПК-5.3.2
11	Методы HARQ в 5G: принципы работы, типы, эффективность.	ПК-5.3.2
12	Интерференция в плотных сетях 5G. Методы подавления интерференции: ICIC, CoMP, eICIC.	ПК-5.3.2
13	Энергетический бюджет линии связи 5G. Расчет потерь на трассе, бюджета мощности для FR1 и FR2.	ПК-5.3.3
14	Планирование сети 5G: расчет зон покрытия, частотное планирование, размещение базовых станций.	ПК-5.3.3
15	Анализ помехоустойчивости системы 5G. Вероятность битовой ошибки (BER) для различных модуляций и кодовых скоростей.	ПК-5.3.3
16	Методы повышения спектральной эффективности в 5G: модуляция высокого порядка, MIMO, агрегация несущих.	ПК-5.У.1
17	Сетевые технологии 5G: Network Slicing, SDN, NFV. Принципы и практическая реализация.	ПК-5.У.1
18	Управление мобильностью в 5G: хендовер, процедуры переключения, управление радиоресурсами (RRM).	ПК-5.У.1
19	Задержки в сетях 5G: источники задержек, методы их снижения для URLLC.	ПК-5.У.1
20	Задача: рассчитать пропускную способность канала MIMO для заданной конфигурации антенн и отношения сигнал/шум.	ПК-5.У.2
21	Задача: построить диаграмму направленности линейной антенной решетки для заданных параметров (число элементов, расстояние между ними, угол сканирования).	ПК-5.У.2
22	Задача: рассчитать параметры OFDM-сигнала (длительность символа, циклический префикс, интервал между поднесущими) для заданной нумерологии.	ПК-5.У.2
23	Задача: построить график BER для LDPC или полярного кода в канале с AWGN при заданных параметрах кодирования.	ПК-5.У.2
24	Практическое задание: определить зону покрытия базовой станции 5G с учетом высоты подвеса антенн, частоты и мощности передатчика.	ПК-5.В.1
25	Практическое задание: выбрать параметры антенной решетки (число элементов, коэффициенты усиления) для обеспечения заданной пропускной способности в условиях городской застройки.	ПК-5.В.1
26	Практическое задание: оценить влияние интерференции на качество связи в заданной конфигурации сети и предложить методы её снижения.	ПК-5.В.1
27	Практическое задание: провести сравнительный анализ эффективности использования различных нумерологий OFDM для разных сценариев 5G (eMBB, URLLC, mMTC).	ПК-5.В.1
28	Практическое задание: рассчитать энергетический бюджет линии связи для заданного сценария (городская среда, наличие препятствий) и определить запас по мощности.	ПК-5.В.2
29	Практическое задание: оценить возможности применения технологий 6G (терагерцовые диапазоны, RIS, NTN) для	ПК-5.В.2

	улучшения характеристик системы связи по сравнению с 5G.	
--	--	--

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для выполнения курсового проекта / курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Какой частотный диапазон используется в 5G для обеспечения высокой скорости передачи данных на коротких расстояниях? 1. Диапазон FR1 (суб-6 ГГц) 2. Диапазон FR2 (ммWave) 3. Диапазон KB 4. Диапазон УКВ Правильный ответ: 2. Диапазон FR2 (ммWave) Обоснование: Диапазон FR2 (миллиметровые волны, 24–52 ГГц) обладает широкой полосой частот, что позволяет достигать скоростей передачи данных до 20 Гбит/с, однако имеет ограниченную дальность действия и подвержен затуханию в атмосфере и препятствиях.	
2	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Какая технология множественного доступа используется в 5G NR для нисходящего канала? 1. FDMA 2. TDMA 3. OFDMA 4. CDMA Правильный ответ: 3. OFDMA Обоснование: В 5G NR для нисходящего канала используется	

	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), которая обеспечивает высокую спектральную эффективность, устойчивость к многолучевым замираниям и гибкое распределение ресурсов между пользователями.	
3	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Что такое Massive MIMO в системах 5G? 1. Одна антенна с высоким коэффициентом усиления 2. Антенная решетка с большим числом элементов (64, 128 и более) 3. Две антенны для разнесенного приема 4. Четыре антенны для MIMO 4x4 Правильный ответ: 2. Антенная решетка с большим числом элементов (64, 128 и более) Обоснование: Massive MIMO предполагает использование антенных решеток с большим количеством элементов (обычно 64, 128 или более), что позволяет формировать узкие диаграммы направленности (beamforming), увеличивать пропускную способность и обслуживать одновременно большое количество пользователей.	
4	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Какие помехоустойчивые коды используются в 5G NR? 1. Только сверточные коды 2. LDPC и полярные коды 3. Коды Рида-Соломона 4. Коды Хэмминга Правильный ответ: 2. LDPC и полярные коды Обоснование: В стандарте 5G NR для канального кодирования используются LDPC-коды (для каналов передачи данных) и полярные коды (для каналов управления). Эти коды обеспечивают высокую помехоустойчивость и эффективность декодирования, приближаясь к пропускной способности канала.	
5	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Что такое Network Slicing в 5G? 1. Разделение частотного спектра между операторами 2. Создание виртуальных логических сетей для различных сценариев использования на одной физической инфраструктуре 3. Агрегация несущих частот 4. Метод управления мощностью передатчика Правильный ответ: 2. Создание виртуальных логических сетей для различных сценариев использования на одной физической инфраструктуре	

	Обоснование: Network Slicing позволяет создавать изолированные логические сети (срезы) с индивидуальными параметрами QoS для различных сценариев (eMBB, URLLC, mMTC) на одной физической инфраструктуре, что обеспечивает гибкость и эффективность использования ресурсов.	
6	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Для какого сценария использования 5G критически важна низкая задержка (менее 1 мс)? 1. eMBB 2. URLLC 3. mMTC 4. Все сценарии одинаково Правильный ответ: 2. URLLC Обоснование: Сценарий URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications) предъявляет жесткие требования к задержке (менее 1 мс) и надежности (вероятность ошибки 10^{-5}), что необходимо для критически важных приложений: автономное управление, дистанционная хирургия, промышленная автоматизация.	
7	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Какие режимы архитектуры сети 5G существуют? 1. Только NSA 2. Только SA 3. NSA и SA 4. GSM и UMTS Правильный ответ: 3. NSA и SA Обоснование: В 5G предусмотрены два режима архитектуры: NSA (Non-Standalone) – с использованием опорной сети LTE для управления, и SA (Standalone) – полностью автономная сеть 5G с собственной опорной сетью (5GC).	
8	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Что такое SINR в контексте оценки качества канала 5G? 1. Отношение сигнал/шум 2. Отношение сигнал/(шум + интерференция) 3. Коэффициент усиления антенны 4. Коэффициент стоячей волны Правильный ответ: 2. Отношение сигнал/(шум + интерференция) Обоснование: SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) учитывает не только тепловой шум, но и интерференцию от других передатчиков, что особенно важно в плотных сетях 5G для оценки реального	

	качества канала и выбора адаптивных параметров передачи.	
9	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Какая технология относится к перспективным направлениям развития 6G? 1. Только OFDM 2. Только Massive MIMO 3. Терагерцовые диапазоны и RIS 4. Только Wi-Fi 6 Правильный ответ: 3. Терагерцовые диапазоны и RIS Обоснование: К перспективным технологиям 6G относятся терагерцовые диапазоны (0,1–10 ТГц), обеспечивающие скорости до 1 Тбит/с, реконфигурируемые интеллектуальные поверхности (RIS) для управления распространением волн, а также интеграция со спутниковыми системами (NTN) и AI-интерфейс.	
10	Инструкция: Прочитайте вопрос, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргумент, обосновывающий выбор ответа. Вопрос: Какой стандарт определяет спецификации 5G NR? 1. IEEE 2. 3GPP 3. ITU 4. IETF Правильный ответ: 2. 3GPP Обоснование: Спецификации 5G NR (New Radio) разрабатываются и утверждаются консорциумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project), который выпускает релизы (Releases), начиная с Release 15, содержащие полный набор требований и протоколов для 5G.	

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- введение в проблематику дисциплины, обоснование актуальности изучения технологий 5G и перспектив их развития;
- изложение физических основ и принципов построения систем 5G, включая частотные диапазоны, нумерологии и методы множественного доступа;
- рассмотрение антенных систем и канальных моделей, используемых в 5G NR;
- изучение сетевых технологий, протоколов и методов помехоустойчивого кодирования;
- анализ методов оценки качества канала (SINR, CSI) и управления радиоресурсами;
- обсуждение перспективных технологий 6G и beyond (терагерцовые диапазоны, реконфигурируемые интеллектуальные поверхности, неземные сети, искусственный интеллект в радиоинтерфейсе);
- подведение итогов по каждой теме, формулировка ключевых выводов и рекомендаций для самостоятельного изучения;
- ответы на вопросы обучающихся, обсуждение сложных для понимания аспектов и практических применений рассмотренных технологий.

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимися практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Требования к проведению практических занятий

1. Подготовка к занятию. Обучающийся обязан заранее ознакомиться с темой и планом практического занятия, повторить теоретический материал по соответствующим разделам дисциплины, изучить методические указания по выполнению практических заданий, размещенные в LMS или электронных ресурсах кафедры.
2. Выполнение заданий. В ходе практического занятия обучающийся выполняет расчетные и расчетно-графические работы, предусмотренные планом. Задания выполняются последовательно, с обязательной фиксацией промежуточных результатов и выводов. При возникновении затруднений необходимо обращаться за консультацией к преподавателю.
3. Использование инструментов. Для выполнения практических заданий рекомендуется использовать инженерные пакеты программ (MATLAB/Simulink с 5G Toolbox, Python с библиотеками NumPy, SciPy, Py5G, MIMO-OFDM), табличные процессоры (Excel) для расчетов, а также специализированное программное обеспечение для моделирования каналов и сетей 5G.
4. Оформление отчетов. По итогам каждого практического занятия обучающийся оформляет отчет, содержащий: цель работы, краткие теоретические сведения, ход выполнения задания, расчетные формулы и промежуточные вычисления, полученные результаты (таблицы, графики, диаграммы), выводы по результатам работы. Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями кафедры и сдан преподавателю на проверку.
5. Самостоятельная работа. В рамках самостоятельной подготовки к практическим занятиям обучающийся должен доработать материалы, изученные на занятии, провести дополнительные расчеты по вариантам, подготовить ответы на контрольные вопросы, повторить ключевые определения и формулы.
6. Оценка выполнения. Критериями оценки являются: правильность и полнота выполнения расчетов, обоснованность принятых решений, качество оформления отчета, активность в ходе занятия, умение аргументировать полученные результаты и делать корректные выводы.

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения выполнение контрольных работ является элементом текущего контроля успеваемости и самостоятельной работы.

В процессе выполнения самостоятельной работы у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет ему развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения)..

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой