

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра управления в технических системах**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
СЕТИ И СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**

**Б1.В.ДВ.10**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Многоканальные телекоммуникационные системы**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>3</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	4
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	6
4.3 Лабораторные работы.....	17
4.4 Практические занятия.....	17
4.5 Контрольные мероприятия.....	17
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>18</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>19</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>19</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>19</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>19</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ практических работ .....	19
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>38</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>39</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>40</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>44</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>44</b>
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>	<b>45</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к экспериментально-исследовательскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Изучение студентами особенностей построения современных систем мобильной связи (СМС), предоставляющих разнообразные услуги связи мобильным и фиксированным абонентам, а также особенностей технических характеристик СМС различных стандартов.

## Задачи дисциплины

Сформировать умение осуществить выбор частотного плана построения сетей связи; формирование представления об основных стандартах связи и структуре построения сетей; умение осуществить выбор оптимальной схемы организации мобильной радиосвязи для конкретных условий.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-3	Способность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации	<b>Знать:</b> - принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи; <b>Уметь:</b> - формулировать основные технические требования к телекоммуникационным сетям и системам, оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники; <b>Владеть:</b> - навыками практической работы с лабораторными макетами аналоговых и цифровых устройств, методами компьютерного моделирования физических процессов при передаче информации.
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	<b>Знать:</b> - особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем; <b>Уметь:</b> - оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники; <b>Владеть:</b> - навыками расчета внешних характеристик систем передачи данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.10 Сети и системы мобильной связи относится к дисциплинам по выбору.

Дисциплина сети и системы мобильной связи базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин Б1.В.ОД.13 Многоканальные телекоммуникационные системы, Б1.В.ОД.18 Моделирование сетей связи.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, сети и системы мобильной связи представляет основу для Б2.П.2 производственная (преддипломная) практика и подготовки к Б3 государственной итоговой аттестации.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение

требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	8	72	36	12	12	12	36	-	зачет
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			8
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	36	10	36
Лекции (Лк)	12	6	12
Лабораторные работы (ЛР)	12	2	12
Практические работы (ПР)	12	2	12
Индивидуальные (групповые) консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	12	-	12
Подготовка к лабораторным работам	12	-	12
Подготовка к практическим работам	12	-	12
Подготовка к зачету в течение семестра	12	-	12
<b>III. Промежуточная аттестация зачет</b>	-	-	-
Общая трудоемкость дисциплины ..... час.	72	-	72
зач. ед.	2	-	2

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самосто- ятельна я работа обучаю- щихся
			лекции	лабораторные работы	практич еские работы	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Эволюция систем радиосвязи</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
1.1.	Конвергенция сетей подвижной и фиксированной связи.	1	0,5	-	-	0,5
1.2.	Системы радиосвязи.	2	1	-	-	1
1.3.	История возникновения.	2	1	-	-	1
1.4.	Основные понятия и термины.	2	1	-	-	1
1.5.	Международные и национальные стандарты	1	0,5	-	-	0,5
<b>2.</b>	<b>Поколения сетей сотовой связи</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
2.1.	Первое поколение 1G.	2	1	-	-	1
2.2.	Системы второго поколения D-AMPS.	1	0,5	-	-	0,5
2.3.	Мобильная связь третьего поколения 3G.	1	0,5	-	-	0,5
2.4.	Мобильная связь четвертого поколения 4G.	2	1	-	-	1
2.5.	Мобильная связь пятого поколения 5G.	2	1	-	-	1
<b>3.</b>	<b>Сетевая технология GSM</b>	<b>56</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>28</b>
3.1.	Введение в GSM .	9	0,5	2	2	4,5
3.2.	Структура сети GSM .	9	0,5	2	2	4,5
3.3.	SIM – карта.	9	0,5	2	2	4,5
3.4.	Подсистема базовой станции.	10	1	2	2	5
3.5.	Регистр HLR и центр аутентификации AuC.	9	0,5	2	2	4,5
3.6.	Гостевой регистр VLR	5	0,5	1	1	2,5
3.7.	Центр коммутации MSC и SMS-центр.	5	0,5	1	1	2,5
	<b>ИТОГО</b>	<b>72</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>36</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### 1. Эволюция систем радиосвязи

#### 1.1. Конвергенция сетей подвижной и фиксированной связи.

Несмотря на их относительную молодость, сети подвижной связи (СПС) проникли сегодня во все сферы жизни - в быт, политику, бизнес, развлечения, безопасность и так далее. Их влияние на современное постиндустриальное общество трудно переоценить, кое-кто может считать это влияние потенциально пагубным (например, меньше становится возможностей для частной жизни, то есть для того, что сейчас часто называют прайвеси), но все согласятся, что оно является революционным.

Отличительными характеристиками всего класса систем подвижной радиосвязи является мобильность хотя бы одного из абонентов и отсутствие проводного соединения между абонентским терминалом и коммутационным оборудованием сети связи.

#### 1.2. Системы радиосвязи.

##### Бесшнуровые телефонные системы

Появившиеся в самом начале 80-х годов прошлого века бесшнуровые телефонные системы вместо проводов между телефонным аппаратом и трубкой использовали радиоканал, сохраняя функциональные возможности и качество связи обычного проводного телефона. Зона радиопокрытия базовой станции в силу малой мощности последней ограничивалась пространством офиса или квартиры.

Наиболее известным стандартом беспроводной телефонии является разработанная ETSI *цифровая усовершенствованная беспроводная связь DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)*, сменившая беспроводные телефоны второго поколения *CT-2 (Cordless Telephony-2)*.

Первые спецификации DECT были опубликованы ETSI в 1992 г., а в 1997 г. появился базовый профиль DECT, поддерживающий телефонную связь в диапазоне 1880-1900 МГц.

##### Пейджинговые системы

*Пейджинговые (paging) системы*, официально называемые системами персонального радиовызова, обеспечивают одностороннюю связь от центральной базовой станции к мобильному абонентскому пейджеру, куда та пересылает адресованные владельцу этого пейджера сообщения. Сообщение имеет вид последовательности буквенно-цифровых символов.

##### Транкинговые системы

Основные области применения *транкинговых систем подвижной связи* - корпоративные и ведомственные сети, такси, милиция, аварийные службы, автомобильные компании и т.п. В такой системе предусматривается определенное количество радиоканалов для всех ее пользователей; из этого количества один радиоканал выделяется каждому абоненту на время соединения.

Первая советская транкинговая система радиотелефонной связи «Алтай» начала эксплуатироваться в середине 60-х годов прошлого века, набрав к концу 80-х годов более 20 тысяч абонентов. Наиболее распространенными аналоговыми профессиональными транкинговыми системами являлись системы стандарта МРТ 1327, поддерживающие метод доступа к системе, называемый *синхронная ALOHA с динамической длиной кадра (Dynamic Framelength Slotted ALOHA)*.

Цифровые транкинговые системы TETRA (*Trans European Trunked Radio*) стандартизованы ETSI в начале 90-х годов. Они предусматривают передачу как речи, так и данных, обеспечивая более высокую спектральную эффективность по сравнению с аналоговыми транкинговыми системами, лучшее использование частот, более высокую скорость передачи данных, цифровое кодирование речи с возможностью шифрования. TETRA позволяет коммутировать каналы и пакеты, передавать короткие сообщения, получать доступ в Интернет, поддерживать услуги телеметрии, передачу данных и видеотелеинформации.

##### Беспроводные компьютерные сети

Как и в бесшнуровых телефонах, беспроводный доступ к локальным компьютерным сетям *WLAN (Wireless Local Area Networks)* характеризуется ограниченной зоной покрытия и небольшой излучаемой мощностью. Более широкое распространение, в том числе и в быту, приобрел *стандарт Bluetooth*, название которого происходит от имени датского короля Синезуба, правившего в X веке. Устройства Bluetooth работают в диапазоне 2.45 ГГц при малом радиусе действия и встраиваются в персональные компьютеры, MP3-проигрыватели, фото- и видеокамеры, мобильные телефоны.

##### Спутниковая связь

В 1947 году известный писатель-фантаст Артур Кларк опубликовал научный доклад, в котором высказал предположение, что среди возможных орбит спутников на разном удалении от поверхности Земли есть такие орбиты, на которых спутник сможет служить хорошим инструментом для радиокommunikаций. Чуть позже были начаты первые эксперименты со спутниками на низких околоземных орбитах: то есть спутники находились на сравнительно малом удалении от земной поверхности и вращались вокруг Земли гораздо быстрее, чем Земля вращается вокруг своей оси. Кларк высказал идею послать спутник на более высокую, так называемую геостационарную орбиту, где он будет вращаться вокруг Земли точно с такой же скоростью, с какой Земля вращается вокруг своей оси, то есть может являться коммуникационным узлом, фактически висющим неподвижно над заданной точкой Земли.

В соответствии с этой теорией в СССР, а затем и в США уже в конце 50-х годов были запущены первые

экспериментальные спутники. С тех пор на орбиту было выведено большое количество коммерческих спутников для поддержки телефонии общего пользования, а также телевидения. И если первые спутники связи могли обслуживать лишь 240 телефонных каналов, то сегодня с помощью спутниковой связи обслуживается значительная часть междугородного телефонного трафика и практически все телепередачи.

#### Системы сотовой связи

Именно о сотовой связи, разработанной для поддержки мобильности абонентов и для увеличения пропускной способности радиотелефонии путем использования нескольких передатчиков и приемников ограниченной мощности и ограниченного радиуса действия, но с многократным использованием частот.

### 1.3. История возникновения.

Опыты с передачей радиосигналов на расстояние, которые начал в 1888 году Генрих Герц (и которые послужили основанием переименования в его честь единицы частоты, ранее обозначавшейся как количество циклов в секунду), успешно продолжили Никола Тесла, Александр Попов, Гульельмо Маркони.

Благодаря их изобретениям к моменту возникновения мобильной радиосвязи все технически важное для нее уже было известно. В 20-х годах прошлого века произошел новый прорыв в технологиях беспроводной связи - появились системы связи с амплитудной модуляцией (*АМ*), а затем - и с частотной модуляцией (*FM*).

Первые случаи применения мобильной радиосвязи с частотной модуляцией имели место уже в 1940-х годах и помогали обеспечивать связь во время Второй мировой войны. Эти разработки были продолжены в мирное время, и в 1950-х годах услуга мобильной телефонии в ограниченной степени стала доступной в некоторых больших городах.

Однако такие системы обладали небольшой емкостью, имели место существенные ограничения и в географии, и в применениях, связанных с мобильной радиосвязью. Эти ограничения были обусловлены проблемами обмена радиосигналами с единственной центральной станцией, обслуживавшей небольшое количество абонентов, антенны которых в нашей стране украшали в свое время крыши наиболее престижных в те годы автомобилей - черных «Волг». Обмен радиосигналами с одной и той же центральной радиостанцией существенным образом сдерживал развитие мобильной радиосвязи.

Принципиальный прорыв в устранении этих ограничений стал возможен благодаря изобретению сотовой связи. Именно принципы сотовой связи позволили преодолеть ограничения, накладываемые мобильной радиосвязью, не внося никаких существенных изменений в радиодоступ. Изменилась «только лишь» *сетевая архитектура* (в книге уже не раз подчеркивалось и сейчас опять подчеркивается определяющее значение именно сетевого аспекта, изучаемого в нашем курсе «Сети связи»). Таким образом, сеть подвижной связи стала строиться на совершенно новых сетевых принципах:

- разделение области охвата мобильной радиосвязью на отдельные зоны, называемые сотами;
- наличие значительного количества радиопередатчиков (как минимум, по одному на соту) низкой мощности с небольшими зонами передачи сигналов;
- повторное применение частот в смежных сотах, позволяющее повысить эффективность использования выделенного частотного диапазона;
- централизованное управление обслуживанием вызовов для обеспечения мобильной связи при перемещении подвижного абонента из соты в соту.

### 1.4 Основные понятия и термины.

Рассматриваемые сети мобильной связи в технической литературе называются сетями *подвижной, мобильной* или *сотовой* связи. Все три термина, как правило, используются как синонимы, хотя в последнее время намечаются некоторые расхождения.

Дело в том, что беспроводные технологии, наряду с сотовыми телефонами и смартфонами, активно осваивают огромный рынок ноутбуков и КПК, пользователям которых необходима высокая скорость передачи данных при ограниченной мобильности в отношении как скорости передвижения, так и непрерывности связи.

Здесь возможности русского языка дают нам предложенную в [18] возможность называть *мобильным* все, что можно переносить и через что можно выходить в сеть связи в любом месте, а *подвижной* - традиционную *сотовую* связь.

Термин *сотовая (cellular)* означает, что сеть разделена на ряд сот - ячеек, географических участков, как показано на рис.1. Каждой соте назначается частотный диапазон, который можно повторно использовать в других сотах.

В каждой соте имеется своя *базовая станция BS (Base Station)*, которая содержит радиопередающее и радиоприемное оборудование и обеспечивает радиосвязь с теми мобильными телефонами, которые оказываются в данной соте.

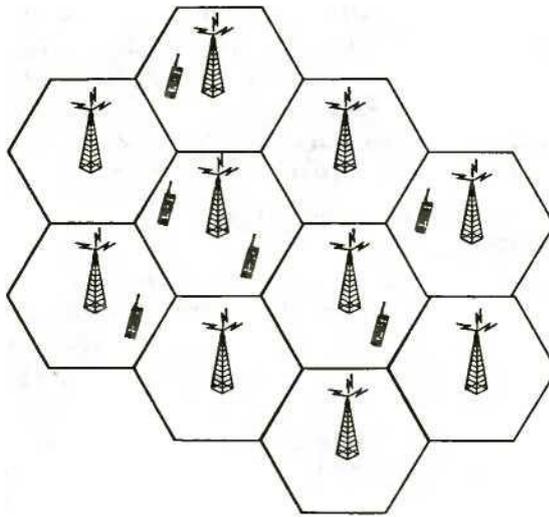


Рис. .1. Соты в СПС

Зона охвата соты зависит от ряда таких факторов, как мощность передатчика базовой станции, мощность передачи мобильного телефона, высота антенны базовой станции, топология местности. Кроме того, размеры сот варьируются и потому, что каждая сота может обслуживать только ограниченное количество сотовых телефонных аппаратов, которые носят название *мобильных терминалов или мобильных станций MS (Mobile Station)*, обычно - от 600 до 800, то есть соты становятся меньше в зонах с более высокой плотностью населения. Охват соты может лежать в пределах от всего лишь 100 метров до десятков километров. Поясним причину выбора шестиугольной формы сот, как это представлено на рис. 1.

С первого взгляда, более естественными могли бы показаться квадратные соты или, например, соты, соответствующие кварталам городской застройки. Однако каждая квадратная ячейка со стороной  $a$  будет иметь четыре граничащие с ней стороны ячейки на расстоянии  $a$  от ее центра до центров этих четырех ячеек, а также еще четыре другие граничащие с ней ячейки, расстояния от ее центра до центров которых по теореме Пифагора равно  $a\sqrt{2}$ .

Такая конфигурация создает очевидные проблемы для переключения на новую антенну абонента при его движении от центра данной ячейки. Очевидно, что для эффективного переключения весьма желательно, чтобы центры всех ячеек, граничащих с данной, были на одинаковом расстоянии от ее центра.

Из школьного курса геометрии известно, что равное расстояние между центрами смежных ячеек достигается при шестиугольной их конфигурации, когда радиус  $a$  окружности, описанной вокруг шестиугольника, равен длине стороны шестиугольника и расстоянию от центра шестиугольной ячейки до каждой из ее вершин. При такой сетевой конфигурации расстояние между центром ячейки и центром любой смежной ячейки равняется  $a\sqrt{3}$ , а антенны граничащих с ней ячеек находятся на равных расстояниях друг от друга вне зависимости от направления перемещения мобильного абонента.

Несколько базовых станций подсоединены к *контроллеру базовых станций BSC (Base Station Controller)*, который содержит логику управления каждой из этих станций. Все BSC подсоединены к *центру коммутации подвижной связи MSC (Mobile Switching Center)*, который управляет установлением соединений к мобильным абонентам и от них. MSC предоставляет те же функциональные возможности, что стандартный коммутатор ТФОП, но еще поддерживает и ряд специальных функций для мобильной связи. В частности, MSC должен содержать собственную логику, чтобы иметь дело с мобильными станциями и поддерживать функции *хэндовера и роуминга*.

Если во время соединения мобильный абонент перемещается из одной соты в другую, очевидно, что управление обслуживанием вызова должно порекомендовать новой соте (точнее, ее базовой станции). Этот процесс и называют *хэндовером (handover или handoff)*. Заметим, что термин *handoff* обычно используют применительно к стандартам AMPS и D-AMPS, а термин *handover* используется применительно к рассматриваемой в лекции 13 системе GSM, но оба эти термина являются синонимами.

Пример сценария *хэндовера* изображен на рис. 2. Этот рисунок иллюстрирует революционное значение хэндовера, позволившее вместо часто обыгрываемой в старых детективных фильмах ситуации, когда герой по указанию злоумышленника перебегает от одного уличного телефона-автомата к другому, спокойно разговаривать этому герою по мобильному телефону в движущемся автомобиле.

Фактически, *хэндовер* означает переключение абонента с одного радиоканала и/или временного интервала на другой радиоканал или временной интервал, как правило, без уведомления абонента об этом изменении. Если интенсивность сигнала падает ниже заданного уровня, то есть, по-видимому, пользователь перемещается в другую соту или приближается к границе текущей соты, то проверяется, не принимает ли соседняя сота сигнал с более высоким уровнем, и если это так, обслуживание мобильного абонента переключается на эту соту.



Рис. .2. Хэндовер

### 1.5. Международные и национальные стандарты.

Работа ИТУ в области мобильной телефонии велась в рамках программы *будущей системы наземной мобильной телефонной связи общего пользования FPLMTS*, которая затем была переименована в *международную систему подвижной связи IMT2000*. В следующих лекциях прослеживается путь от стандартов мобильных сетей первого поколения через сети второго поколения к стандартам мобильных сетей третьего поколения 3G.

В сфере мобильной связи Комиссия Евросоюза в 1985 году организовала европейскую программу исследований в области новейших технологий связи - программу *RACE*, - в рамках которой родились идеи, а затем и концепции стандартов GSM и универсальной системы мобильной связи *UMTS*

Для работ над спецификациями систем третьего поколения мобильной связи 3G было решено объединить усилия и ресурсы разных региональных организаций, занимающихся разработкой стандартов в области СПС. Для этого шестью организациями из пяти разных частей света был создан партнерский проект *3GPP (Third Generation Partnership Project)*.

Задачи и состав 3GPP постепенно расширялись, стала очевидной целесообразность организовать преемственность с системами *GSM, GPRS (General Packet Radio Service)* и *EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)*.

2 часа на интерактивное занятие. (фильм + обсуждение)

## 2. Поколения сетей сотовой связи.

### 2.1. Первое поколение 1G.

Сотовая связь, как мы понимаем ее сегодня, реально началась в самом конце 70-х годов прошлого века. Известны результаты опытной эксплуатации в Чикаго в 1978 году системы *AMPS (Advanced Mobile Phone Service)* в диапазоне 800 МГц. Однако потребовалось несколько лет, прежде чем в Соединенных Штатах была запущена первая коммерческая система AMPS, в том же Чикаго, но уже в 1983 году. Вскоре за ним последовали другие крупные города США, также использовавшие на том этапе аналоговые системы стандарта AMPS.

Между этими двумя событиями коммерческая система сотовой связи была запущена в 1979 году в Токио. Европейцы пошли своим путем, и в Швеции, Норвегии, Дании и Финляндии была создана в 1981 году первая европейская система *NMT-450 (Nordic Mobile Telephone System)*, работавшая в диапазоне 450 МГц. Великобритания внедрила в 1985 году другую технологию, которая называлась *TACS (Total Access Communications System)*, работала в диапазоне 900 МГц и, в сущности, являлась модифицированной версией AMPS.

Мобильную связь в стандарте TACS первоначально предлагали операторы мобильной связи BT, Cellnet и Vodafone.

Названным примерам последовали многие другие страны, и скоро услуги мобильной связи распространились по всему земному шару. Это открытое для эксплуатации в самом начале 1980-х годов первое поколение сотовой связи 1G уже позволяло реализовать упоминавшиеся в предыдущей лекции ключевые концепции: повторное использование частот в сотах, мобильность терминалов с определением их местонахождения в той или иной соте, непрерывность связи при перемещении из соты в соту - хэндовер. То есть уже системы 1G смогли решить одну из основных проблем беспроводной связи - передачу установленного соединения от одной радиостанции к другой без потери связи.

Еще одна проблема была решена благодаря повторному использованию частот, позволившему обслуживать значительно более высокий объем трафика в одной географической зоне обслуживания. Не вдаваясь в детали, отметим, что системы 1G относятся к одному из двух ключевых стандартов - скандинавскому NMT и американскому AMPS. Оба эти стандарта кратко рассматриваются ниже.

Но прежде было бы справедливо отметить присущие обеим этим системам недостатки. Речь идет о возможности прослушивания переговоров, возможности изготовления клонов мобильных терминалов, перегруженности частотного диапазона вследствие его неэффективного использования.

Этот стандарт технологии FDMA был совместно разработан скандинавскими странами (Данией, Норвегией, Швецией и Финляндией) для диапазона 450 МГц, а после насыщения этого диапазона - и для 900 МГц, получив обозначение NMT-900. В состав сетевой архитектуры NMT входят центры коммутации подвижной связи MTX (Mobile Telephone Exchange), базовые станции BS и абонентские терминалы. Центры коммутации MTX обеспечивают стык с телефонной сетью общего пользования на местном, зонавом и междугородном уровнях. Базовые станции реализуют интерфейс между фиксированной частью системы и мобильными терминалами и связаны со станциями MTX по проводным или радиорелейным соединительным линиям.

В России NMT-450 был признан первым федеральным стандартом. В 1991 году Оператор «Дельта Телеком» ввел в эксплуатацию первую отечественную СПС в Санкт-Петербурге. Первые мобильные телефоны сети «Дельта» стоили порядка \$2000 и весили 5 кг. В 1995 году было подписано соглашение о взаимном автоматическом роуминге региональных Операторов NMT-450 в рамках национальной сети. Сегодня систему NMT почти полностью вытеснили стандарты GSM и CDMA, включая и CDMA-450.

#### Система AMPS

Система *усовершенствованной мобильной телефонной связи, AMPS (Advanced Mobile Phone System)* технологии FDMA, изобретенная в знаменитой Лаборатории Белла в 70-х годах XX века, впервые была развернута в Чикаго, США в 1982-1983 годах, а затем распространилась по всей Северной и Южной Америке и Австралии. С этой же системы началась история отечественной операторской компании «Вымпелком» (торговая марка БиЛайн), входящей в так называемую «Большую тройку» Операторов сотовой связи России. В 1992 году в Москве была запущена пилотная сеть БиЛайн на 200 абонентов, а с 1994 началась коммерческая эксплуатация. Система AMPS использовалась также в Англии, Испании, Китае, Новой Зеландии, Гонконге и некоторых других странах, где она называлась TACS.

Существовала также система *C-Netz*, которая использовалась в Германии, Австрии, Южной Африке и Португалии. Некоторые фундаментальные характеристики этой системы были унаследованы ее цифровым последователем *D-AMPS*, относящимся уже к поколению 2G.

#### 2.2. Системы второго поколения D-AMPS.

В отличие от аналоговых систем первого поколения системы второго поколения являются цифровыми. Использование цифровой технологии имеет ряд преимуществ, включая увеличенную емкость сети, лучшую защищенность и новые услуги. Подобно системам первого поколения были разработаны разные типы технологии второго поколения. В число трех наиболее успешных вариантов технологии второго поколения входят GSM, D-AMPS, CDMA.

Первой из перечисленных технологий - *GSM* целиком посвящена следующая лекция и потому в этой лекции она упоминается лишь вскользь, а несколько подробнее рассматриваются остальные системы.

Полностью цифровая система D-AMPS технологии FDMA описывается международным стандартом IS-136 и предшествующим ему IS-54. Она разработана таким образом, чтобы успешно сосуществовать с AMPS. Так, D-AMPS использует те же каналы 30кГц, что и AMPS, которые располагаются в том же диапазоне. В России с 1995 года московская сеть БиЛайн начала переход на DAMPS. Стоимость подключения составляла рекордную сумму около \$6000. Система D-AMPS была широко распространена в США и, в несколько измененной форме, в Японии. Практически весь остальной мир использует системы GSM и CDMA. В России в 2000 году решением ГКПЧ было предписано к 2010 году прекратить эксплуатацию сотовых СПС стандартов AMPS/D-AMPS и передать частоты для развертывания сетей цифрового телевидения. В качестве компенсации потери частот 800 МГц Операторам были предоставлены частоты для GSM 1800.

#### Стандарт CDMA

Два вида стандартов - D-AMPS и GSM - традиционные системы, использующие частотное и временное уплотнение для разделения спектра на каналы и разделения каналов на интервалы, о чем говорилось еще в предыдущей лекции. Совершенно иначе устроена система *CDMA (Code Division Multiple Access)*, принципы которой перевернули привычные каноны беспроводной связи.

Кроме того, технология CDMA является и базой для систем третьего поколения 3G, о чем ниже В отличие от NMT, AMPS, D-AMPS и GSM, вместо разделения доступного частотного диапазона на сотни узких каналов в CDMA каждый терминал может при передаче все время пользоваться всем выделенным спектром частот.

Одновременный множественный доступ обеспечивается за счет применения теории кодирования. В [44] предлагается рассмотреть в качестве аналогии CDMA зал ожидания в аэропорту. Множество пар оживленно беседуют. Временное уплотнение можно сравнить с ситуацией, когда все люди находятся в центре зала и говорят по очереди. Частотное уплотнение мы сравним с ситуацией, при которой люди находятся в разных углах и одновременно, но независимо ведут свои разговоры, которые не слышны остальным.

Для CDMA лучше всего подходит сравнение с ситуацией, когда все - в центре зала, однако каждая пара говорящих использует свой язык общения. Русскоговорящие обсуждают свои вопросы, воспринимая чужие разговоры на других языках как шум. Именно такой подход к выделению полезного сигнала при игнорировании всех остальных и является ключевой идеей CDMA.

#### 2.3. Мобильная связь третьего поколения 3G.

Работы над 3G начались относительно давно: в 1992 году Международный союз электросвязи предпринял первую попытку специфицировать систему третьего поколения 3G и выпустил проект под названием *IMT-2000* (*International Mobile Telecommunications*). В нем число 2000 отражало сразу три аспекта: во-первых, оно указывало на год, в котором планировалось ввести в эксплуатацию этот проект; во-вторых, именно в таком диапазоне частот в мегагерцах должна была работать система; в-третьих, в радиointерфейсе предполагалось поддерживать как раз такую скорость передачи в кбит/с. Но ни один из этих трех аспектов осуществить не удалось.

В 2000 году система реализована не была. Хотя ИТУ и рекомендовал национальным администрациям связи всех стран резервировать частоту 2000 МГц (2 ГГц) для международного роуминга, никто кроме Китая этого не сделал.

Кроме того, было осознано, что практически невозможно выделить каждому мобильному абоненту постоянную пропускную способность в 2 Мбит/с, что гораздо разумнее дифференцированный подход: выделить 2 Мбит/с абоненту, который находится дома или в офисе, 384 Кбит/с - абоненту, прогуливающемуся с ограниченной скоростью, и 144 Кбит/с - абоненту, едущему в автомобиле. Предусматривались следующие основные услуги, для которых и задумывалась сеть IMT-2000: высококачественная передача речи, доступ в Интернет, обмен сообщениями (e-mail, факс, SMS, чат), видеоконференции, электронные игры, мобильная коммерция (использование мобильного телефона для оплаты покупок), мультимедиа (музыка, видео, фильмы, телевидение

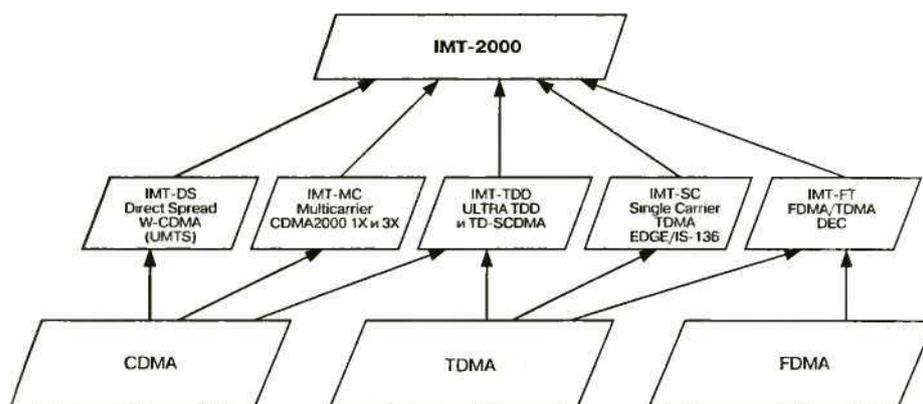


Рис. 3. Планировавшаяся эволюция к IMT-2000

Из рисунка видны трудности однозначного определения 3G при наличии нескольких конкурирующих платформ радиодоступа, которые, будем надеяться, достигнут полной унификации к поколению 4G или позже (если вообще достигнуто).

#### 2.4. Мобильная связь четвертого поколения 4G.

Несмотря на то, что сеть 3G до сих пор не реализована в полном объеме, многие исследователи рассматривают ее появление как свершившийся факт и уже работают над созданием систем четвертого поколения, которые будут характеризоваться более высокой пропускной способностью, полной конвергенцией с проводными IP-сетями, адаптивным управлением частотным спектром и высоким качеством обслуживания мультимедийного трафика. Эти исследования стимулируются тем, что сегодня повсеместно устанавливается большое количество точек доступа к беспроводным ЛВС стандарта 802.11, строятся хот-споты Wi-Fi и зоны WiMAX и т.п.

Подобно тому, как было со стандартом 3G, ИТУ взяла под свой контроль 4G, привязав его к спецификации, известной как IMT-Advanced. Документ призывает к скорости входящих данных в 1 Гбит/с для стационарных терминалов и 100 Мбит/с для мобильных. Это в 500 и 250 раз быстрее по сравнению с IMT-2000. Это действительно огромные скорости, которые могут обогнать рядовой DSL-модем или даже прямое подключение к широкополосному каналу.

Беспроводные технологии играют ключевую роль в обеспечении широкополосного доступа в сельской местности. Это более рентабельно — построить одну станцию 4G, которая обеспечит связь на расстоянии десятков километров, чем покрывать сельхозугодья одеялом из оптоволоконных линий.

К сожалению, эти спецификации являются настолько агрессивными, что ни один коммерческий стандарт в мире не соответствует им. Исторически сложилось, что технологии WiMAX и Long-Term Evolution (LTE), которые призваны добиться такого же успеха как CDMA2000 и GSM, считаются технологиями четвертого поколения, но это верно лишь отчасти: они оба используют новые, чрезвычайно эффективные схемы мультиплексирования (OFDMA, в отличие от старых CDMA или TDMA которые мы использовали на протяжении последних двадцати лет) и в них обоих отсутствует канал для передачи голоса. 100 процентов их пропускной способности используется для услуг передачи данных. Это означает, что передача голоса будет рассматриваться как VoIP. Учитывая то, как сильно современное мобильное общество ориентировано на передачу данных, можно считать это хорошим решением.

Где WiMAX и LTE терпят неудачу, так это в скорости передачи данных, у них эти значения теоретически находятся на уровне 40 Мбит/с и 100 Мбит/с, а на практике реальные скорости коммерческих сетей не

превышают 4 МБит/с и 30 МБит/с соответственно, что само по себе очень неплохо, однако не удовлетворяет высоким целям IMT-Advanced. Обновление этих стандартов — WiMAX 2 и LTE-Advanced обещают сделать эту работу, однако она до сих пор не завершена и реальных сетей, которые их используют, по-прежнему не существует.

Тем не менее, можно утверждать, что оригинальные стандарты WiMAX и LTE достаточно отличаются от классических стандартов 3G, чтобы можно было говорить о смене поколений. И действительно, большинство операторов по всему миру, которые развернули подобные сети, называют их 4G. Очевидно, это используется в качестве маркетинга, и организация ITU не имеет полномочий противодействовать. Обе технологии (LTE в частности) скоро будут развернуты у многих операторов связи по всему миру в течение нескольких следующих лет, и использование названия «4G» будет только расти.

И это еще не конец истории. Американский оператор T-Mobile, который не объявлял о своем намерении модернизировать свою HSPA сеть до LTE в ближайшее время, решил начать брендинг модернизации до HSPA+ как 4G. В принципе, этот шаг имеет смысл: 3G технология в конечном счете может достигнуть скоростей, больших, чем просто LTE, приближаясь к требованиям IMT-Advanced. Есть много рынков, где HSPA+ сеть T-Mobile быстрее, чем WiMAX от оператора Sprint. И ни Sprint, ни Verizon, ни MetroPCS — три американских оператора с живой WiMAX/LTE сетью — не предлагают услуги VoIP. Они продолжают использовать свои 3G частоты для голоса и будут делать это еще в течение некоторого времени. Кроме того, T-Mobile собирается обновиться до скорости 42 МБит/с в этом году, даже не касаясь LTE!

Возможно, именно этот шаг T-Mobile вызвал глобальное переосмысление того, что же на самом деле означает «4G» среди покупателей мобильных телефонов. AT&T, которая находится в процессе перехода на HSPA+ и начнет предлагать LTE на некоторых рынках в конце этого года, называет обе эти сети 4G. Таким образом, все четыре национальных оператора США украли название «4G» у ITU — они его взяли, убежали с ним и изменили.

## 2.5. Мобильная связь пятого поколения 5G.

Считается, что пятое поколение мобильной связи появится к 2020 году. Объяснить это достаточно просто: существует, так называемое, правило десяти лет. Если заглянуть немного в прошлое, можно заметить, что каждое новое поколение мобильной связи появлялось примерно через 10 лет после появления предыдущего: первое поколение появилось в начале 80- годов, второе в начале 90-х, третье в начале 00-х, четвертое в 2009 году. Напрашивается вывод, что первые сети 5G появятся примерно в 2020 году.

В настоящее время ведутся программы по разработке основных очертаний стандарта пятого поколения. Именно поэтому точного определения 5G пока дать нельзя, можно лишь предугадать, какими станут [сети после 2020 года](#).

Очевидно, что в будущем к сети будет подключено гораздо больше устройств, большинство из которых будут работать по принципу «всегда онлайн». При этом очень важным параметром будет являться низкое энергопотребление.

Требования к сетям 5G

- Пропускная способность сети свыше 10 Гбит/сек.
- Поддержка одновременного подключения до 100 млн. устройств/км<sup>2</sup>
- Задержка передачи данных на радиointерфейсе не более 1 мс.

Услуги в сетях 5G

- Сверхширокополосная мобильная связь (Extreme Mobile Broadband, xMBB) - реализация ультраширокополосной связи с целью передачи «тяжелого» контента;
- Массовая межмашинная связь (Massive Machine-Type Communications, mMTC) - поддержка Интернета вещей (ультраузкополосная связь);
- Сверхнадежная межмашинная связь (Ultra-reliable MTC, uMTC) - обеспечение особого класса услуг с очень низкими задержками.

Потенциальные технологии в стандарте 5G

1) Массивные MIMO

Технология MIMO означает использование нескольких антенн на приемопередатчиках. Технология, успешно применяемая в сетях четвертого поколения, найдет применение и в сетях 5G. При этом если в настоящее время в сетях используется [MIMO 2x2](#) и 4x4, то в будущем число антенн должно увеличиться. Эта технология имеет сразу два весомых аргумента для применения: 1) скорость передачи данных возрастает практически пропорционально количеству антенн, 2) качество сигнала улучшается при приеме сигнала сразу несколькими антеннами за счет разнесенного приема (Receive Diversity).

2) Переход в сантиметровый и миллиметровый диапазоны

На данный момент сети LTE работают в частотных диапазонах ниже 3,5 ГГц. Для полноценного функционирования сетей мобильной связи стандарта 5G необходимо разворачивать сети в более свободных высокочастотных диапазонах. При повышении частоты, на которой передается информация, уменьшается дальность связи. Это закон физики, обойти его можно лишь повышая мощность передатчика, которая ограничена санитарными нормами. Однако считается, что базовые станции сетей пятого поколения будут располагаться плотнее, чем сейчас, что вызвано необходимостью создать гораздо большую емкость сети. Преимуществом диапазонов десятков ГГц является наличие большого количества свободного спектра.

3) Мультитехнологичность

Для обеспечения высококачественного обслуживания в сетях 5G необходима поддержка как уже существующих стандартов, таких как [UMTS](#), [GSM](#), [LTE](#), так и других, например, Wi-Fi. Базовые станции, работающие по технологии [Wi-Fi](#) могут использоваться для разгрузки трафика в особо загруженных местах.

#### 4) D2D (Device-to-device)

Технология device-to-device позволяет устройствам, находящимся неподалеку друг от друга, обмениваться данными напрямую, без участия сети 5G, через ядро которой будет проходить лишь сигнальный трафик. Преимуществом такой технологии является возможность переноса передачи данных в нелицензируемую часть спектра, что позволит дополнительно разгружать сеть.

2 часа на интерактивное занятие. (фильм + обсуждение)

### 3. Сетевая технология GSM/

#### 3.1. Введение в GSM

Изучение одного из упомянутых на предыдущей лекции примеров технологии подвижной связи 2G - технологии *Global System for Mobile Communications (GSM)* - полезнее других, приведенных там. Дело в том, что хотя GSM является европейским стандартом, он получил всемирное признание, обладает привлекательными преимуществами и наиболее широко распространен в СПС.

Когда в 1982 году впервые был использован акроним GSM, он означал *Groupe Speciale Mobile* - французское название рабочей группы европейских администраций почты и электросвязи *CEPT (Conference des administrations Europennes des Postes et Telecommunications)*. Перед этой группой стояла задача разработки спецификаций нового цифрового стандарта мобильной связи в диапазоне 900 МГц. Со временем (в 1989 году) эти работы из CEPT перешли в новую организацию - ETSI, - где работы над GSM продолжались, и в 1991 году первые системы GSM были готовы к вводу в эксплуатацию.

Значение акронима GSM к этому времени изменилось, он стал обозначать глобальную систему мобильной связи *Global System for Mobile Communications*. Уже под этим названием работа над GSM перешла в 2000 году от ETSI к партнерству 3GPP.

Днем рождения GSM считается 1 июля 1991 года, когда в городском парке г. Хельсинки, Финляндия, был сделан первый телефонный вызов в этой системе.

К 1992 году многие европейские страны уже имели в эксплуатации сети GSM, эта технология начала распространяться по всему миру и стала фантастическим коммерческим успехом ее разработчиков. В этот успех GSM значительный вклад внесли либерализация монополии на телекоммуникации в Европе в 1990-х годах и последовавшие за ней конкуренция, снижение цен и расширение рынка, а также высокий научный и профессиональный уровень специалистов Groupe Speciale Mobile. В России первые СПС стандарта GSM900 заработали в 1994 году Москве (МТС) и в Санкт-Петербурге (Северо-Западный GSM, нынешний Мегафон). К началу 2002 года в мире насчитывалось уже около 500 Операторов GSM, работающих в 172 странах мира.

Как отмечалось в предыдущей лекции, технология GSM предусматривает множественный доступ с временным разделением каналов и дуплексную связь с частотным их разделением. Ширина полосы радиоканала составляет 200 кГц, а применение алгоритма цифрового кодирования речи со скоростью 13 кбит/с позволяет создать в каждом канале связи или кадре 8 временных интервалов, доступных для распределения.

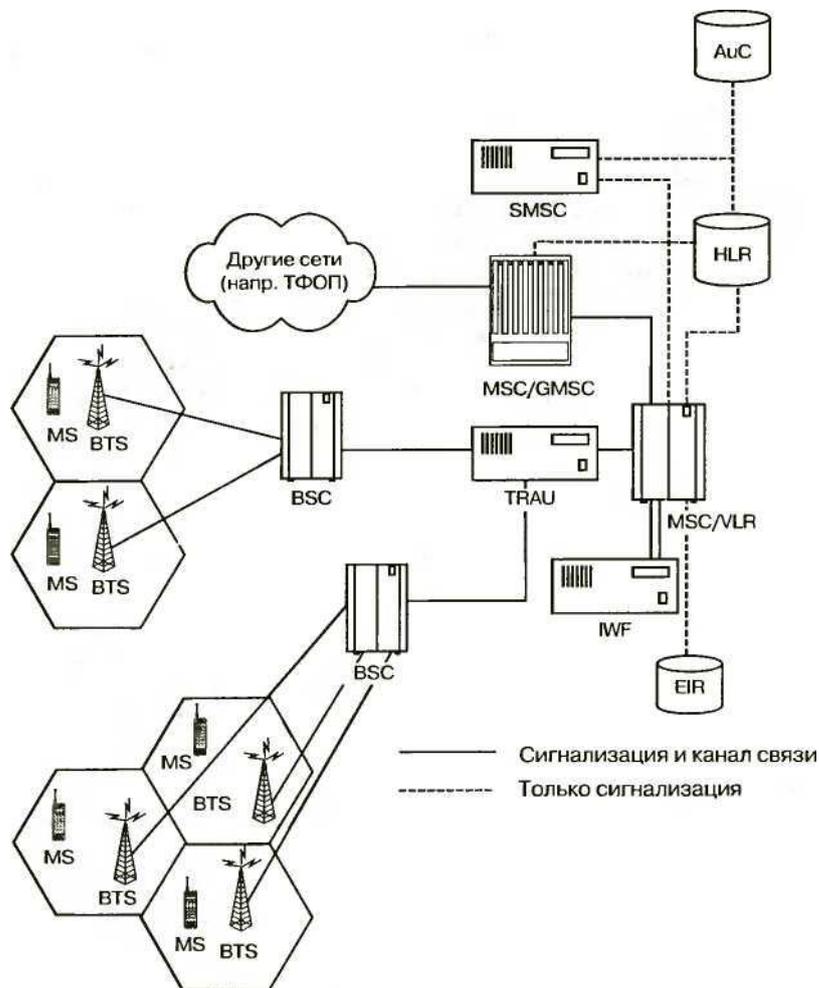


Рис. 4. Архитектура системы GSM поколения 2G.

### 3.2. Структура сети GSM

На рис.4. показана базовая архитектура сети GSM, в которой мобильный терминал *MS* связывается через радиоинтерфейс с базовой приемопередающей станцией *BTS*. Этот мобильный терминал *MS* состоит из двух частей - самой трубки, называемой мобильным оборудованием *ME (Mobile Equipment)*, и SIM-карты абонента (*Subscriber Identity Module*) - небольшой карты с интегральной схемой, содержащей специальную информацию о пользователе, включая идентификатор абонента, информацию для аутентификации абонента и некоторую информацию об обслуживании абонента. Телефонный аппарат становится мобильным терминалом и обеспечивает обслуживание абонента только тогда, когда в него вставлена SIM-карта этого абонента.

Одна или несколько BTS соединены с контроллером базовой станции *BSC*, который обеспечивает ряд функций, связанных с управлением радиоресурсом *RR (radio resource)*, с поддержкой мобильности *MM (mobility management)* абонентов в зоне охвата станций BTS, и ряд функций эксплуатационного управления всей радиосетью. Вместе станции BTS и контроллеры BSC называют подсистемой базовой станции *BSS (Base Station Subsystem)*. В то время как подсистема BSS обеспечивает радиодоступ для мобильного терминала, остальные сетевые элементы отвечают за функции управления и за базы данных, необходимые для установления соединения в сети GSM, включая шифрование, аутентификацию и роуминг.

### 3.3. SIM – карта

Как уже упоминалось выше, в GSM мобильный терминал состоит из самого мобильного телефонного аппарата *ME* и специальной смарт-карты, известной под именем *модуля идентификации абонента SIM*. Система GSM была одной из первых систем, где нашла применение SIM-карта для отделения идентификатора абонента от идентификатора оборудования.

Представленный на рис. 5 микрочип SIM-карты, имеющий в соответствии со стандартом ISO 7816 размеры 85,5x54x0,76 мм, полностью универсален для разных мобильных устройств GSM, что обеспечивает множество удобных функциональных возможностей, таких как возможность создавать новый мобильный терминал абонента простой заменой SIM-карты.

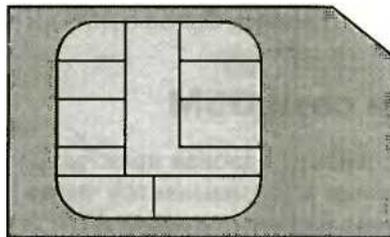


Рис. 5. SIM-карта

Таким образом, вставив свою SIM-карту в любое другое мобильное устройство стандарта GSM, абонент может пользоваться услугами мобильной связи с помощью любого GSM-терминала. Применение SIM-карт существенно осложняет похищение идентификационных номеров или мошеннические вызовы за чужой счет. SIM-карта защищена специальным паролем или персональным идентификационным номером и содержит так называемый уникальный международный идентификатор абонента *IMSI (International Mobile Subscriber Identity)*, который используется для идентификации абонента внутри сети.

### 3.4. Подсистема базовой станции

*Подсистема базовой станции BSS* включает в себя две части: базовую приемопередающую станцию *BTS* и контроллер базовой станции *BSC*. Функция *BTS*, зона действия которой определяет границы соты, состоит в том, чтобы поддерживать радиосвязь с мобильными терминалами с помощью специальных протоколов. Контроллер базовой станции отвечает за создание канала передачи данных, переключение частот, а также обслуживание вызова в пределах управляемых им станций *BTS*.

На рис. 4 присутствует также блок *TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit)*, задача которого преобразовать скорость передачи кодированной речи в скорость 64 кбит/с, принятую ТфОП. Дело в том, что в GSM речь абонента обычно кодируется на скорости либо 13 кбит/с (полная скорость, FR, Full Rate), либо 12,2 кбит/с (улучшенная полная скорость, EFR, Enhanced FR).

В некоторых случаях используется также кодирование на половинной скорости, равной 5,6 кбит/с, но в коммерческих сетях это бывает редко. Так или иначе, скорость кодированной речи при передаче ее к мобильному терминалу и от него отличается от скорости 64 кбит/с, являющейся основой фиксированной сети. Строго говоря, TRAU можно отнести к подсистеме базовой станции, т.к. речь к сети и из нее проходит на скорости 64 кбит/с, а перекодирование берет на себя эта подсистема. Однако на практике TRAU обычно физически отделен от BSC и расположен вблизи MSC, благодаря чему снижается требуемая полоса пропускания между MSC и BSC и экономятся расходы на транспортную сеть, когда BSC и MSC находятся на значительном расстоянии друг от друга.

### 3.5. Регистр HLR и центр аутентификации AuC.

На рис. 4 показан также уже упоминавшийся выше регистр *HLR*, содержащий основные данные об абоненте. Каждая сеть подвижной связи требует наличия доступа, по крайней мере, к одному регистру HLR как к постоянной памяти для хранения данных. Эта концепция предполагает, что HLR является большой базой. Чем быстрее приходит ответ из базы данных, тем быстрее можно установить соединение, что особенно актуально для HLR, обрабатывающих данные для сотен тысяч абонентов. Каждый абонент закреплен за определенным HLR, который действует как фиксированный справочный пункт и хранит информацию о текущем местонахождении абонента, включая идентификатор регистра VLR, а также информацию о доступных этому абоненту услугах.

Вызовы из других сетей, в частности из ТфОП, сначала поступают на *Gateway MSC (GMSC)*. Основное назначение GMSC - запросить в HLR данные о местонахождении абонента. Затем вызов переадресуется из GMSC в MSC, обслуживающий абонента. В HLR хранятся такие специфические данные об абонентах, как секретный ключ аутентификации K, который является составной частью управления защитой. Он никогда не передается ни в какой интерфейс и записан только в HLR и в SIM.

Ассоциированный с HLR центр аутентификации *AuC (Authentication Center)* всегда реализуют как составную часть HLR, содержащую специальные данные аутентификации абонентов, включая вышеупомянутый K<sub>i</sub>.

### 3.6. Гостевой регистр VLR.

Регистр VLR, подобно регистру HLR, тоже является базой данных, но его назначение иное. В то время как на HLR возлагаются, по большей части, статические функции, VLR обеспечивает управление динамическими данными об абоненте. На предыдущих лекциях мы рассмотрели хэндовер и только упомянули про роуминг. Сейчас пора восполнить этот пробел.

Дать краткое определение роуминга не совсем просто. Наиболее распространенным является *определение роуминга как процедуры предоставления услуг связи мобильному абоненту, находящемуся вне зоны действия домашней сети, путем использования ресурсов другой сети*. Однако фактически это определение описывает только один из трех вариантов роуминга. Поэтому авторам представляется более удачным с

технической точки зрения такое определение: *роуминг - это процедура, которая сохраняет предоставление услуг связи мобильному абоненту при изменении зоны обслуживания MSC*. Тогда описание разных видов роуминга будет выглядеть так:

- *внутрисетевой роуминг* обеспечивается при передвижении абонента между зонами обслуживания MSC сети домашнего Оператора;
- *национальный роуминг* обеспечивается при передвижении абонента между зонами обслуживания MSC, находящимися в тех регионах страны, где нет сети домашнего Оператора, но действуют партнерские соглашения с другими Операторами СПС;
- *международный роуминг* обеспечивается при передвижении абонента в тех странах, с операторами СПС которых заключил партнерские соглашения домашний Оператор.

### 3.7. Центр коммутации MSC и SMS-центр

С технической точки зрения MSC представляет собой всего лишь обычную коммутационную станцию с некоторыми изменениями, ориентированными на мобильную связь. Это наглядно иллюстрируют практически все поставщики систем GSM, коммутаторы которых одинаково успешно работают как в ТФОП/ISDN, так и в СПС как центры MSC. Компания Нокиа с системой DX-200, Siemens с EWSD, Alcatel с S12, Эрикссон с AXE являются хорошо известными примерами такой конвергенции.

Отличия же центра MSC от узлов коммутации ТФОП обусловлены спецификой подвижной связи, в частности, назначением пользователям каналов к BSS, за что отвечает MSC, управлением хэндо-вером и др. К этому можно добавить функцию взаимодействия IWF разговорных и не разговорных соединений с внешними сетями, а также адаптации скорости для услуг передачи данных, рассматриваемую ниже.

На рис.4 показан также *центр услуг обмена короткими сообщениями SMSC (Short Message Service Center)*, который представляет собой узел, поддерживающий хранение и пересылку коротких сообщений к мобильным терминалам и от них. Обычно короткие сообщения - это текстовые сообщения длиной до 160 символов латинского алфавита, когда для кодирования текста SMS используются кодовые комбинации с длиной равной 7. Это связано с тем, что максимальный объем SMS-сообщения составляет 1120 битов, откуда и определяется максимальное количество символов  $1120/7=160$ . Как только в тексте сообщения появляется символ кириллицы, используется кодирование Unicode с двумя байтами на символ. Тогда максимальный объем короткого сообщения становится равным  $1120/16=70$ . Если сообщение содержит больше символов, оно сегментируется, а плата взимается за общее количество сегментированных сообщений.

2 часа на интерактивное занятие. (фильм + обсуждение)

### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	3.	Частотно-территориальное планирование сетей сотовой связи GSM-900	3	Работа в малых группах (2 часа)
2	3.	Частотно-территориальное планирование сетей сотовой связи: электромагнитная совместимость и потери при распространении.	3	-
3	3.	Моделирование системы подвижной связи в условиях городской застройки.	3	-
4	3.	Анализ погрешностей определения местоположения мобильного абонента.	3	-
<b>ИТОГО</b>			<b>12</b>	<b>2</b>

### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование практической работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	3.	Определение параметров приемника базовой станции сотовой связи.	2	Работа в малых группах (2 часа)
2	3.	Расчет параметров полезного сигнала и высот подвеса антенн.	2	-
3	3.	Расчет уровня помех от автотранспорта.	2	-
4	3.	Расчет оптимальной мощности передатчика базовой станции.	3	-
5	3.	Расчет дальности сотовой связи GSM.	3	-
<b>ИТОГО</b>			<b>12</b>	<b>2</b>

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат:

Учебным планом не предусмотрено

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
		<i>3</i>	<i>13</i>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>1.</b> Эволюция систем радиосвязи	8	+	+	2	4	Лк, СРС	ЗАЧЕТ
<b>2.</b> Поколения сетей сотовой связи	8	+	+	2	4	Лк, СРС	ЗАЧЕТ
<b>3.</b> Сетевая технология GSM	56	+	+	2	28	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	ЗАЧЕТ
<i>всего часов</i>	<b>72</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>2</b>	<b>36</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Берлин, А.Н. Сотовые системы связи : учебное пособие / А.Н. Берлин. - М. : Интернет-Университет Информационных Технологий, 2009. - 360 с. : табл., схем. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-9963-0104-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232987.( 138 – 240с. )

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ЛР, ПЗ)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.	Лк, ЛР, ПЗ	10	0,67
2.	Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.	Лк, ЛР, ПЗ	10	0,67
<b>Дополнительная литература</b>				
3	Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).	Лк, ПЗ, ЛР	0,5	0,34

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).

2. Электронная библиотека БрГУ  
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru> .

4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»  
<http://e.lanbook.com> .

5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru> .

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .

7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/> .

8. Национальная электронная библиотека НЭБ  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ

## ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/практическим работам

#### Лабораторная работа №1

#### **Частотно-территориальное планирование сетей сотовой связи GSM-900.**

##### Цель работы:

Приобретение навыков работы с цифровой картой местности: выполнение расчетов, необходимых для оценки качества связи и зон обслуживания радиосетей на основе реальных данных о рельефе местности.

##### Задание:

1. Определить уровень сигнала в двух различных местах, находящихся на расстоянии 35 км от BS№3, и сравнить его с чувствительностью приемника абонента (100 дБм), дать рекомендации относительно выбора (замены) приемопередатчиков
2. Выполнить расчет по п. 1 при наличии препятствия в виде горы высотой 450 м, длиной и шириной 1000 м. Проанализировать рельеф местности.
3. Произвести вспомогательные расчеты потерь при распространении на расстоянии 35 км для различных типов местности
4. Определить зоны наличия (отсутствия) связи для трех заданных БС.
5. Произвести расчет числа каналов базовой станции

##### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Запустить программу Radio Planning System.
3. Последовательно выполнить все пункты задания согласно, своего варианта.

##### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

##### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.
2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

##### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

##### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какая модель использовалась при расчете потерь мощности сигнала на трассе распространения?

2. Какова особенность антенн типа OMNI?
3. Каково максимальное расстояние, при котором еще имеет место уверенный прием сигнала в стандарте GSM-900?
4. Какие типы препятствий на трассе вызывают наибольшие потери мощности сигнала?
5. Какие параметры входят в модель Окамуры?
6. Дайте определение зоны Френеля.
7. Назовите основные методы разнесения при разнесенном приеме.
8. Дайте определение дифракции радиоволн.
9. В чем заключается эффект Фарадея?

### **Лабораторная работа №2**

#### **Частотно-территориальное планирование сетей сотовой связи: электромагнитная совместимость и потери при распространении.**

##### Цель работы:

Размещение базовых станций на цифровой карте местности ; выполнение расчетов необходимых для оценки электромагнитной совместимости ; расчет потерь в атмосфере и на деревьях.

##### Задание:

1. Произвести расчет электромагнитной совместимости для модели в виде трехэлементного кластера сети.
2. Произвести расчет электромагнитной совместимости для модели в виде кластера сети
3. Произвести расчет электромагнитной совместимости для модели повторного использования частот в трехсекторных сотах сети
4. Произвести вспомогательные расчеты

##### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Запустить программу Radio Planning System.
3. Последовательно выполнить все пункты задания согласно, своего варианта.

##### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

##### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.
2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

##### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

## Контрольные вопросы для самопроверки

1. Для каких систем связи (наземных или спутниковых) поглощение мощности сигнала в атмосфере является наиболее существенным фактором?
2. Какие характеристики деревьев наиболее существенно влияют на затухание сигнала?
3. Дайте определение электромагнитной совместимости.
4. Дайте определение понятия «кластер сот». В чем преимущества и недостатки кластеризации сот?
5. С какой целью выполняется секторизация соты?
6. На каких частотах работают радиорелейные линии связи, и какие факторы в наибольшей степени влияют на устойчивость их функционирования?
7. Какой фактор является наиболее неблагоприятным фактором, вызывающим потери мощности сигнала в атмосфере на частотах свыше 1 ГГц?
8. Дайте классификацию основных типов помех в системах подвижной связи.
9. Какого типа помехи наиболее существенно ухудшают связь в диапазоне 800-900 МГц, и что является их источником?

## **Лабораторная работа №3**

### **Моделирование системы подвижной связи в условиях городской застройки .**

#### Цель работы:

Моделирование канала связи с подвижным объектом создание диалогового окна для ввода параметров модели.

#### Задание:

1. Построить модель сигнала со спектром Джейкса
2. Создать подсистему (канал связи) для ввода параметров модели
3. Построить частотно-временную корреляционную функцию замираний.
4. Исследовать влияние величины относительной задержки и средней мощности одного из лучей на вероятность ошибки при приеме.

#### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Запустить программу Radio Planning System.
3. Последовательно выполнить все пункты задания согласно, своего варианта.

#### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

#### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.
2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е

изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

#### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Каким образом влияет доплеровское смещение спектра на качество связи?
2. Чем вызывается доплеровское смещение спектра в процессе сеанса связи?
3. Может ли возникнуть случай, когда многолучевое распространение сигнала благоприятно влияет на качество связи?
4. Какие факторы вызывают многолучевое распространение сигнала?
5. В чем заключается разница между рэлеевскими и райсовскими замираниями?
6. В чем заключается временное рассеяние сигнала в канале связи?
7. В чем заключается частотное рассеяние сигнала в канале связи?
8. Назовите основные методы борьбы с многолучевым распространением.
9. Назовите основные методы разнесения при приеме сигналов.
10. Какой основной метод борьбы с многолучевостью применяется в системах связи с кодовым разделением каналов CDMA ?
11. За счет, каких конструктивных особенностей системы с ортогональным частотным мультиплексированием (разделением каналов) позволяют успешно бороться с межсимвольной интерференцией?
12. Какой неблагоприятный эффект вызывает многолучевое распространение в цифровых системах связи?

#### **Лабораторная работа №4**

##### **Анализ погрешностей определения местоположения мобильного абонента.**

##### Цель работы:

Выполнение расчетов необходимых для оценки качества определения местоположение мобильного абонента с помощью трех базовых станций с учетом задержек времени распространения радиоволн.

##### Задание:

1. Выполнить анализ погрешностей определения местоположения для двух случаев: круговом типе определения координат и гиперболическом типе определения координат.
2. Получить зависимости погрешности определения местоположения мобильного абонента от среднеквадратического отклонения задержки распространения радиоволн.
3. Получить соответствующие графики.

##### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Запустить программу Radio Planning System.
3. Последовательно выполнить все пункты задания согласно, своего варианта.

##### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

##### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной

дисциплины.

#### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.
2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

#### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите современные технологии определения местоположения.
2. Дайте определение гиперболы.
3. Какие параметры сигнала измеряются в круговом и гиперболическом методах?
4. Какие основные факторы порождают погрешность определения местоположения?
5. В чем заключается разностно-дальномерный метод определения расстояния?
6. Какие методы определения местоположения являются наиболее точными, а какие - наименее точными и почему?
7. В чем заключаются преимущества и недостатки методов определения местоположения с помощью систем спутниковой навигации (например GPS)?
8. Дайте определение погрешности определения местоположения.
9. В каких характерных точках гиперболы находятся базовые станции?

#### Практическое занятие №1

##### **Определение параметров приемника базовой станции сотовой связи.**

##### Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров приемника базовой станции сотовой связи.

##### Задание:

1. Рассчитать затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС.
2. Рассчитать КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС
3. Определить КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС
4. Рассчитать отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе
5. Определить уровень собственных шумов, приведенных к входу приемника
6. Рассчитать уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема
7. Определить уровень внешних шумов в точке приема
8. Определить уровень суммарного шума в точке приема

##### Порядок выполнения:

- 1.1 Рассчитаем затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС по формуле

$$\alpha_{\text{АФФП}} = \alpha_{\text{ДУ}} + (\alpha \cdot l)_{\text{ПР}} - G_{\text{УР}}, \text{ дБ}, \quad (1.1)$$

где  $\alpha_{\text{ДУ}}$  – затухание в дуплексном фильтре, дБ;

$(\alpha \cdot l)_{\text{ПР}}$  – затухание в кабеле, дБ;

$G_{\text{УР}}$  – коэффициент усиления устройства разделения, дБ.

- 1.2. Произведем расчет КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС по формуле

$$\eta_{\text{АФТ}} = 10^{-0,1 \cdot \alpha_{\text{АФТПР}}} \quad (1.2)$$

1.3. Действующая длина приемной антенны БС рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{Д}} = \frac{\lambda_{\text{АС-БС}}}{2\pi} \sqrt{\frac{1,64 \cdot G_{\text{ПР}} \cdot W_{\text{ПР}} \cdot \eta_{\text{АФТ}}}{120}}, \text{ м} \quad (1.3)$$

где  $\lambda_{\text{АС-БС}} = \frac{c}{f}$  – длина волны на прием БС, м;

$G_{\text{ПР}} = 10^{0,1 \cdot G_{\text{ПР}}[\text{дБ}]}$  – коэффициент усиления по мощности приемной антенны БС, отн. ед;

$W_{\text{ПР}}$  – волновое сопротивление антенно-фидерного тракта БС, Ом.

1.4. Отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе определяется формулой

$$(S/N)_{\text{ВХ}} = \frac{(S/N)_{\text{ВЫХ}} \cdot F_{\text{МАХ}}}{\Delta f \cdot \sqrt{3}}, \text{ отн. ед.} \quad (1.4)$$

где  $(S/N)_{\text{ВЫХ}} = 10^{0,05 \cdot (S/N)_{\text{ВЫХ}}[\text{дБ}]}$  – отношение сигнал/шум на выходе приемника, отн. ед.;

$F_{\text{МАХ}} = 3,4$  – максимальная звуковая частота модуляции, кГц;

$\Delta f$  – девиация частоты, кГц.

В связи с тем, что нужно учитывать запас на ретрансляцию, величину  $(S/N)_{\text{ВХ}}[\text{дБ}]$  нельзя принимать менее 8 дБ (2,51 отн. ед.)

1.5. Уровень собственных шумов, приведенных к входу приемника рассчитаем по формуле

$$U_{\text{ШПР}} = \frac{\gamma_{\text{ПР}}}{(S/N)_{\text{ВХ}}}, \text{ В} \quad (1.5)$$

где  $\gamma_{\text{ПР}}$  – чувствительность приемника, мкВ;

$(S/N)_{\text{ВХ}}$  – отношение сигнал/шум на входе приемника, отн. ед.

1.6. Уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема определяется формулой:

$$N_{\text{СОБПР}} = \frac{U_{\text{ШПР}}}{l_{\text{Д}}}, \text{ мкВ/м} \quad (1.6)$$

1.7. Определим уровень внешних шумов в точке приема

$$N_{\text{ВНЕШПР}} = \frac{E_{\text{ПОМ}}}{\sqrt{D_{\text{ПР}}}}, \text{ мкВ/м} \quad (1.7)$$

где  $E_{\text{ПОМ}}$  – уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки), мкВ/м;

$D_{\text{ПР}} = 10^{0,1 \cdot D_{\text{ПР}}[\text{дБ}]}$  – коэффициент направленного действия антенной системы БС, отн. ед.

1.8. Уровень суммарного шума в точке приема определяется по формуле:

$$N_{\text{ΣШ}} = 10 \lg(N_{\text{СОБПР}}^2 + N_{\text{ВНЕШПР}}^2), \text{ дБ} \quad (1.8)$$

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание

3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.

2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем измеряется затухание сигнала?
2. Что означает единица измерения дБ?
3. В пределах каких значений должен быть уровень суммарных шумов?

**Практическое занятие №2**

**Расчет параметров полезного сигнала и высот подвеса антенн.**

Цель работы:

Рассчитать необходимый уровень напряженности полезного сигнала и дальности связи между АС и БС мобильной связи. Определить высоты подвеса антенн БС (для РРЛ)

Задание:

1. Рассчитать необходимый уровень напряженности полезного сигнала и дальности связи между АС и БС мобильной связи.
2. Определить высоты подвеса антенн БС (для РРЛ)

Порядок выполнения:

2.1. Общее затухание в антенно-фидерном тракте передачи АС определяется формулой:

$$\alpha_{АФТ} = \alpha_{\phi} + \alpha_{Н} + (\alpha \cdot l)_{ПЕР}, \text{ дБ} \quad (2.1)$$

где  $\alpha_{\phi}$  – затухание в фильтрах, антенных разделителях, дБ;

$\alpha_{Н}$  – затухание в неоднородностях АФТ передачи, дБ;

$(\alpha \cdot l)_{ПЕР}$  – затухание в фидере передающей антенны, дБ.

2.2. Поправка, учитывающая фактическую мощность передатчика АС рассчитывается по формуле:

$$B_{P_{НОМ} АС} = 10 \lg \left( \frac{10^3}{P_{НОМ} АС} \right), \text{ дБ} \quad (2.2)$$

2.3. Поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности передатчика АС от 1 кВт

$$B_{P_{ЭКВ} АС} = B_{P_{НОМ} АС} + \alpha_{АФТ} - \sigma_{АС} - G_{АС}, \text{ дБ} \quad (2.3.)$$

где  $\sigma_{AC}$  – неравномерность диаграммы направленности приемной антенны AC в горизонтальной плоскости;

$G_{AC}$  – коэффициент усиления передающей антенны AC, дБ.

2.4. Поправка, учитывающая отличие высоты антенны AC от высоты 10 м

$$B_{h_{AC}} = 10 \lg \left( \frac{10}{h_{AC}} \right), \text{ дБ} \quad (2.4)$$

2.5. Поправка, учитывающая отличие реального рельефа от принятого МККР

$$B_{\text{РЕЛЬЕФ}} = -4, \text{ дБ}.$$

2.6. Необходимый уровень напряженности полезного сигнала в точке приема BC

$$E_{\text{НЕОБХ}} = N_{\text{ШБС}} + (S/N)_{\text{ВХБС}} + B_{P_{\text{ЭКВ AC}}} + B_{h_{AC}} + B_{\text{РЕЛЬЕФ}} + B_{\% \text{ МЕСТ}} + B_{\text{ЗАМ}} - \sigma_{\text{БС}}, \text{ дБ}, \quad (2.5.)$$

где  $N_{\text{ШБС}}$  – уровень суммарных шумов приемника BC, дБ;

$(S/N)_{\text{ВХБС}}$  – отношение сигнал/шум на входе приемника BC, дБ;

$B_{\% \text{ МЕСТ}}$  – поправка, вносимая при необходимости обеспечения связи для процента пункта приема, отличающегося от 50%. Для обеспечения связи в 90% пунктов приема  $B_{\% \text{ МЕСТ}} = -11$ , дБ;

$B_{\text{ЗАМ}}$  – поправка на быстрые заземления для 90% времени, примем  $B_{\text{ЗАМ}} = 3,5$ , дБ;

$\sigma_{\text{БС}}$  – неравномерность диаграммы направленности приемной антенны BC в горизонтальной плоскости.

2.7. По графику зависимости напряженности поля от расстояния определяем дальность связи

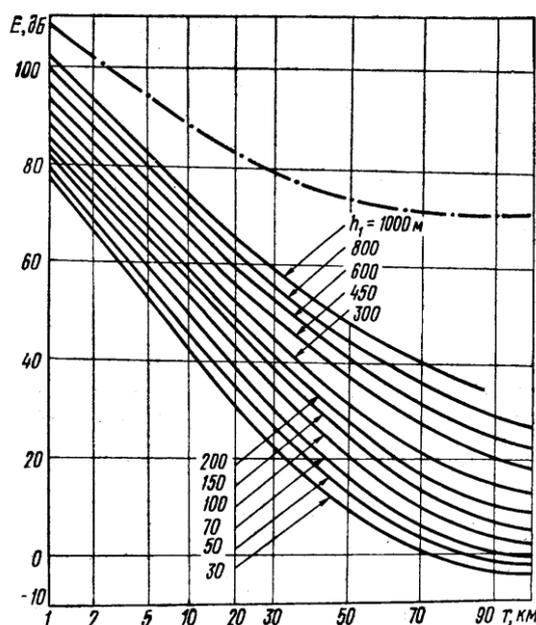


Рисунок 1 - График зависимости напряженности поля от расстояния

Делаем соответствующий вывод о проведенном расчете

2.8. Исходя из расчета дальности связи, определяем расстояние между BC1 и BC2.

Принимаем

$$R_0 < 2R, \text{ км}$$

и строим профиль согласно таблице 3 и варианта.

2.9. Радиус кривизны Земли определяем по формуле

$$y = 1,96 \cdot R_0^2 \cdot 10^{-2}, \text{ м} \quad (2.6.)$$

## 2.10 Координата критической точки

$$k = \frac{R_i}{R_0} \quad (2.7)$$

## 2.11. Минимальный радиус зоны Френеля

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)}, \text{ м} \quad (2.8)$$

где  $\lambda = \frac{c}{f}$ ,  $\lambda$  – длина волны передачи;

$f$  – частота передачи с БС1 на БС2.

2.12 Для Алматы  $\sigma=9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$  и  $g=-7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ .

## 2.13 Просвет в отсутствии рефракции

$$H(0) = H_0 - \frac{R_0^2}{4} (\bar{g} + \sigma) k(1-k), \text{ м} \quad (2.9)$$

## 2.14 Высоты подвеса антенн

$$\begin{aligned} h_1 &= MN + y + H(0) - CD, \text{ м}; \\ h_2 &= MN + y + H(0) - XY, \text{ м}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.
2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Для чего необходимо знать радиус кривизны земли?
2. Почему высота подвеса антенн на разных вышках будет отличается?
3. Что такое зона Френеля?

### Практическое занятие №3

#### **Расчет уровня помех от автотранспорта.**

Цель работы:

Рассчитать оптимальный уровень помех от автотранспорта в зоне действия сотовой связи GSM

Задание:

1. Рассчитать оптимальный уровень помех от автотранспорта в зоне действия сотовой связи GSM

Порядок выполнения:

3.1. Примем среднее значение амплитуды импульсов помех, создаваемых первым источником помех равным  $\bar{E}_1(\text{дБ})$ . Тогда амплитуда импульсов помех от второго источника определяется по формуле:

$$\bar{E}_2 = \bar{E}_1 - [24 - 14(\lg(f_{\text{ПРМ}}) - 2,16)], \text{дБ} \quad (3.1)$$

где  $f_{\text{ПРМ}}$  – средняя частота приема, МГц.

3.2. Частоты повторения импульсов помех, создаваемых каждой группой источников (первой и второй)

$$g_1 = 0,164 + 0,034(\lg f_{\text{ПРМ}} - 1,48) \\ g_2 = 1 - g_1 \quad (3.2)$$

где  $f_{\text{ПРМ}}$  – средняя частота приема, МГц.

3.3. Средняя частота повторения импульсов помех на нулевом уровне

$$F_{0\text{ИМП}1} = F_{0\text{ИМП}} \cdot g_1, \text{имп/сек}, \\ F_{0\text{ИМП}2} = F_{0\text{ИМП}} \cdot g_2, \text{имп/сек}, \quad (3.3)$$

где  $F_{0\text{ИМП}(12)}$  – средняя частота повторения импульсов помех, имп/сек.

3.4. Показатель зависимости затухания процесса от расстояния между источником помех и приемником

$$S = 42,2 \cdot \lambda^{0,895} \cdot \lg\left(\frac{r_0}{r_1}\right), \text{дБ} \quad (3.4)$$

где  $\lambda = \frac{c}{f_{\text{ПРМ}}}$  – длина волны сигнала на приеме, м;

$r_0 = 3$  – расстояние между движущимся источником помех и измерительным комплексом, м;

$r_1 = 7$  – расстояние между источником помех и приемной антенной АС, м.

3.5. Полоса пропускания приемника АС

$$\Pi_{\text{ПР}} = 2(\Delta f + F_{\text{МАХ}}), \text{кГц} \quad (3.5)$$

где  $\Delta f = 5$  – девиация частоты, кГц;

$F_{\text{max}} = 3,4$  – максимальная звуковая частота модуляции, кГц.

3.6. Среднее эффективное значение напряженности поля помех первой и второй групп источников

$$\bar{E}_{\text{ЭФ}1,2} = \bar{E}_{1,2} + 0,115 \cdot \sigma_{E1,2}^2 + 10\lg(F_{0\text{ИМП}1,2}) + \\ + 10\lg(\Pi_{\text{ПР}}) - 20\lg(\Pi_{\text{ИЗМ}}) + 20\lg(P_0) + S - 2,7, \text{дБ} \quad (3.6)$$

где  $\sigma_{E1,2}$  – среднеквадратичное отклонение амплитуд импульсов помех, дБ,  
 $\sigma_{E2} = \sigma_{E1} - 5$ ;

$\Pi_{\text{ПР}}$  – полоса пропускания приемника АС, Гц;

$\Pi_{\text{ИЗМ}} = 120 \cdot 10^3$  – полоса, в которой измерены параметры помеховой обстановки, Гц;

$P_0$  – вероятность превышения группой импульсов уровня 0 дБ, отн.ед.;

$S$  – показание зависимости затухания процесса от расстояния между источником помех и приемником, дБ.

Исходя из формулы (3.6), расписываем значения напряженности поля помех первой и второй групп источников в отдельности:

$$\begin{aligned} \bar{E}_{\text{ЭФ1}} &= \bar{E}_1 + 0,115 \cdot \sigma_{E_1}^2 + 10 \lg(F_{0\text{ИМП1}}) + \\ &+ 10 \lg(\Pi_{\text{ПР}}) - 20 \lg(\Pi_{\text{ИЗМ}}) + 20 \lg(P_0) + S - 2,7, \text{ дБ} \end{aligned} \quad (3.7.)$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_{\text{ЭФ2}} &= \bar{E}_2 + 0,115 \cdot \sigma_{E_2}^2 + 10 \lg(F_{0\text{ИМП2}}) + \\ &+ 10 \lg(\Pi_{\text{ПР}}) - 20 \lg(\Pi_{\text{ИЗМ}}) + 20 \lg(P_0) + S - 2,7, \text{ дБ} \end{aligned} \quad (3.8.)$$

3.7. Уровень внешних шумов АС рассчитываем по формуле:

$$N_{\text{ВН}} = \bar{E}_{\text{ЭФ}}, \text{ мкВ/м},$$

где

$$\bar{E}_{\text{ЭФ}} = \sqrt{10^{0,1 \cdot \bar{E}_{\text{ЭФ1}}} + 10^{0,1 \cdot \bar{E}_{\text{ЭФ2}}}} \quad \text{– среднее эффективное значение напряженности поля помех, мкВ/м.} \quad (3.9.)$$

3.8. Рассчитаем уровень шума собственных помех

$$N_{\text{СОБ}} = \frac{\gamma_{\text{НОМ}} \cdot \alpha_{\text{АТФ}}}{(S/N)_{\text{ВХ}} \cdot l_{\text{Д}}}, \text{ мкВ/м}, \quad (3.10)$$

где  $\gamma_{\text{НОМ}}$  – чувствительность приемника, мкВ;

$\alpha_{\text{АТФ}} = 10^{0,1 \cdot \alpha_{\text{АТФ}} [\text{дБ}]}$  – затухание сигнала в антенно-фидерном тракте АС, отн. ед.;

$(S/N)_{\text{ВХ}} = 10^{0,1 \cdot (S/N)_{\text{ВХ}} [\text{дБ}]}$  – отношение сигнал/шум на входе приемника АС, отн. ед.;

$l_{\text{Д}} = \frac{\lambda}{\pi} = \frac{c}{\pi \cdot f_{\text{ПРД}}}$  – действующая длина антенны АС, м;

$f_{\text{ПРД}}$  – средняя частота передачи, Гц.

3.9. Уровень суммарных помех вычисляем по формуле

$$N_{\Sigma} = 10 \lg(N_{\text{ВН}}^2 + N_{\text{СОБ}}^2), \text{ дБ} \quad (3.11)$$

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.

2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

#### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключается временное рассеяние сигнала в канале связи?
2. В чем заключается частотное рассеяние сигнала в канале связи?
3. Назовите основные методы борьбы с многолучевым распространением.
4. Назовите основные методы разнесения при приеме сигналов.

### Практическое занятие №4

#### **Расчет оптимальной мощности передатчика базовой станции.**

##### Цель работы:

Определить оптимальную мощность передатчика БС мобильной связи, работающей в зоне действия помех от автотранспорта. Построить профиль между двумя базовыми станциями и определить высоту подвеса антенн.

##### Задание:

1. Определить оптимальную мощность передатчика БС мобильной связи, работающей в зоне действия помех от автотранспорта.
2. Построить профиль между двумя базовыми станциями и определить высоту подвеса антенн.

##### Порядок выполнения:

4.1. Затухание в резонаторных и мостовых фильтрах БС, ( $\alpha_{\phi}$ ) определяем по формуле:

$$\alpha_{\phi} = \alpha_{ус} + \alpha_{дф} + K_{АР}, \text{ дБ} \quad (4.1)$$

4.2. Определяем оптимальную мощности передатчика БС сотовой связи, работающей в зоне действия помех от автотранспорта.

$$4.2.1. P_{ном} = 10^{3 - 0,1B_{экв}} \quad (4.2)$$

Где  $B_{экв}$  – поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности передатчика БС от мощности 1 кВт, рассчитываемая по формуле:

$$B_{экв} = E_{необх} - N_{ш} - (S/N)_{вх} - B_{н2} - B_{\%мест} - B_{зам} - B_{рельеф} + \sigma_{пр}, \quad (4.3.)$$

где:

$E_{необх}$	– необходимый уровень напряженности поля полезного сигнала на границе зоны	дБ
$N_{ш}$	– уровень шумов в точке приема	дБ/мкВ
$(S/N)_{вх}$	- отношение сигнал/шум на входе приемника	АС дБ

	$B_{h2}$	- поправка, учитывающая отличие высоты установки антенны АС от высоты 10 м	дБ
	$B_{\%}$	- поправка на медленные замирания при отличии заданного процента приемных пунктов от 50%	дБ
мест	$B_{за}$	- поправка на быстрые замирания	дБ
м	$B_{pe}$	- поправка, учитывающая отличия реального рельефа местности от принятого в МККР	дБ
льеф	$\sigma_{2n}$	- неравномерность диаграммы направленности приемной антенны АС в горизонтальной плоскости	дБ
р	$E_{не}$	необходимый уровень напряженности поля полезного сигнала	дБ
обх			дБ

4.2.2. Поправка, учитывающая номинальную мощность передатчика БС рассчитывается по формуле:

$$P_{НОМ} = P_{РЭКВ} - \alpha_{\phi} - a_n - (a_l)_{пер} - \sigma_{пер} + \varepsilon_{пер} \quad (4.4)$$

4.2.3. Номинальная мощность передатчика БС определяем по формуле:

$$P_{НОМ} = 10^{3 - 0,1P_{НОМ}} \text{ Вт} \quad (4.5.)$$

4.3. Построение профиля.

Профиль строим аналогично второй практической работы.

4.4. Определить время ухудшения связи из-за рефракции.

4.4.1. Среднее значение просвета на пролете:

$$H(\bar{g}) = H(0) + \Delta H(g) = H(0) - \frac{R_0^2}{4} \bar{g} \cdot \kappa \cdot (1 - \kappa) \quad (4.4)$$

4.4.2. Определяем длину препятствия. На чертеже профиля пролета проводим прямую параллельную лучу на расстоянии  $\Delta X = H_0$  от вершины препятствия.  $l = \frac{r}{R_0}$

4.4.3. Находим параметр, характеризующий аппроксимирующую сферу  $\mu$

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{\kappa^2 (1 - \kappa)}{l^2}} \sqrt[6]{\frac{64\pi\alpha}{3}} \quad (4.6.)$$

где  $\alpha = 1$

4.4.4. Определяем относительный просвет по формуле:

$$P(g_0) = \frac{V_0 - V_{\min}}{V_0} \quad (4.7)$$

где  $V_0 = -18 \text{ дБ}$ ;  $V_{\min} = -(F_t/2)$

$F_t$  – запас на замирание

4.4.5. Находим параметр  $\psi$ :

$$\psi = 2,31 \cdot A [P(g) - P(g_0)] \quad (4.8)$$

$$\text{где } A = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{\lambda}{R_0^3 \kappa (1 - \kappa)}} \quad (4.9)$$

$T(V_{\min}) = 0\%$

#### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.

2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

#### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Из-за чего происходит ухудшение рефракции?
2. От чего зависит время ухудшения рефракции?
3. Что оказывает максимальное влияние на мощность передатчика?

#### Практическое занятие №5

##### **Расчет дальности сотовой связи GSM.**

#### Цель работы:

Рассчитать дальность связи сотовой сети GSM в направлении АС – БС

#### Задание:

Рассчитать дальность связи сотовой сети GSM в направлении АС – БС

#### Порядок выполнения:

5.1. Расчет необходимой напряженности поля в точке приема

Графики МККР, являющиеся основой используемой методики расчета построены при исходных данных:

- напряженность поля полезного сигнала создается передатчиком с эффективной излучаемой мощностью 1 кВт;
- приемная антенна установлена на высоте 10м;
- напряженность поля сигнала приведена в точке приема, а не на входе приемника;
- значения напряженности поля полезного сигнала, показанные на графиках, имеют место в течение 50% времени и в 50% пунктов приема.

Для определения напряженности поля полезного сигнала в расчетную формулу вносятся соответствующие поправки, учитывающие различие исходных параметров (мощности передатчика, высоты установки приемной антенны, электрических данных антенн и др.).

Необходимую напряженность поля в точке приема определяют исходя из того, что, учитывая все перечисленные выше поправки, уровень поля полезного сигнала в точке

приема должен превышать уровень шумов в точке приема на заданную величину отношения сигнал/шум на входе приемника.

Расчет следует производить по следующей формуле:

$$E_{необх} = N_{ш} + (S/N)_{вх} + B_{рэкв} + B_{h2} + B_{\%мест} + B_{зам} + B_{рельеф} - \sigma_{нр}, \quad (5.1)$$

где  $E_{необх}$  - необходимый уровень напряженности поля полезного сигнала, дБ/мкВ/м;

$N_{ш}$  - уровень шумов в точке приема, дБ/мкВ/м;

$(S/N)_{вх}$  - отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе, дБ;

$B_{рэкв}$  - поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности от мощности 1 кВт, для которой составлены графики МККР, дБ;

$B_{h2}$  - поправка, учитывающая отличие высоты установки антенны АС от высоты 10 м, для которой составлены графики МККР, дБ;

$B_{\%мест}$  - поправка на медленные замирания- при отличии заданного процента приемных пунктов, в которых обеспечивается напряженность поля, показанная на графиках МККР, от 50%, дБ;

$B_{зам}$  - поправка на быстрые замирания, учитывающая отличие заданного процента времени превышения данной напряженности поля, от 50% времени, дБ;

$B_{рельеф}$  - поправка, учитывающая отличие реального рельефа местности от принятого при составлении графиков МККР, дБ;

$\sigma_{нр}$  - неравномерность диаграммы направленности приемной антенны в горизонтальной плоскости, дБ.

Следует сразу же заметить, что в рассматриваемом случае передачи в направлении АС-БС, фактически рассчитывается уровень напряженности поля полезного сигнала, необходимый для качественного приема аппаратурой БС, антенна которой находится на высоте 1.5м (высоте подъема антенны НС). При этом передача ведется с границы зоны обслуживания абонентской станцией, находящейся на высоте подвеса антенны БС (150м). Уровень шумов для базовой станции берется такой, как если бы ее антенна находилась бы на своей нормальной высоте подвеса. Такая замена не влияет на конечный результат (радиус зоны обслуживания) и обусловлена спецификой материалов рекомендаций МККР.

Так как расчет ведется в две стороны, во избежание путаницы, все обозначения характеристик аппаратуры базовой станции будут снабжаться индексом "1", абонентской станции - индексом "2". С учетом этого, формула (1) запишется как

$$E_{необх} = N_{ш} + (S/N)_{вх} + B_{рэкв} + B_{h2} + B_{\%мест} + B_{зам} + B_{рельеф} - \sigma_{нр}, \quad (5.2)$$

## 5.2. Расчет уровня суммарного шума

Уровень суммарного шума в точке приема определяется по формуле:

$$N_{ш} = 10 \lg(N_{внеш}^2 + N_{соб}^2), \quad (5.3)$$

где  $N_{ш}$  - уровень шумов в точке приема, дБ/мкВ/м;

$N_{внеш}$  - уровень внешних шумов в точке приема, мкВ/м

$N_{соб}$  - уровень собственного шума приемника, приведенного к точке приема.

### 5.3 Расчет внешних шумов

Если принять, что помехи приходят равномерно со всех направлений, то расчетное значение уровня помех можно определить по формуле:

$$N_{\text{внеш}} = \frac{\overline{E}_{1ш.таб}}{\sqrt{D_{1пр}}} \quad (5.4)$$

где  $N_{\text{внеш}}$  - уровень внешних шумов в точке приема, мкВ/м;

$\overline{E}_{1ш.таб}$  - уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки для БС), принимают 1, 5 мкВ/м;

$D_{1пр}$  - коэффициент направленного действия (КНД) антенной системы БС, отн.ед.

Приняв  $\overline{E}_{1ш.таб} = 1,5$  мкВ/м, можно найти уровень внешних шумов по формуле 5.4

### 5.4 Расчет внутренних шумов для сотовой связи

Известно, что действующая длина приемной антенны (действующая высота) - коэффициент, связывающий напряженность электрического поля в месте расположения антенны с напряжением на ее согласованной нагрузке. При согласовании волнового сопротивления фидера с входным сопротивлением приемного устройства, напряжение сигнала на входе приемного устройства

$$U = l_{\text{д}} \cdot E, \quad (5.5)$$

где  $U$  - напряжение сигнала на входе приемного устройства, мкВ;

$l_{\text{д}}$  - действующая длина антенны, м;

$E$  - напряженность поля, мкВ/м.

Уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема определяется по формуле:

$$N_{\text{соб}} = \frac{U_{\text{шпр}}}{l_{\text{д}}}, \quad (5.6)$$

где  $N_{\text{соб}}$  - уровень собственного шума приемника, приведенного к точке приема, мкВ/м;

$U_{\text{шпр}}$  - уровень собственного шума приемника, приведенного ко входу приемника, мкВ;

$l_{\text{д}}$  - действующая длина антенны, м.

$U_{\text{шпр}}$  можно найти, зная отношение сигнал/шум на входе приемника и его чувствительность. При узкополосной частотной модуляции пересчет величины отношения сигнал/шум с выхода на вход приемника можно производить по формуле:

$$(S/N)_{\text{вх}} = \frac{(S/N)_{\text{вых}} \cdot F_{\text{max}}}{\Delta f \cdot \sqrt{3}} \quad (5.7)$$

где  $(S/N)_{\text{вх}}$  - отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе, отн.ед ;

$(S/N)_{\text{вых}}$  - отношение сигнал/шум на выходе приемника, отн.ед

(дано 12 дБ = 15,8 отн ед);

$F_{\text{max}}$  - максимальная звуковая частота модуляции, кГц;

$\Delta f$  - величина девиации, кГц.

В связи с тем, что порог исправляющей способности при ЧМ нельзя определить расчетным путем и учитывая запас на ретрансляцию, величину  $(S/N)_{ex}$  в любом случае не следует принимать менее 8 дБ (2.51 отн.ед).

Уровень собственных шумов, приведенных ко входу приемника:

$$U_{шпр} = \frac{G_{np}}{(S/N)_{ex}} \quad (5.8)$$

где  $U_{шпр}$  - уровень собственного шума приемника, приведенного к входу приемника, мкВ;

$G_{np}$  - чувствительность приемника, мкВ;

$(S/N)_{ex}$  - отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе, отн.ед.

Действующая длина антенны /12/, м

$$l_o = \frac{\lambda \cdot \sqrt{1.64 \cdot \varepsilon_{np} \cdot W_{\phi} \cdot \eta_{АФТ}} / 120}{2\pi} \quad (5.9)$$

где  $\lambda$  - средняя длина волны сигнала, м;

$\varepsilon_{np}$  - коэффициент усиления по мощности антенны приемника, отн.ед

$W_{\phi}$  - волновое сопротивление фидера, Ом;

$\eta_{АФТ}$  - коэффициент полезного действия (КПД) антенно-фидерного тракта приемной антенны, отн.ед.

КПД антенно-фидерного тракта БС можно найти, зная, что затухание сигнала на прием в нем рассчитывается по формуле

$$\alpha_{1АФТnp} = \alpha_{1ДФ} + (\alpha l)_{np} - G_{1VP} \quad (5.10)$$

где  $\alpha_{1АФТnp}$  - затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС, дБ;

$\alpha_{1ДФ}$  - затухание в дуплексном фильтре, дБ;

$(\alpha l)_{np}$  - затухание в кабеле, дБ;

$G_{1VP}$  - коэффициент усиления приемного устройства соединения, дБ.

Находим затухание сигнала на прием в АФТ тракте БС сотовой сети по формуле 5.10:

КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны определяем по формуле:

$$\eta_{1АФТ} = 10^{-0.1 \cdot \alpha_{АФТnp}} \quad (5.11)$$

где  $\eta_{1АФТ}$  - коэффициент полезного действия (КПД) антенно-фидерного тракта приемной антенны, отн.ед.;

$\alpha_{АФТnp}$  - затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС, дБ.

Теперь можем рассчитать действующую длину приемной антенны БС по формуле 5.9

Уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема, определим по формуле (5.6):

Теперь по формуле (5.3) можно определить уровень суммарного шума в точке приема:

## 5.5. Определение поправок

5.5.1. Поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности передатчика от мощности 1кВт, дБ

$$B_{рэкв} = B_{рнорм} + \alpha_{\phi} + \alpha_n + (\alpha l)_{пер} - \sigma_{пер} - \varepsilon_{пер} \quad (5.12)$$

где  $B_{рнорм}$  - поправка, учитывающая отличие от номинальной мощности 1 кВт, для которой построены графики МККР, дБ;

$\alpha_{\phi}$  - затухание в резонаторных и мостовых фильтрах, антенных разделителях и др., дБ;

$\alpha_n$  - затухание в неоднородностях антенно-фидерного тракта передачи, дБ;

$(\alpha l)_{пер}$  - затухание в фидере передающей антенны, дБ;

$\sigma_{пер}$  - неравномерность диаграммы направленности передающей антенны в горизонтальной плоскости, дБ;

$\varepsilon_{пер}$  - коэффициент усиления передающей антенны, дБ.

Сумма  $\alpha_{2\phi} + \alpha_{2n} + (\alpha l)_{пер}$  выражает общее затухание сигнала в антенно-фидерном тракте передачи носимой станции  $\alpha_{2АФТ} = 1$  дБ .

5.5.2. Поправка, учитывающая фактическую мощность передатчика, дБ

$$B_{рном} = 10 \lg \frac{10^3}{P_{ном}} \quad (5.13)$$

Где  $P_{ном}$  - фактическая мощность передатчика, Вт.

Тогда, по формуле (5.12), поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности передатчика от 1 кВт

$$\begin{aligned} B_{2рэкв} &= B_{2рнорм} + \alpha_{2\phi} + \alpha_{2n} + (\alpha l)_{2пер} - \sigma_{2пер} - \varepsilon_{2пер} = \\ &= B_{2рнорм} + \alpha_{2АФТ} - \sigma_{2пер} - \varepsilon_{2пер} \end{aligned}$$

Графики, приведенные в рекомендации №370 МККР, построены для высоты установки антенны АС, равной 10 м. В тех случаях, когда антенну АС устанавливают на другой высоте, следует внести поправку, которую можно рассчитать по формуле:

$$B_{h2} = 10 \lg \frac{10}{h_2} \quad (5.14)$$

где  $B_{h2}$  - поправка, учитывающая отличие высоты установки антенны АС от высоты 10 м, для которой составлены графики МККР, дБ;

$h_2$  - высота установки антенны АС, м.

5.5.3. Поправка, вносимая при необходимости обеспечения связи для процента пунктов приема, отличающегося от 50% определяется по графику.

Для обеспечения связи в 90% пунктов приема поправка

$$B_{\%мест} = -11 \text{ дБ} \quad (5.15)$$

5.5.4. Для определения поправки на быстрые замирания, учитывающей отличие принятого процента времени превышения данной напряженности поля от 50% \* времени, наиболее приемлемы графики замираний по Буллингтону. Пользуясь этими графиками, можно проводить расчеты с наибольшей степенью точности. Определенная из графика поправка на быстрые замирания для 90% времени.

$$B_{зам} = 3.5 \text{ дБ} \quad (5.16)$$

5.5.5. Поправка, учитывающая отличие реального, рельефа местности от принятого при составлении графиков МККР, зависит от среднего колебания высот местности  $\Delta h$  на расстоянии 10 км и более от БС. Для городской местности, при плотной застройке примем колебания рельефа ( $\Delta h=100$  м) поправка, определенная по графику (рисунок 3).

$$B_{\text{рельеф}} = 6 \text{ дБ} \quad (5.17)$$

Неравномерность диаграммы направленности приемной антенны БС в горизонтальной плоскости  $\sigma_{1np} = -1$  дБ.

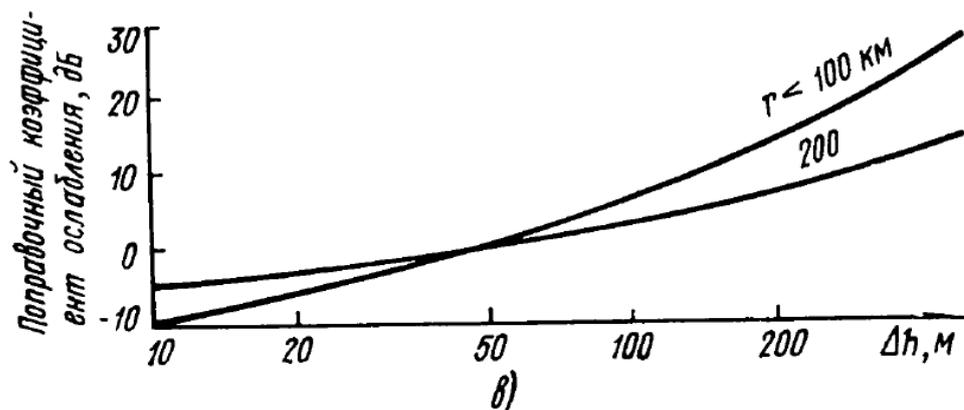


Рисунок 3. Зависимость поправочного коэффициента ослабления от среднего колебания местности

## 5. 6 Вычисление радиуса зоны обслуживания

### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 3-е изд., стереотип. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014. - 222 с.
2. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Горячая линия- Телеком, 2014.

#### Дополнительная литература

1. Нефедов, В. И. Общая теория связи [Текст] : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. - Москва : Юрайт, 2016. - 495 с. - (Бакалавр и магистр. Академический курс).

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дайте определение электромагнитной совместимости.
2. Дайте определение понятия «кластер сот». В чем преимущества и недостатки

- кластеризации сот?
3. С какой целью выполняется секторизация соты?
  4. На каких частотах работают радиорелейные линии связи, и какие факторы в наибольшей степени влияют на устойчивость их функционирования?

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для:

получения информации при подготовке к занятиям,

- создания презентационного сопровождения лекций;
- интерактивного общения;
- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level ;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security

## **11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
ЛР	Лаборатория «Управление в технических системах»	Лабораторный комплекс «Локальные сети ЭВМ» на 10 рабочих мест	1-4 ЛР
ПЗ	Лаборатория «Управление в технических системах»	Лабораторный комплекс «Локальные сети ЭВМ» на 10 рабочих мест	1-5 ПЗ
СР	ЧЗЗ	-	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-3	Способность владеть основными методами, способами средствами получения, хранения, переработки информации	1. Эволюция систем радиосвязи	1.1. Конвергенция сетей подвижной и фиксированной связи.	Вопрос к зачету
			1.3. История возникновения.	Вопрос к зачету
			1.5. Международные и национальные стандарты	Вопрос к зачету
		2. Поколения сетей сотовой связи	2.1. Первое поколение 1G.	Вопрос к зачету
			2.3. Мобильная связь третьего поколения 3G.	Вопрос к зачету
			2.5. Мобильная связь пятого поколения 5G.	Вопрос к зачету
		3. Сетевая технология GSM	3.1. Введение в GSM .	Вопрос к зачету
			3.3. SIM – карта.	Вопрос к зачету
			3.5. Регистр HLR и центр аутентификации AuC.	Вопрос к зачету
			3.7. Центр коммутации MSC и SMS-центр.	Вопрос к зачету
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	1. Эволюция систем радиосвязи	1.2. Системы радиосвязи.	Вопрос к зачету
			1.4. Основные понятия и термины.	Вопрос к зачету
		2. Поколения сетей сотовой связи	2.2. Системы второго поколения D-AMPS.	Вопрос к зачету
			2.4. Мобильная связь четвертого поколения 4G.	Вопрос к зачету
		3. Сетевая технология GSM	3.2. Структура сети GSM .	Вопрос к зачету
			3.4. Подсистема базовой станции.	Вопрос к зачету
			3.6. Гостевой регистр VLR	Вопрос к зачету

**2. Вопросы к зачету**

№ п/п	Компетенции		Вопросы к зачету	№ и наименование раздела (
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ОПК-3	Способность владеть основными методами, способами средствами и	1. Конвергенция сетей подвижной и фиксированной связи.	1. Эволюция систем радиосвязи
			2. История возникновения.	
			3. Международные и национальные стандарты	
			1. Первое поколение 1G.	2. Поколения сетей

		получения, хранения, переработки информации	2. Мобильная связь третьего поколения 3G.	сотовой связи
			3. Мобильная связь пятого поколения 5G.	
			1. Введение в GSM .	3. Сетевая технология GSM
			2. SIM – карта.	
			3. Регистр HLR и центр аутентификации AuC.	
			4. Центр коммутации MSC и SMS-центр.	
2	ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	1. Системы радиосвязи.	1. Эволюция систем радиосвязи
			2. Основные понятия и термины.	
			1. Системы второго поколения D-AMPS.	2. Поколения сетей сотовой связи
			2. Мобильная связь четвертого поколения 4G.	
			1. Структура сети GSM .	3. Сетевая технология GSM
			2. Подсистема базовой станции.	
3. Гостевой регистр VLR				

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать:</b> (ОПК-3) - принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи; (ПК-13): - особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем;</p> <p><b>Уметь:</b> (ОПК-3) - формулировать основные технические требования к телекоммуникационным сетям и системам, оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники; (ПК-13): - оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники;</p>	<p><b>Зачтено</b></p>	<p>Студент должен во время ответа показать знания: систем мобильной связи, основных этапы развития и современных протоколов связи, основных терминов используемые в научно-технической литературе по мобильной связи. Студент должен иметь навыки владения: использования универсальных программных продуктов на ПК, понимания материала и способности высказывания мыслей на научно-техническом языке. Студент во время ответа должен продемонстрировать умения: использования навыков анализа сетей GSM и законов их функционирования.</p>
<p><b>Владеть:</b> (ОПК-3) - навыками практической работы с лабораторными макетами аналоговых и цифровых устройств, методами компьютерного моделирования физических процессов при передаче информации. (ПК-13): - навыками расчета внешних характеристик систем передачи данных.</p>	<p><b>Не зачтено</b></p>	<p>На вопросы студент отвечает неубедительно. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.</p>

#### **4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина сети и системы мобильной связи направлена на ознакомление с основными элементами и процессами, протекающими в системах мобильной связи, и её практическим применением в современных системах телекоммуникаций; на получение теоретических знаний и практических навыков проектирования систем GSM для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины вычислительная техника и информационные технологии предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические занятия,
- самостоятельную работу студента,
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 «Эволюция систем радиосвязи» студенты должны изучить: физические конвекция сетей подвижной и фиксированной связи, системы радиосвязи, история возникновения, основные понятия и термины, международные и национальные стандарты.

В ходе освоения раздела 2 «Поколения сетей сотовой связи» студенты должны изучить: все существующие поколения сотовой связи.

В ходе освоения раздела 3 «Сетевая технология GSM» студенты должны изучить: Введение в GSM, структура сети GSM, SIM – карта, подсистема базовой станции, регистр HLR и центр аутентификации AuC, гостевой регистр VLR, центр коммутации MSC и SMS-центр.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления об различных способах проектирование систем GSM.

В процессе проведения практических работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков работы с расчета параметров передатчиков базовых станций.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: поколения сотовой связи, структурная схема сетей GSM.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Сети и системы мобильной связи**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является изучение студентами особенностей построения современных систем мобильной связи (СМС), предоставляющих разнообразные услуги связи мобильным и фиксированным абонентам, а также особенностей технических характеристик СМС различных стандартов.

Задачей изучения дисциплины является сформировать умение осуществить выбор частотного плана построения сетей связи, представления об основных стандартах связи и структуре построения сетей, умение осуществить выбор оптимальной схемы организации мобильной радиосвязи для конкретных условий.

**2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 12 часов, ЛР – 12 часов, ПЗ – 12 часов, СРС – 36 часов.  
Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часов, 2 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Эволюция систем радиосвязи.
2. Поколения сетей сотовой связи.
3. Сетевая технология GSM.

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции:

ОПК-3 - Способность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации.

ПК-13 - Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты

1. Вид промежуточной аттестации: зачет

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

3. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**4. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компет енции	Элемент компетен ции	Раздел	Тема	ФОС
1.	ОПК – 3	3. Сетевая технологи я GSM	3.1. Введение в GSM .	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям
			3.3. SIM – карта.	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям
			3.5. Регистр HLR и центр аутентификации AuC.	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям
			3.7. Центр коммутации MSC и SMS-центр.	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям
2.	ПК-13	3. Сетевая технологи я GSM	3.2. Структура сети GSM .	3.2. Структура сети GSM .
			Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям
			3.4. Подсистема базовой станции.	3.4. Подсистема базовой станции.

**2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций**

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать:</b> (ОПК-3) - принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи; (ПК-13): - особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем;</p> <p><b>Уметь:</b> (ОПК-3) - формулировать основные технические требования к телекоммуникационным сетям и системам, оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники; (ПК-13): - оценивать основные проблемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной техники;</p> <p><b>Владеть:</b> (ОПК-3) - навыками практической работы с лабораторными макетами аналоговых и цифровых устройств, методами компьютерного моделирования физических процессов при передаче информации. (ПК-13): - навыками расчета внешних характеристик систем передачи данных.</p>	<b>Зачтено</b>	<p>Во время защиты лабораторных работ и практических работ студент ответил на поставленные преподавателем вопросы. Продемонстрировал знание построения логических устройств, владение навыками разработки технического задания.</p>
	<b>Не зачтено</b>	<p>Во время защиты лабораторных работ и практических работ студент не смог дать ответы на поставленные преподавателем вопросы. Либо отчет имеет ряд замечаний.</p>

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи от «6» марта 2015 г. №174

**для набора 2015 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «13» июля 2015г. № 475

**для набора 2016 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429

**для набора 2017 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. № 125

**для набора 2018 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130

**Программу составил (и):**

Ульянов А.Д. старший преподаватель кафедры УТС  
*Ф.И.О., должность, ученое звание, (степень)*

\_\_\_\_\_  
*(подпись)*

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры \_\_\_\_\_ УТС  
*(сокращенное наименование)*  
от «28» декабря 2018 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой УТС  
*(разработчик)*

\_\_\_\_\_  
*(подпись)*

Игнатьев И.В.  
*(Ф.И.О.)*

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой

\_\_\_\_\_  
*(подпись)*

Игнатьев И.В.  
*(Ф.И.О.)*

Директор библиотеки

\_\_\_\_\_  
*(подпись)*

Сотник Т.Ф.

Рабочая программа одобрена методической комиссией ЭиА факультета  
*(сокращенное наименование)*  
от «28» декабря 2018 г., протокол № 6

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_

*(подпись)*

Ульянов А.Д.  
*(Ф.И.О.)*

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник  
учебно-методического управления \_\_\_\_\_

Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_