

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет вычислительной математики и кибернетики

УТВЕРЖДАЮ  
декан факультета  
вычислительной математики и кибернетики  
И.А. Соколов /  
2021г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Технологии сотовой связи**

**Уровень высшего образования:**

**магистратура**

**Направление подготовки / специальность:**

**01.04.02 "Прикладная математика и информатика" (3++)**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Перспективные методы искусственного интеллекта  
в сетях передачи и обработки данных**

**Форма обучения:**

**очная**

Рабочая программа рассмотрена и утверждена  
на заседании Ученого совета факультета ВМК  
(протокол № 4, от 29 сентября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы магистратуры в редакции приказа МГУ от 21 декабря 2021 года No 1404.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

Дисциплина (модуль) относится к части дисциплин основной профессиональной образовательной программы, формируемых участниками образовательных отношений.

Дисциплина входит в магистерскую образовательную программу «Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных» как дисциплина по выбору, изучается в 1-м семестре.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Изучение дисциплины базируется на освоении знаний по дискретной математике, компьютерным сетям, системам программирования в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненной группе направлений и специальностей 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки» и другим направлениям подготовки бакалавриата.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>		
<b>Содержание и код компетенции.</b>	<b>Индикатор (показатель) достижения компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций</b>
ПК-9. Способен создавать и применять методы объяснимого искусственного интеллекта для создания интерпретируемых интеллектуальных систем	ПК-9.1. Применяет методы объяснимого искусственного интеллекта для построения объяснимой модели интеллектуальной системы ПК-9.2. Применяет методы объяснимого искусственного интеллекта для построения объясняющего интерфейса интеллектуальной системы ПК-9.3. Применяет и разрабатывает стандарты в области объяснимого искусственного интеллекта	ПК-9.1. З-1. Знает структуры, виды обучения и типы объяснимых моделей интеллектуальной системы ПК-9.1. У-1. Умеет строить объяснимые модели для всех типов интеллектуальных систем и методов их обучения, в том числе сетей глубокого обучения, обучения с подкреплением, пространственных, темпоральных, каузальных моделей интеллектуальных систем, вероятностных моделей, имитационного обучения. ПК-9.2. З-1. Знает типы объясняющих интерфейсов для интеллектуальной системы объясняющих интерфейсов ПК-9.2. У-1. Умеет строить объясняющие интерфейсы, в том числе на базе рефлексивных объяснений, рациональных объяснений, интерактивной визуализация, интерактивных объяснений динамических систем. ПК-9.3. З-1. Знает стандарты и принципы объяснимого искусственного интеллекта ПК-9.3. У-1. Умеет применять и разрабатывать стандарты объяснимого искусственного интеллекта, постулирующие принципы прозрачности и объяснимости, чтобы вызывать доверие к своему функционированию и уверенность в выводах

		системы
--	--	---------

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 72 академических часа с контактную работу обучающихся с преподавателем – 36 академических часов занятий лекционного типа, 36 академических часов занятий практического типа. 36 академических часов на самостоятельную работу обучающихся..

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия практического типа			
Тема 1. Введение в технологии сотовых сетей	2	2	2	6	опрос
Тема 2. Физический и канальный уровни технологий LTE и NewRadio (NR) (часть 1)	2	2	2	6	опрос
Тема 3. Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 2)	2	2	2	6	опрос
Тема 4. Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 3)	2	2	2	6	опрос

Тема 5. Методы повышения эффективности радиointерфейса LTE и NR	2	2	2	6	опрос
Тема 6. Нумерация и идентификация в сетях LTE и 5G	2	2	2	6	опрос
Тема 7. Функционирование сети радиодоступа	4	4	4	12	опрос
Тема 8. Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов S1, X2 и т.д.)	4	4	4	12	опрос

Тема 9. Задача динамического планирования радиоресурсов в сотовых сетях	4	4	4	12	опрос
Тема 10. Управление сессиями абонентов, сетевые политики, качество сервиса	2	2	2	6	опрос
Тема 11. Эволюция технологии LTE и 5G	4	4	4	12	опрос
Тема 12. Подсистема IP-multimedia (IMS)	2	2	2	6	опрос
Тема 13. Базовые станции 5G в России и мире	4	4	4	12	опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—	—		—
Промежуточная аттестация (экзамен)					
<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	—

## 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Введение в технологии сотовых сетей	Общие аспекты построения сотовых сетей (лицензируемый спектр, централизованное управление, сеть радиодоступа, ядро сети, дуплекс, хендовер, роуминг). Обзор предыдущих поколений сотовых сетей и используемых методов передачи данных (1G - NMT, AMPS, 2G - GSM, 3G - UMTS/WCDMA). Эволюция технологий радиодоступа и принципов построения ядра сети в LTE и 5G. Стандартизирующие организации (ETSI, ITU, 3GPP). Основные потребительские характеристики сетей LTE и 5G. Сценарии использования сетей LTE и 5G.
2.	Тема 2. Физический и канальный уровни технологий LTE и NewRadio (NR) (часть 1)	Диапазоны частот. Сетка частот. Виды дуплекса. Принцип формирования OFDM сигнала. Виды модуляции xQAM, xQPSK. Структура кадра. Частотная структура радиоинтерфейса, понятие нумерологии.
3.	Тема 3. Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 2)	Процедуры цифровой обработки сигнала в канале вверх и вниз. Физические каналы (PDCCH, PDSCH, ит.д.). Уровень доступа к среде (планировщик, HARQ, DRX). Уровень управления радиосоединением (различные режимы работы, механизм повторных передач). Уровень PDCP (алгоритм ROCH, шифрование, упорядочение пакетов). Уровень RRC (установление соединения, рассылка системной/служебной информации).
4.	Тема 4. Физический и канальный уровни технологий LTE и NR (часть 3)	Процедуры цифровой обработки сигнала в канале (продолжение). Архитектура сети радиодоступа. Описание стека протоколов. Логические каналы. Архитектура базовой станции. Варианты разделения протоколов между устройствами CU и DU базовой станции.
5.	Тема 5. Методы повышения эффективности радиоинтерфейса LTE и NR	Применение технологии MIMO. Агрегация частот. Подключение абонентского терминала к двум базовым станциям. Компенсация дисбаланса линий вверх и вниз.
6.	Тема 6. Нумерация и идентификация в сетях LTE и 5G	Нумерация и идентификация абонентского терминала, используемая в опорной сети 5GC. Идентификация, используемая в сети радиодоступа NG-RAN. Идентификация сетевых функций и сетевых слоёв, используемая в опорной сети 5GC.

7.	Тема 7. Функционирование сети радиодоступа	Виды системной информации, вещаемой в соте. Классификация сот. Процедуры выбора сети. Состояния абонентского терминала, процедуры, выполняемые терминалом в этих состояниях.
8.	Тема 8. Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов S1, X2 и т.д.)	Сетевые функции для LTE и 5GC, их назначение. Общее представление о технологии NFV. Понятие о сетевом пласте (slice). Примеры реализаций коммерческих сетевых функций и сетевых функций с открытым исходным кодом.
9.	Тема 9. Задача динамического планирования радиоресурсов в сотовых сетях	Общая формулировка задачи планирования. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, Equal Throughput). Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP/PF). Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP). Планировщики для адаптивного видео (PFMR, SAND-based). Планировщики для URLLC-трафика.
10.	Тема 10. Управление сессиями абонентов, сетевые политики, качество сервиса	Типы сессий. Режимы обеспечения непрерывности сессий. Модель QoS. Управление QoS.
11.	Тема 11. Эволюция технологии LTE и 5G	Использование ретрансляторов. Малые базовые станции LTE. Методы снижения межсетевой интерференции (ICIC, CoMP). Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D). Принципы работы технологии LTE в нелицензируемом спектре..
12.	Тема 12. Подсистема IP-multimedia (IMS)	Архитектура подсистемы IMS и её основные элементы. Приложения подсистемы IMS. Нумерация и идентификация абонентов в подсистеме IMS. Основные процедуры подсистемы IMS. .
13.	Тема 13. Базовые станции 5G в России и мире	Стандартизация базовых станций 5G (3GPP, ETSI, O-RAN). Основные производители базовых станций 5G и используемые архитектурные решения.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Вопросы для опроса

1. Опишите достоинства и недостатки использования диапазона FR2 по сравнению с FR1
2. Какие достоинства и недостатки вы можете отметить при использовании широкой полосы частот в NR, по сравнению, например, с полосой частот в LTE?
3. Укажите способы разделения радиоканала, используемые в NR. Опишите единицу выделения радиоресурса для абонента.
4. Предположим, что продолжительность кадра, подкадра, слота NR увеличена в 10 раз по сравнению с текущим стандартом. Как это повлияет на соответствие NR сценариям применения 5G?
5. В чём причина использования нескольких видов квадратурной модуляции в NR?
6. Приведите пример какого-либо полезного эффекта от разделения БС 5G на CU и DU.
7. Какие алгоритмы реализуют многоэлементные антенные системы MIMO радиointерфейса NR?
8. Каковы возможности технологии Full Dimension MIMO (или 3D MIMO) по изменению диаграммы направленности излучения?
9. Как осуществляется управление диаграммой направленности излучения при Beam forming?
10. Какой вариант агрегации частот обозначает запись CA\_n1C\_n1A?
11. Что обозначает наименование соты PSCell в технологии Dual Connectivity?
12. Опишите архитектуру варианта EN-DC технологии Dual Connectivity.
13. Что такое виртуальная сетевая функция VNF (ВСФ)? Какие функции по управлению VNF реализует платформа NFV?
14. Дайте общую характеристику задач, решаемых сетевыми функциями UPF и UDR, приведите примеры задач.
15. Каковы полезные эффекты от построения некоторой системы, в частности, программной части 5GC, в виде ВСФ? Какие могут быть неудобства?
16. Какова возможная польза от разделения сети на сетевые слои (slices), в приложении к архитектуре 5GC?
17. Приведите 3 сценария использования спутникового канала совместно с наземной сетью 5G, какая польза есть от спутникового канала в этих сценариях
18. Какой идентификатор из числа PEI, SUPI, GUAMI присваивается индивидуально абоненту?
19. Что означает номер MSISDN?
20. Кем назначаются временные идентификаторы RNTI абонентскому терминалу?
21. Какими идентификаторами обозначается сетевой пласт (Slice)?



22. Какие процедуры выполняются при перемещении абонентского терминала, находящегося в состоянии RRC-INACTIVE в соседнюю соту, относящуюся к другой зоне нотификации (RNA)?
23. Каковы критерии выбора соты абонентским терминалом являются?
24. Каковы условия выполнения процедуры хендовера при перемещении абонентского терминала в другую соту?
25. Каковы параметры PDU сессии абонентского терминала?
26. Как при хендовере обозначается режим смены обслуживающего шлюза UPF, при котором гарантируется непрерывность PDU-сессии?
27. К какому идентификатору качества 5QI относится поток данных QoS Flow, обеспечивающий передачу голоса в реальном масштабе времени?
28. Каково назначение подсистемы IMS для сетей связи? Может ли IMS работать в проводных сетях, а не только в мобильных?
29. Назовите основные услуги мультимедиа-телефонии и хотя бы две дополнительные услуги.
30. Укажите назначение протоколов SIP и RTP
31. Чем отличается GSM SIM от USIM?
32. Приведите примеры контента и метаданных, перехватываемых службой LI (COPM).

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Вопросы к экзамену

1. Общие принципы построения сотовых сетей (лицензируемый спектр, централизованное управление, сеть радиодоступа, ядро сети).
2. Обзор различных поколений сотовых сетей и используемых методов передачи данных.
3. Архитектура сетей LTE и 5G. Архитектура ядра сети (описание различных функциональных элементов и интерфейсов).
4. Архитектура сети радиодоступа LTE и 5G. Варианты разделения протоколов между центральным и распределённым устройством базовой станции 5G.
5. Физический уровень LTE и 5G.
6. Уровень доступа к среде LTE и 5G.
7. Уровень управления радиосоединением LTE и 5G
8. Управление качеством сервиса в LTE и 5G
9. Планировщики для эластичного трафика (MR, PF, RR, Equal Throughput).
10. Планировщики для трафика реального времени (EDF, M-LWDF, EXP\PF).
11. Планировщики для веб-трафика (LAS, SRPT, SPTP).
12. Планировщики для адаптивного видео (PFMR, SAND-based).
13. Планировщики для URLLC-трафика.
14. Обеспечение качества сервиса в сетях LTE и 5G.
15. Агрегация каналов (CA) в сетях LTE.
16. Использование ретрансляторов. Малые базовые станции LTE.

17. Методы снижения межсетевой интерференции (ICIC, CoMP). Передача данных между пользовательскими устройствами (D2D).  
 18. Принципы работы технологии LTE в нелицензируемом спектре.  
 19. Обзор основных механизмов повышения производительности радиоинтерфейса 5G.  
 20. Применение в сетях 5G технологий SDN, NFV, Cloud-RAN.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине</b>				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: опрос, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: практические задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. М.: Эко-Трендз, 2010. - 281 с. ISBN: 978-5-88405-094-

Дополнительная литература

1. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006. - 288 с. ISBN: 5-94836-070-9.
2. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. - 536 с. ISBN: 5-93517-248-8.
3. Erik Dahlman. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G. 2021, 3rd Edition. 616 pp. ISBN 9780128046111

## 7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Ubuntu 18.04.
2. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия

## 7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.rostec.ru> – портал ГК Ростех
2. <http://www.rt.ru> – портал Ростелекома
3. <https://grfc.ru/grfc/> - портал ГКРЧ

## 7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <https://www.3gpp.org>
2. <https://www.etsi.org>
3. <https://www.3gpp.org/specifications>
4. <https://itechinfo.ru>
5. <https://5g-russia.ru/>
6. <https://1234g.ru>

## 7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Образовательная организация, ответственная за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет. Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

## 8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф-м.н. с.н.с. Бахмуров Анатолий Геннадьевич, к.т.н., доцент Терентьев Сергей Васильевич