

Приложение 1 к рабочей программе  
по дисциплине «Сети и системы широкополосного  
радиодоступа»

Федеральное агентство связи  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)



Утверждаю  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
Е. А. Минина  
2020 г.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

по дисциплине «Сети и системы широкополосного радиодоступа»  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
направленность (профиль) – Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа  
квалификация – бакалавр  
форма обучения – очная  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2020

Екатеринбург 2020

Федеральное агентство связи  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)

Утверждаю  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
\_\_\_\_\_ Е.А. Минина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине «Сети и системы широкополосного радиодоступа»  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
направленность (профиль) – Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа  
квалификация – бакалавр  
форма обучения – очная  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2020

## 1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин)
ПК-5 Способен к развитию беспроводных сетей, сетей радиодоступа и спутниковых систем связи	ПК 5.1 – Знает принципы построения и работы сети связи и протоколов сигнализации, используемых в сетях беспроводной связи, законодательство Российской Федерации в области связи, предоставления услуг связи, стандарты в области качества услуг связи	3	1 Этап: Беспроводные технологии передачи данных, Цифровые системы передачи, Нормативно-правовая база в профессиональной деятельности, Космические и наземные системы радиосвязи, 2 Этап: Архитектура телекоммуникационных систем и сетей, Архитектура и частотно-территориальное планирование беспроводной сети, Сети и системы мобильной связи, Стандарты и технологии в системах мобильной связи
	ПК-5.2- Умеет осуществлять конфигурационное и параметрическое планирование транспортных сетей и сетей передачи данных, анализировать качество работы транспортных сетей и сетей передачи данных; разрабатывать технические требования, предъявляемые к используемому на сети оборудованию	3	1 Этап: Беспроводные технологии передачи данных, Цифровые системы передачи, Нормативно-правовая база в профессиональной деятельности, Космические и наземные системы радиосвязи, 2 Этап: Архитектура телекоммуникационных систем и сетей, Архитектура и частотно-территориальное планирование беспроводной сети, Сети и системы мобильной связи, Стандарты и технологии в системах мобильной связи

<p><b>ПК-5</b> Способен к развитию беспроводных сетей, сетей радиодоступа и спутниковых систем связи</p>	<p><b>ПК-5.3-</b> Владеет навыками выработки решений по оперативному переконфигурированию сети, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, оборудования и технологий</p>	<p>3</p>	<p><b>1 Этап:</b> Беспроводные технологии передачи данных, Цифровые системы передачи, Нормативно-правовая база в профессиональной деятельности, Космические и наземные системы радиосвязи, <b>2 Этап:</b> Архитектура телекоммуникационных систем и сетей, Архитектура и частотно-территориальное планирование беспроводной сети, Сети и системы мобильной связи, Стандарты и технологии в системах мобильной связи</p>
--	---	----------	---

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин)
<p><b>ПК-2</b> Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием и основными нормативно-правовыми и нормативно-техническими документами</p>	<p><b>ПК 2.2 – Знает</b> принципы построения технического задания при проектировании средств и сетей широкополосной беспроводной связи и их элементов; структуру и основы подготовки технической и проектной документации, системного подхода в проектировании систем широкополосной беспроводной связи; современные технические решения создания объектов и систем широкополосной беспроводной связи и их компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение</p>	<p>2</p>	<p><b>1 Этап:</b>, Сети и системы мобильной связи, Стандарты и технологии в системах мобильной связи</p>

<b>ПК-2</b> Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием и основными нормативно-правовыми и нормативно-техническими документами	<b>ПК-2.3-</b> Умеет использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации, современные информационно-коммуникационные технологии, в том числе специализированное программное обеспечение для решения задач проектирования и проведения расчетов	2	<b>1 Этап:</b> Сети и системы мобильной связи, Стандарты и технологии в системах мобильной связи
	<b>ПК-2.6-</b> Владеет навыками сбора исходных данных, необходимых для разработки проектной документации, оформления проектной документации в соответствии со стандартами и техническими регламентами	2	<b>1 Этап:</b> , Сети и системы мобильной связи, Стандарты и технологии в системах мобильной связи

Форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен (8 семестр).

## 2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1 Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Шкала оценивания	Результаты обучения	Дескрипторы уровней освоения компетенций
<b>ПК 5.1 – Знает</b> принципы построения и работы сети связи и протоколов сигнализации, используемых в сетях беспроводной связи, законодательство Российской Федерации в области связи, предоставления услуг связи, стандарты в области качества услуг связи		
Низкий (пороговый) уровень	Обладает базовыми знаниями протоколов в беспроводных сетях,	Имеет слабое представление о принципах построения и работы сети связи и протоколов сигнализации, используемых в сетях беспроводной связи, слабо знает законодательство Российской Федерации в области связи, предоставления услуг связи, стандарты в области качества услуг связи
Средний уровень	обладает знаниями о синхронизации протоколов между собой, знает законодательную базу Российской Федерации в области связи, предоставления услуг связи, стандарты в области качества услуг связи	Обладает базовыми знаниями протоколов в беспроводных сетях, обладает знаниями о синхронизации протоколов между собой, знает законодательную базу Российской Федерации в области связи, предоставления услуг связи, стандарты в области качества услуг связи
Высокий уровень		В полной мере владеет осознает работу протоколов в различных беспроводных сетях, легко строит предположения по проектированию беспроводных сетей и находит оптимальные пути решения возникающих проблем при проектировании, хорошо знает

		законодательную базу и требования к построению сетей.
<p><b>ПК-5.2- Умеет</b> осуществлять конфигурационное и параметрическое планирование транспортных сетей и сетей передачи данных, анализировать качество работы транспортных сетей и сетей передачи данных; разрабатывать технические требования, предъявляемые к используемому на сети оборудованию</p>		
Низкий (пороговый) уровень	Умеет осуществлять конфигурационное и параметрическое планирование беспроводных сетей, анализировать их, самостоятельно проектировать простые сети	Имеет слабое представление об основных аспектах проектирования беспроводных сетей, плохо формулирует требования предъявляемые к оборудованию, используемому на сети
Средний уровень		На базовом уровне разбирается в параметрах и характеристиках беспроводных устройств, способен к анализу работы беспроводных сетей, хорошо разбирается в требованиях к оборудованию, используемому на сети, способен самостоятельно спроектировать простую сеть
Высокий уровень		Свободно умеет разбираться в параметрах и характеристиках беспроводных устройств, хорошо понимает работу беспроводных сетей основанную на различных способах передачи данных, способен к анализу работы беспроводных сетей, хорошо разбирается в требованиях к оборудованию, используемому на сети, способен самостоятельно спроектировать сеть
<p><b>ПК-5.3- Владеет</b> навыками выработки решений по оперативному переконфигурированию сети, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, оборудования и технологий</p>		
Низкий (пороговый) уровень	Владеет основными навыками по реконфигурации сети, изменению ее параметров и подбору оборудования беспроводных сетей	Не может самостоятельно принять правильное решение по реконфигурации сети и изменению ее параметров, а также не может самостоятельно осуществить подбор оборудования беспроводной сети
Средний уровень		Владеет основными навыками по реконфигурации сети, изменению ее параметров и подбору оборудования беспроводных сетей
Высокий уровень		В полной мере владеет навыками по реконфигурации сетей, хорошо осознает решение проблем возникающих на сети и может качественно осуществить подбор оборудования

Шкала оценивания	Результаты обучения	Дескрипторы уровней освоения компетенций
<b>ПК 2.2 – Знает</b> принципы построения технического задания при проектировании средств и сетей широкополосной беспроводной связи и их элементов; структуру и основы подготовки технической и проектной документации, системного подхода в проектировании систем широкополосной беспроводной связи; современные технические решения создания объектов и систем широкополосной беспроводной связи и их компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение		
Низкий (пороговый) уровень	Обладает базовыми знаниями о структуре проектирования беспроводных сетей связи, системно подходит к проектированию, имеет базовые знания о компонентах и оборудовании беспроводных сетей	Имеет слабое представление о принципах проектирования сетей беспроводной связи, слабо ориентируется в современном и перспективном оборудовании беспроводных систем связи, плохо разбирается в программном обеспечении устройств беспроводной связи
Средний уровень		Обладает базовыми знаниями о структуре проектирования беспроводных сетей связи, системно подходит к проектированию, имеет базовые знания о компонентах и оборудовании беспроводных сетей
Высокий уровень		В полной мере осознает все аспекты проектирования беспроводных сетей, свободно ориентируется в компонентах и оборудовании беспроводных сетей, системно подходит к проектированию
<b>ПК-2.3- Умеет</b> использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации, современные информационно-коммуникационные технологии, в том числе специализированное программное обеспечение для решения задач проектирования и проведения расчетов		
Низкий (пороговый) уровень	Умеет осуществлять конфигурационное и параметрическое планирование беспроводных сетей, анализировать их, самостоятельно проектировать простые сети	Может слабо использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации, плохо умеет использовать программное обеспечение для проектирования и расчета параметров сетей беспроводной связи
Средний уровень		Умеет использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации, умеет на базовом уровне использовать программное обеспечение для проектирования и расчета параметров сетей беспроводной связи, способен самостоятельно исправлять недочеты в расчетах
Высокий уровень		Свободно умеет ориентироваться в нормативно-технической документации, умеет заранее

**ПК-2.6- Владеет** навыками сбора исходных данных, необходимых для разработки проектной документации, оформления проектной документации в соответствии со стандартами и техническими регламентами

Низкий (пороговый) уровень		Не может самостоятельно без помощи преподавателя осуществить качественный сбор исходных данных, слабо владеет методикой оформления проектной документации
Средний уровень	Владеет основными навыками по составлению и оформлению проектной документации беспроводных широкополосных сетей	Владеет основными навыками по подбору исходных данных для проектной документации, владеет основными навыками ее оформления
Высокий уровень		В полной мере владеет навыками по сбору исходных данных для выполнения проектной документации, хорошо разбирается в стандартах и регламентах ее оформления



2.2 Таблица соответствия результатов промежуточной аттестации по дисциплине уровню этапа формирования компетенций

Форма контроля	Шкала оценивания	Код индикатора достижения компетенций	Уровень освоения компетенции
Лабораторные работы	зачёт	ПК 5.1,ПК 5.2	Низкий
		ПК 5.1,ПК 5.2	Средний
		ПК 5.1,ПК5.3	Высокий
Практические занятия	зачет	ПК 2.3,ПК 2.2	Низкий
		ПК 2.2, ПК 2.5	Средний
		ПК 2.2,ПК 2.6. ПК 5.1	Высокий
Экзамен	Экзамен	ПК 5.1,ПК 2.2	Низкий
		ПК 5.1, ПК5.2,ПК 2.3	Средний
		ПК5.1,ПК 5.3,ПК 2.6	Высокий

**3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

Процесс оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, представлен в таблицах по формам обучения:

Тип занятия	Тема (раздел)	Оценочные средства
<b>ПК 5.1 – Знает</b> принципы построения и работы сети связи и протоколов сигнализации, используемых в сетях беспроводной связи, законодательство Российской Федерации в области связи, предоставления услуг связи, стандарты в области качества услуг связи		
Лекция	Методы модуляции и помехоустойчивого кодирования применяемые в сетях радиодоступа Технические основы проектирования сетей радиодоступа. Безопасность сетей радиодоступа.	Зачет
Лабораторная работа	Исследование методов цифровой модуляции беспроводных сетей Исследование принципов образования зон покрытия сигнала мобильной связи Изучение алгоритмов шифрования Wi-Fi	Отчет по лабораторной работе
Практические занятия	Изучение помехоустойчивого кодирования Расчет зоны Френеля	Отчет по практическим занятиям
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчет по лабораторным работам, практическим,зачет

<b>ПК-5.2- Умеет</b> осуществлять конфигурационное и параметрическое планирование транспортных сетей и сетей передачи данных, анализировать качество работы транспортных сетей и сетей передачи данных; разрабатывать технические требования, предъявляемые к используемому на сети оборудованию		
Лекция	Сети радиодоступа стандарта DECT Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.11 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.15 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.16	Зачет
Лабораторная работа	Визуализация работы сетей IEEE 802.11 и IEEE 802.15 Исследование методов цифровой модуляции беспроводных сетей	Отчет по лабораторной работе
Практические занятия	Расчет зоны покрытия Wi-Fi с помощью различных моделей Расчет зоны Френеля Моделирование защищенной Wi-Fi сети	Отчет по практическим занятиям
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчет по лабораторным работам, практическим, зачет
<b>ПК-5.3- Владеет</b> навыками выработки решений по оперативному переконфигурированию сети, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ, оборудования и технологий		
Лекция	Сети радиодоступа стандарта DECT Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.11 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.15 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.16	Зачет
Лабораторная работа	Визуализация работы сетей IEEE 802.11 и IEEE 802.15 Исследование методов цифровой модуляции беспроводных сетей	Отчет по лабораторной работе
Практические занятия	Расчет зоны покрытия Wi-Fi с помощью различных моделей Расчет зоны Френеля Моделирование защищенной Wi-Fi сети	Отчет по практическим занятиям
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчет по лабораторным работам, практическим, зачет

**ПК 2.2 – Знает** принципы построения технического задания при проектировании средств и сетей широкополосной беспроводной связи и их элементов; структуру и основы подготовки технической и проектной документации, системного подхода в проектировании систем широкополосной беспроводной связи; современные технические решения создания объектов и систем широкополосной беспроводной связи и их компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение

Лекция	Сети радиодоступа стандарта DECT Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.11 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.15 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.16 Безопасность сетей радиодоступа	Зачет
Лабораторная работа	Визуализация работы сетей IEEE 802.11 и IEEE 802.15 Исследование методов цифровой модуляции беспроводных сетей	Отчет по лабораторной работе
Практические занятия	Расчет зоны покрытия Wi-Fi с помощью различных моделей Расчет зоны Френеля Моделирование защищенной Wi-Fi сети	Отчет по практическим занятиям
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчет по лабораторным работам, практическим, зачет

**ПК-2.3- Умеет** использовать нормативно-техническую документацию при разработке проектной документации, современные информационно-коммуникационные технологии, в том числе специализированное программное обеспечение для решения задач проектирования и проведения расчетов

Лекция	Сети радиодоступа стандарта DECT Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.11 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.15 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.16 Безопасность сетей радиодоступа	Зачет
Лабораторная работа	Визуализация работы сетей IEEE 802.11 и IEEE 802.15 Исследование методов цифровой модуляции беспроводных сетей	Отчет по лабораторной работе
Практические занятия	Расчет зоны покрытия Wi-Fi с помощью различных моделей Расчет зоны Френеля Моделирование защищенной Wi-Fi сети	Отчет по практическим занятиям
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчет по лабораторным работам, практическим, зачет

<b>ПК-2.6- Владеет</b> навыками сбора исходных данных, необходимых для разработки проектной документации, оформления проектной документации в соответствии со стандартами и техническими регламентами		
Лекция	Сети радиодоступа стандарта DECT Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.11 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.15 Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.16	Зачет
Лабораторная работа	Визуализация работы сетей IEEE 802.11 и IEEE 802.15	Отчет по лабораторной работе
Практические занятия	Расчет зоны покрытия Wi-Fi с помощью различных моделей Расчет зоны Френеля Моделирование защищенной Wi-Fi сети	Отчет по практическим занятиям
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Отчет по лабораторным работам, практическим, зачет

#### 4. Типовые контрольные задания

Представить один пример задания по каждому типу оценочных средств для каждой компетенции, формируемой данной дисциплиной.

**ПК-5** Способен к развитию беспроводных сетей, сетей радиодоступа и спутниковых систем связи

##### 4.1.1 Типовое задание для практических работ по дисциплине:

Ассамблея радиосвязи МСЭ, учитывая, что распространение радиоволн в свободном пространстве является эталонным понятием в радиотехнике, рекомендует, чтобы для расчёта ослабления в свободном пространстве использовались методы, изложенные в **ITU-R P.525**.

Для линии связи пункта с пунктом ослабление в свободном пространстве между изотропными антеннами, называемое также основными потерями передачи в свободном пространстве (обозначения:  $L_{bf}$  или  $A_0$ ), целесообразно рассчитывать следующим образом:

$$L_{bf} = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda}\right)$$

Уравнение также можно записать, используя вместо длины волны частоту, причем  $f$  в МГц,  $d$  в км:

$$L_{bf} = 32,4 + 20\lg(f) + 20\lg(d)$$

**Задание 1:** рассчитать затухание в радиоканале согласно варианта (таблица 1) используя модель свободного пространства. Зарисовать в отчет схематично трассу, график затухания на трассе:

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, км	4,118	1,122	4,079	3,926	1,678	1,432	4,791	2,799	1,176
f, МГц	5700	7100	5835	2200	2490	5250	5650	4200	4900

#### 4.1.2 Типовое задание для лабораторной работы по дисциплине:

Вопросам распространения радиоволн в системах мобильной связи посвящено большое количество научных трудов, в которых приводятся различные математические модели распространения радиоволн (РРВ). Существуют модели детерминированные, статистические, эмпирические и полуэмпирические. Детерминированные модели основываются на радиоволновой физике. В статистических моделях используются результаты экспериментальных исследований. Следует отметить, что, несмотря на многочисленные результаты, полученные при проведении исследований по определению характеристик электромагнитного поля при распространении радиоволн в городских условиях, до сих пор не существует единой методики, позволяющей с высокой степенью достоверности определить значение поля в различных участках радиотрассы.

Логично начать с модели затухания в свободном пространстве. В электросвязи потери на трассе в свободном пространстве (FSPL – free space path loss) – это ослабление энергии радиоизлучения между точками питания двух антенн, которое является результатом комбинации зоны захвата приемной антенны и беспрепятственного пути прямой видимости через свободное пространство (обычно воздушное). Расчет FSPL регламентируется рекомендацией МСЭ-R P.525-3 «Расчет ослабления в свободном пространстве». Потери в свободном пространстве увеличиваются пропорционально квадрату расстояния между антеннами, поскольку радиоволны распространяются по закону обратных квадратов, и уменьшаются пропорционально квадрату длины волны радиоволн. FSPL редко используется отдельно, а скорее, как часть формулы передачи Фрииса, которая включает усиление антенн. Это фактор, который должен быть включен в бюджет линии мощности системы радиосвязи, чтобы гарантировать, что достаточная мощность радиосигнала достигает приемника, чтобы передаваемый сигнал принимался четко. Формула потерь в свободном пространстве выглядит следующим образом:

$$D_{FSPL} = \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2,$$

где  $D_{FSPL}$  – потери в свободном пространстве;

$d$  – расстояние между антеннами, м;

$f$  – частота сигнала, Гц;

$c$  – скорость света в вакууме.

Удобна её формулировка для использования с логарифмическими единицами:

$$D_{FSPL} = 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f - 147.55.$$

Обычно, данная формула является составной частью для других математических моделей, когда антенны находятся в прямой видимости, например – двухлучевой.

#### 4.Ход работы

Запустить ПО Matlab

Выполнять последовательно руководство, исследуя приводимые модели и приводя результаты расчетов в отчет с подробным описанием параметров моделей и Вашей интерпретацией. Привести листинг кода программы в Matlab.

### Затухание в свободном пространстве

Потери на трассе в свободном пространстве вычисляются как функция расстояния распространения и частоты. В свободном пространстве радиосигналы распространяются с постоянной скоростью (скоростью света) во всех направлениях. На достаточно большом расстоянии излучатель выглядит как точка в пространстве, а волновой фронт образует сферу, радиус которой равен  $R$ . Плотность мощности на фронте волны обратно пропорциональна  $R^2$

$$\frac{P_t}{4\pi R^2}$$

где  $P_t$  мощность передатчика. Для моностатического радара, где сигнал должен проходить в обоих направлениях (от источника к цели и обратно), зависимость на самом деле обратно пропорциональна  $R^4$ , как показано ранее в уравнении радара. Потери, связанные с этим механизмом распространения, называются потерями на пути распространения в свободном пространстве, иногда также называемыми потерями на распространение. В количественном отношении потери на трассе в свободном пространстве также зависят от частоты, определяемой выражением:

$$L_{fs} = 20 * \log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \text{ dB}$$

Обычно, потери мощности при распространении часто выражаются в дБ.

На следующем рисунке показано, как потери на трассе в свободном пространстве изменяются на частоте от 10 до 1000 ГГц для разных диапазонов.

**ПК-2** Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием и основными нормативно-правовыми и нормативно-техническими

#### 4.2.1 Типовое задание для практических работ по дисциплине:

На этапе расчета возможной зоны покрытия сети, необходимо определить максимально допустимые потери на линии (МДП). Эти потери приводят к ослаблению сигнала при его прохождении в свободном пространстве от передатчика до приемника. Существует несколько методик расчетов МДП, но в данной работе было решено остановиться на модели Окамура-Хата. В этом случае, местность представляется как квазиплоская. Рельеф местности, а также здания, расположенные по прямой, соединяющей eNB и UE, вызывают дифракцию передаваемого eNB сигнала. В результате, из-за движения UE происходят колебания сигнала относительно среднего уровня, которые подчиняются логарифмически- нормальному закону распределения вероятности. Наконец объекты (холмы, здания, неровности и так далее), располагающиеся на пути приема, вызывают явление многолучевого распространения, из-за чего происходят колебания уровня сигнала, которые подчиняются вероятностному закону распределения Рэлея.

Модель Окамура-Хата – модель медианных потерь на трассах наземной подвижной связи положена в основу стандартной модели COST321-Nata, рекомендуемой Европейским институтом стандартов связи (ETSI). Проведенные практические исследования показывают хорошие результаты совпадения практически измеренных значений уровней сигналов и рассчитанных с использованием модели Окамура-Хата.

Для начала, рассчитаем МДП как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью передатчика (ЭИИМ) и минимально необходимой мощностью

сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике с учетом всех потерь.

Модель расчета МДП отражает рисунок 2.

eNodeB

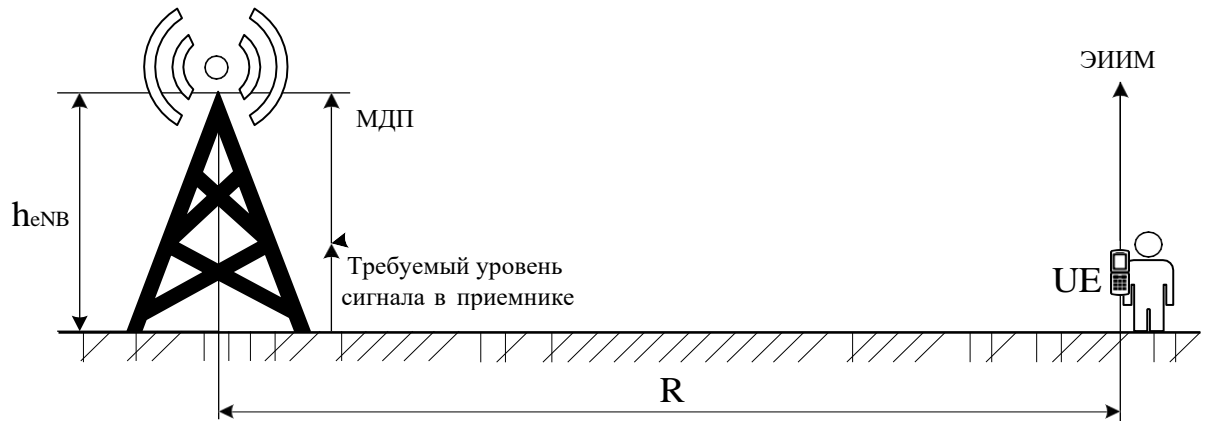


Рисунок 2 – Модель расчета максимально допустимых потерь на линии

В расчетах используются следующие параметры (под ?? взять из предыдущей главы:

ширина полосы: ?? МГц. Для выбранного разделения FDD = 10/10 (DL/UL);

eNB – на каждом секторе один TRX, выходная мощность TRX = от 60 до 80 Вт для DBS3900. Работает на линии DL в режиме MIMO ??.

UE – абонентский терминал четвертой ?? (выводы из предыдущего раздела.

Например, для :LTE cat4-7. В среднем ЭИИМ=33 дБм;

соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Расчет максимально допустимых потерь выполним по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{ЭИИМ.прд}} - S_{\text{ч.пр.}} + G_{\text{А.прд.}} - L_{\text{Ф.прд.}} - M_{\text{пом.}} - M_{\text{прон.}} + G_{\text{но.}}$$

где  $P_{\text{ЭИИМ.прд}}$  – эквивалентная излучаемая мощность передатчика;  $S_{\text{ч. пр.}}$

– чувствительность приемника (берется из спецификации БС DBS3900);

$G_{\text{А. прд.}}$  – коэффициент усиления антенны передатчика,  $G_{\text{А. прд.}}$ : DL = ?? дБи, UL

= 0 дБи;

(где ?? – указано в спецификации антенны (поле «Gain»))

$L_{\text{Ф. прд.}}$  – потери в фидерном тракте передатчика (только для DL) Для нахождения потерь в фидере надо найти подходящую модель фидерного кабеля(сборки), из спецификации найти уровень потерь на 1 метр и умножить на длину фидера по варианту, также необходимо учесть, что иногда возможность заказать фидер нужной длины

возможности нет. В таком случае необходимо будет умножить величину потерь на 1 метр на всю длину фидера. Например: у вас по варианту задана длина фидера 0.8 метра, но сборка продается только длиной 3 метра, в таком случае величину потерь на 1 метр необходимо умножить на длину именно сборки (3 метра) Примерный вид спецификации:

<b>ATTENUATION AND POWER RATING</b>			
<b>Frequency</b>	<b>Attenuation</b>		<b>Power</b>
	<b>MHz</b>	<b>dB/100m</b>	
0.5	0.24	0.072	15.40
1	0.34	0.102	15.40
1.5	0.41	0.125	15.40
2	0.48	0.145	15.20
10	1.07	0.325	6.79
20	1.51	0.461	4.79
30	1.86	0.566	3.90
50	2.41	0.734	3.01
88	3.21	0.978	2.26
100	3.43	1.04	2.12
108	3.56	1.09	2.04
150	4.21	1.28	1.72
174	4.55	1.39	1.59
200	4.89	1.49	1.48
300	6.02	1.84	1.20
400	7.00	2.13	1.04
450	7.44	2.27	0.975
500	7.86	2.40	0.923
512	7.96	2.43	0.911
600	8.65	2.64	0.838
700	9.38	2.86	0.773
800	10.10	3.07	0.72
824	10.20	3.12	0.709
894	10.70	3.25	0.679
900	10.70	3.27	0.677
925	10.90	3.31	0.667
960	11.10	3.38	0.654
1000	11.30	3.45	0.64
1250	12.80	3.89	0.568
1500	14.10	4.29	0.515
1700	15.10	4.59	0.481
1800	15.50	4.74	0.467
2000	16.50	5.01	0.441
2100	16.90	5.15	0.429
2200	17.30	5.28	0.418
2400	18.20	5.54	0.399
3000	20.50	6.26	0.353
3500	22.40	6.82	0.324
4000	24.10	7.35	0.301
5000	27.40	8.34	0.265
6000	30.30	9.25	0.239
7000	33.20	10.10	0.219
8000	35.80	10.90	0.202
9000	38.40	11.70	0.189
10000	40.80	12.40	0.178
12000	45.50	13.90	0.159
13500	48.80	14.90	0.149

Рисунок 3 - Примерный вид спецификации потерь

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Длина фидера: 1м	Длина фидера: 2м	Длина фидера: 1.3м	Длина фидера: 0.8м	Длина фидера: 1.7м



$M_{\text{прон}}$  – запас на проникновение сигнала в помещение (например, для сельской местности,  $M_{\text{прон}} = 12$  дБ, брать значения запаса из литературы и общедоступных источников, для модели Окамура-Хата);

$M_{\text{пом}}$  – запас на помехи.  $M_{\text{пом}}$  определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах, значение  $M_{\text{пом}}$  соответствует нагрузке в соседних сотах 70%. Примерно  $M_{\text{пом}}$ : DL = 6,4 дБ, UL = 2,8 дБ;

$G_{\text{ho}}$  – выигрыш от хэндовера. Значение выигрыша от хэндовера – результат того, что при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте, абонентский терминал может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема.  $G_{\text{ho}} = 2,3$  дБ.

$P_{\text{ЭИИМ.прд}}$  рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ЭИИМ.прд}} = P_{\text{вых.прд}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{Ф.прд}},$$

где  $P_{\text{вых.прд}}$  – выходная мощность передатчика.  $P_{\text{вых.прд}}$  в линии «вниз» (DL) в LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая может колебаться от 1,4 до 20 МГц. Мощность передатчика была определена в начале главы (спецификация БС DBS3900), также необходимо учесть, что нужно произвести пересчет из Вт в дБм;

$S_{\text{ч. пр}}$  рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ч. пр}} = P_{\text{тш. пр}} + M_{\text{осш. пр}} + L_{\text{пр}},$$

где  $P_{\text{тш. пр}}$  – мощность теплового шума приемника,  $P_{\text{тш. пр}}$ .

DL = в среднем (-105 до -110) дБм, UL = -118,8 дБм;

$M_{\text{осш. пр}}$  – требуемое отношение сигнал/шум приемника. Значение  $M_{\text{осш. пр}}$ :

DL = -0,24 дБ; UL = 0,61 дБ;

$L_{\text{пр}}$  – коэффициент шума приемника,  $L_{\text{пр}}$ : DL = 7 дБ, UL = 2,5 дБ.

С учетом полученных результатов по формуле рассчитаем значение МДП.

Из двух значений МДП, полученных для линий DL и UL выбираем самое критическое, важное для абонента (линия UL), чтобы вести последующие расчеты дальности связи и радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

В модели Окамура-Хата предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:

$$L_R = 69,55 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_{eNB} - \alpha(h_{UE}) + (44,9 - 6,55 \lg h_{eNB}) \times (\lg R),$$

где  $f_c$  – частота;

$h_{eNB}$  – высота передающей антенны (подвеса eNB);

$h_{UE}$  – высота принимающей антенны (антенны мобильного устройства);

$d$  – дальность связи в км;

$\alpha(h_{UE})$  – поправочный коэффициент для высоты антенны подвижного объекта, зависящий от типа местности;

$R$  – радиус базовой станции.

Определим параметры для расчетов:

$f_c$  – возьмем как центральную частоту линии вниз для полосы;

$h_{eNB}$  – (для вышек в черте города брать высоту от 40 до 50м, для сельской местности от 25 до 35м);

$h_{UE} = 1,7$  метра (средний рост человека).

Найдем поправочный коэффициент  $\alpha(h_{UE})$  по формуле:

$$\alpha(h_{UE}) = (1,11 \lg f_c - 0,7) \times h_{UE} - (1,56 \lg f_c - 0,8),$$

Подставив в формулу значение поправочного коэффициента из МДП из и условия расчета найдем радиус соты. Таким образом: по модели Окамуры-Хата студенту нужно построить график потерь (потери от расстояния), отметить на нем точку МДП, провести перпендикуляр на ось расстояния и следовательно будет найдено расстояние, которое показывает на какой дистанции от БС уровень потерь превысит МДП и связь будет невозможна (если это расстояние превысить).

#### 4.2.1 Типовое задание для лабораторных работ по дисциплине:

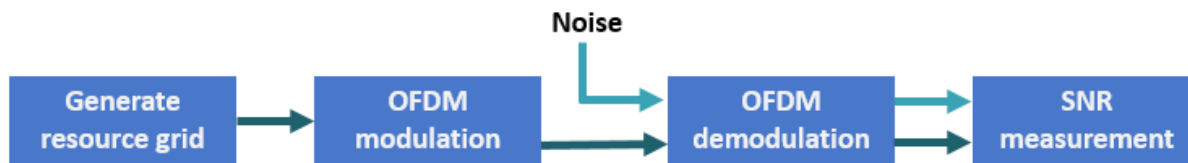
Моделирование шумовых характеристик:

Обычно отношение сигнал/шум выражается в децибелах (дБ):

Чем больше это отношение, тем меньше шум влияет на характеристики системы.

Таким образом, при соотношении сигнал шум около 0, значение шума становится настолько высоким, что выделить полезный сигнал, становится почти невозможно.

В скрипте производится моделирование следующей схемы:



Для моделирования канала связи с шумом в ПО Matlab, необходимо вверху интерфейса программы нажать на иконку «Open» и выбрать файл «SNR2.m»

В первой строке отрегулировать значение на `SNRdB = 0;`

Таким образом произойдет моделирование самого плохого случая.

Для начала моделирования нажать кнопку «Run» вверху интерфейса Matlab.

Примерный результат моделирования:

```
Received signal power per RE antenna 1 = -33.186 dBm
Received noise power per RE antenna 1 = -33.2432 dBm
SNR (antenna 1) = 0.057195 dB
Received signal power per RE antenna 2 = -33.186 dBm
Received noise power per RE antenna 2 = -33.2371 dBm
SNR (antenna 2) = 0.051146 dB
```

*Студенту, также необходимо привести скриншот результата в отчете*

В первых двух строках результата приводятся значения уровня сигнала и уровня шума для первой антенны соответственно.

В строках 4 и 5 приводятся значения уровня сигнала и уровня шума для приемной антенны соответственно.

#### **4.3 Перечень вопросов для экзамена:**

1. ОФМ и КАМ модуляция, основной алгоритм работы, преимущества и недостатки, привести пример где используются данные типы модуляции.

2. Коды Рида-Соломона, алгоритм восстановления потерянных данных, схема кодера.

3. коды LDPC, алгоритм обнаружения ошибок, схема кодера.

4. Модель Окамуры-Хата, алгоритм расчета, ограничения использования.

5. Модель Ли, алгоритм расчета, ограничения использования.

6. Модель Волфиша-Икегами, алгоритм расчета, ограничения использования.

7. Сети радиодоступа стандарта DECT. Технические параметры, топологии, принципы функционирования

8. Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.11. Технические параметры, топологии, принципы функционирования

9. Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.15. Технические параметры, топологии, принципы функционирования.

10. Сети радиодоступа стандарта IEEE 802.16. Технические параметры, топологии, принципы функционирования.

11. Зона Френеля, алгоритм расчета.

12. Безопасность сетей радиодоступа. Алгоритмы шифрования WEP, WPA, WPA2

13. Многолучевое распространение, особенности распространения сигнала в городской среде.

14. Технология MIMO в системах связи. Преимущества и недостатки

15. Перспективы развития беспроводных сетей сотовой связи

16. Перспективы развития беспроводных сетей Wi-Fi

17. Сети IoT с точки зрения беспроводных сетей, перспективы развития

**5. Банк контрольных заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации**


Представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI:

<http://www.aup.uisi.ru>

Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры ОПДТС

29.05.2020 г.      Протокол № 9

Заведующий кафедрой (разработчика)

  
подпись

Н.В. Будылдина  
инициалы, фамилия

29.05.2020 г.

Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры [ОПДТС]

29.05.2020 г.      Протокол № 9

Заведующий кафедрой (разработчика)

\_\_\_\_\_

подпись

Н.В. Будылдина  
инициалы, фамилия

29.05.2020 г.