

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МОБИЛЬНОЙ СЕТИ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Телекоммуникационные системы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направлений подготовки 11.03.01 «Радиотехника»,
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы
и комплексы»

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 621.396
И88

Р е ц е н з е н т:

С.Р. Зиборов - канд. техн. наук, доцент

Ответственный за выпуск:

И.Л. Афонин - д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

Составитель: Савочкин А.А.

И88 Исследование системы передачи данных в мобильной сети: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Телекоммуникационные системы» для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» / Сост. А.А. Савочкин. - Севастополь: СевГУ, 2019. - 40 с.

Цель учебно-методического пособия — оказание помощи студентам в подготовке и выполнении лабораторной работы по дисциплине «Телекоммуникационные системы», а также в получении ими теоретических знаний по работе систем передачи данных в мобильной сети и практических навыков по настройке и конфигурированию беспроводного оборудования.

УДК 621.396

Учебно-методическое пособие утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 10 от 28 марта 2019 г.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 8 от 30 апреля 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель лабораторной работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
2.1. Технологии, применяемые в радиосистемах передачи данных для разделения каналов	4
2.2. Особенности организации поколений мобильной связи	7
2.3. Особенности мобильной связи стандарта 4G.....	12
2.4. Многоантенные технологии в 4G.....	15
2.5. Общие принципы организации IP-телефонии	16
3. Описание лабораторной установки	18
3.1. Общая характеристика оборудования.....	18
3.2. Характеристика программных средств	18
3.3. Технические характеристики маршрутизатора <i>HUAWEI B315s-22</i> ..	19
4. Порядок выполнения лабораторной работы	22
4.1. Исследование свойств канала мобильной связи	22
4.1.1. Порядок подключения и тестирования канала связи 4G	22
4.1.2. Порядок подключения и тестирования канала связи 3G	27
4.1.3. Порядок подключения и тестирования канала связи 2G	28
4.2. Исследование возможности использования канала мобильной свя- зи для организации IP-телефонии	29
4.3. Исследование возможностей маршрутизатора при использовании беспроводного доступа <i>Wi-Fi</i>	33
4.4. Исследование состава базовых станций мобильной сети.....	34
5. Содержание отчета по лабораторной работе.....	37
6. Контрольные вопросы.....	38
6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы	38
6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы.....	38
Библиографический список.....	40

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является изучение принципов передачи данных в сетях мобильной связи третьего поколения (3G), четвертого поколения (4G) и практическое определение возможностей мобильной сети по передаче информации в различных режимах работы.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Технологии, применяемые в радиосистемах передачи данных для разделения каналов

В современных системах передачи данных находят применение следующие методы разделения каналов.

Множественный доступ с частотным разделением каналов — *Frequency Division Multiple Access (FDMA)* — применяется в аналоговых системах радиосвязи. Данный способ предполагает использование радиочастот, при котором один частотный участок безраздельно отдан для использования одному абоненту либо группе абонентов. Соответственно, для установления связи разными абонентами в пределах зоны обслуживания им предоставляются разные частоты, поэтому пока вызов не обслужен, канал, работающий на частоте, предоставленной абоненту, не может быть использован для других сеансов связи. Для полнодуплексного (*Full-Duplex*) обмена при *FDMA* необходимо два канала — один для передачи, другой для приема.

Метод *FDMA* использовался в первом поколении (1G) мобильной связи. Этот принцип реализован в стандартах *AMPS*, *NMT* и ряде других.

Множественный доступ с временным разделением каналов — *Time Division Multiple Access (TDMA)* — способ радиообмена, при котором на одной несущей частоте последовательно передаются сообщения нескольких абонентов. То есть при *TDMA* каждому абоненту предоставляется монопольный доступ к данному частотному каналу, однако предоставляется он поочередно и в разные, строго определенные для них интервалы времени.

Технология *TDMA* наиболее часто используется в мобильной сотовой сети, например, в стандартах *D-AMPS (ANSI-136)*, *PDC* и *GSM*.

Множественный доступ с кодовым разделением каналов — *Code Division Multiple Access (CDMA)* — это более прогрессивный способ использования радиочастотного ресурса, при котором сообщения абонентов разделяются благодаря специальному спектральному кодированию. Метод многостанционного доступа, положенный в основу технологии, базируется на применении сигналов с расширенным спектром и одновременной передачей большого числа сигналов в общей полосе частот.

В упрощенном виде принципы функционирования данной технологии можно пояснить на следующем примере. Предположим, имеется определенная последовательность двоичных разрядов низкоскоростного потока (не имеет значения, является она потоком данных или оцифрованным голосовым сигналом), подлежащих передаче. На передающей стороне данный набор перемножается с псевдослучайной последовательностью. Таким образом, этот сигнал

занимает полосу частот, значительно превышающую по ширине полосу, занимаемую исходным узкополосным сигналом. Чем шире полоса частот и чем ниже скорость информационного потока, тем больше база сигнала (произведение длительности сигнала на полосу частот, которую он занимает) и, соответственно, выше помехоустойчивость [1].

Технология *CDMA* обеспечивает хорошее качество связи, высокую конфиденциальность, низкий уровень шумов одновременно с меньшей мощностью излучения передатчиков. Емкость сети *CDMA* в десятки раз больше, чем у любых аналоговых или цифровых сетей благодаря возможности многократного использования одной и той же полосы частот.

CDMA является практическим приложением методов расширения спектра, которые можно разделить на две основные категории: расширение спектра методом прямой последовательности — *direct sequence (DS)* и расширение спектра методом скачкообразной перестройки частоты — *frequency hopping (FH)* [2, 3].

При использовании прямой последовательности в передатчике узкополосный информационный сигнал (спектрограмма А на рис. 2.1) умножается на опорную псевдослучайную N -символьную последовательность, а полученный сигнал модулируется методом двоичной или квадратурной фазовой манипуляции (*BPSK* или *QPSK*). База результирующего сигнала равна числу символов псевдослучайной последовательности ($B = N$) [4].

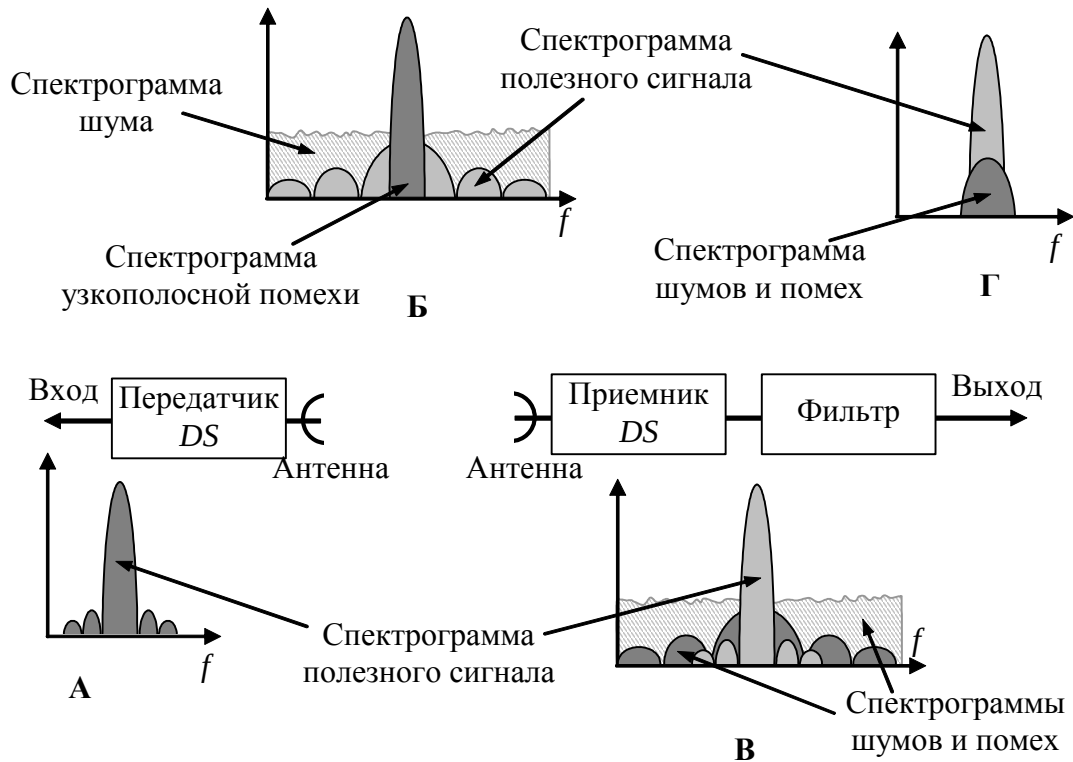
При этом использование шумоподобных сигналов с высокой тактовой частотой приводит к тому, что спектр исходного узкополосного сигнала «размазывается» в широкой полосе частот (спектрограмма Б на рис. 2.1) и становится меньше уровня шума.

В приемнике исходный сигнал восстанавливается с помощью псевдослучайной последовательности с известной структурой (обратная операция). При этом другие сигналы, поступающие на данный приемник, воспринимаются как шум (например, спектрограмма В на рис. 2.1).

Аналогичным образом происходит подавление мощных узкополосных помех от других работающих передатчиков. В приемнике такая помеха тоже «размазывается» в широкой полосе частот и после фильтрации лишь незначительно ухудшает качество связи (спектрограмма Г на рис. 2.1).

Простейший пример реализации *CDMA* с перестройкой частоты при кратковременном распределении частотных диапазонов для различных источников сигнала изображен на рис. 2.2.

В каждом из коротких временных интервалов происходит перераспределение частотных диапазонов. Как показано на рис. 2.2, в течение интервала 1 сигнал 1 использует диапазон 3, сигналы 2 и 3 — диапазоны 1 и 5. Во время интервала 2 сигнал 1 «перескакивает» в диапазон 1, сигнал 2 — в диапазон 4, сигнал 3 — в диапазон 2 и т. д. [2].



А — спектрограмма информационного сигнала и шума; Б — спектрограмма сигнала и шума на входе приемника; В — спектрограмма сигнала и шума на выходе приемника; Г — спектрограмма сигнала и шума на выходе фильтра

Рис. 2.1 — Преобразование спектров сигнала методом прямой последовательности

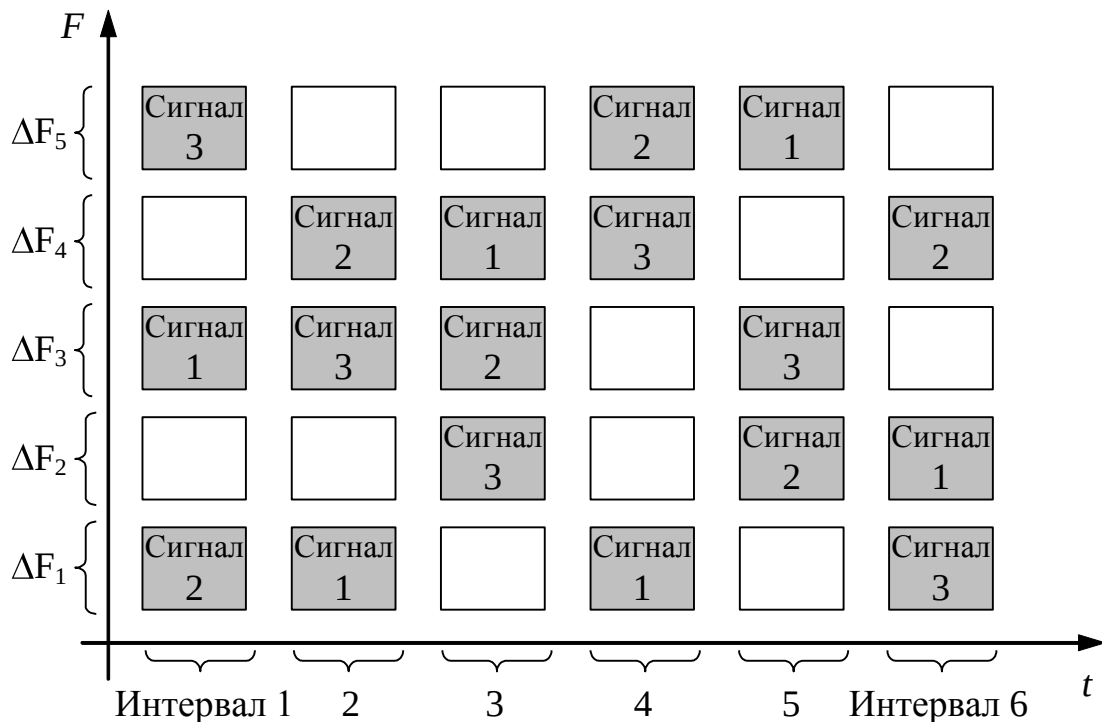


Рис. 2.2 — Схема уплотнения сигналов с кодовым разделением методом скачкообразной перестройки частоты

Таким образом, ресурс связи используется полностью, причем диапазоны пользователей перераспределяются в каждый последующий момент времени. Каждому пользователю присваивается псевдошумовой код, который указывает последовательность перестройки частоты. Псевдошумовые коды ортогональны друг другу. Для восстановления сигналов необходимо знать порядок изменения частот при передаче.

2.2. Особенности организации поколений мобильной связи

Общая характеристика поколений мобильной связи представлена в табл. 2.1. В данном подразделе в основном рассмотрены особенности реализации систем сотовой связи третьего поколения.

Таблица 2.1 — Характеристики поколений мобильной связи

Поколение	1G	2G	2.5G	3G	3.5G	4G
Начало разработки	1970 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.	2000 г.	2000 г.
Реализация	1984 г.	1991 г.	1999 г.	2002 г.	2006... 2007 гг.	2008... 2019 гг.
Сервисы	Аналоговый стандарт, синхронная передача данных	Цифровой стандарт, передача коротких сообщений <i>SMS</i>	Пакетная передача данных	Увеличенная емкость	Увеличение скорости сетей третьего поколения	Большая емкость, поддержка мультимедиа
Скорость передачи информации	1,9 кбит/с	14,4 кбит/с	384 кбит/с	2 Мбит/с	3...14 Мбит/с	≈1 Гбит/с
Стандарты	<i>AMPS, TACS, NMT</i>	<i>TDMA, CDMA, CDMA One, GSM, DAMPS</i>	<i>GPRS, EDGE, 1xRTT</i>	<i>WCDMA, CDMA 2000, UMTS</i>	<i>HSDPA</i>	<i>LTE</i>
Сеть	<i>PSTN</i>	<i>PSTN</i>	<i>PSTN</i> , сеть пакетной передачи данных	Сеть пакетной передачи данных	Сеть пакетной передачи данных	Сеть пакетной передачи данных, Интернет

CDMA2000. Стандарт *CDMA2000* является развитием стандарта второго поколения *CDMAOne*. Дальнейшим развитием *CDMAOne* должен был стать *IS-*

95с, и именно это обозначение иногда используется производителями оборудования. Официальным обновлением стандарта, разработанным компанией *Qualcomm* и утвержденным Международным союзом электросвязи — *International Telecommunication Union (ITU)*, является *CDMA2000*.

Однако стоит отметить, что реализованный вид связи *CDMA2000 1X* все же не является полноценным 3G, ибо не дотягивает до обязательной скорости передачи информации 2 Мбит/с. Поэтому его иногда называют 2.5G.

При построении системы мобильной связи на основе технологии *CDMA2000 1X* реализуется передача данных со скоростью до 153 кбит/с, что позволяет предоставлять услуги голосовой связи, передачу коротких сообщений, работу с электронной почтой, *Internet*, базами данных и передачу неподвижных изображений.

CDMA2000 1X EV-DO Release 0. Обозначение *EV-DO* — сокращение от *EVolution Data Only* (позднее был заменен *ITU* на *Evolution Data Optimized*). В отличие от *EV-DV (EVolution Data Voice)* изменению подвергся только интерфейс передачи данных, а передача голоса осталась полностью идентичной стандарту *CDMA2000 1X* и *CDMA One (IS-95a/b)* [3].

Переход к следующему релизу стандарта *CDMA2000 1X EV-DO* происходит при использовании полосы частот 1,23 МГц и увеличении максимальной скорости передачи до 2,4 Мбит/с в прямом канале и до 153 кбит/с в обратном, что делает эту систему связи отвечающей требованиям стандарта 3G и обеспечивает возможность предоставлять более широкий перечень услуг, вплоть до передачи видео в режиме реального времени [4].

Как в прямом, так и обратном каналах данные размещаются в тайм-слотах длительностью по 1,67 мс, которые группируются в кадры по 26,67 мс. Каждый кадр содержит два субкадра по восемь тайм-слотов [5, 6].

С целью поддержания высоких скоростей передачи стандартом предусмотрен специализированный канал динамического управления скоростью передачи данных *Data Rate Control (DRC)*. Алгоритм управления скоростью передачи предполагает определение мобильным терминалом индекса *DRC* на основе оценивания отношения сигнал-шум (*signal to noise ratio, SNR*) на входе приемника. Индекс *DRC* изменяется в пределах от 1 до 12 и характеризует способность мобильной станции принимать данные с той или иной скоростью, исходя из условия обеспечения вероятности ошибки на кадр (1...2) %. Передается индекс *DRC* в обратном канале. В зависимости от отношения сигнал-шум индекс *DRC* может изменяться на протяжении сеанса связи. По данным [3] адаптивное управление скоростью передачи оказалось более эффективным для повышения пропускной способности, чем используемые в других стандартах методы управления мощностью передатчика.

Характеристика режимов *DRC* для прямого канала «*Rel. 0*» приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2 — Характеристика режимов *DRC* для прямого канала *CDMA2000 1X EV-DO Release 0*

Индекс <i>DRC</i> , скорость передачи данных, кбит/с	Число слотов	Длитель- ность тайм- слота, мс	Размер пакета, бит	Метод модуля- ции	Порого- вое значение <i>SNR</i> , дБ
<i>DRC</i> 1 — 38,4	16	26,67	1024	<i>QPSK</i>	–12
<i>DRC</i> 2 — 76,8	8	13,33	1024	<i>QPSK</i>	–9,6
<i>DRC</i> 3 — 153,6	4	6,67	1024	<i>QPSK</i>	–6,8
<i>DRC</i> 4 — 307,2	2	3,33	1024	<i>QPSK</i>	–3,9
<i>DRC</i> 5 — 307,2	4	6,67	20148	<i>QPSK</i>	–3,8
<i>DRC</i> 6 — 614,4	1	1,67	1024	<i>QPSK</i>	–0,8
<i>DRC</i> 7 — 614,4	2	3,33	2048	<i>QPSK</i>	–0,6
<i>DRC</i> 8 — 921,6	2	3,33	3072	<i>QPSK</i>	1,8
<i>DRC</i> 9 — 1228,8	1	1,67	2048	<i>8PSK</i>	3,7
<i>DRC</i> 10 — 1228,8	2	3,33	4096	<i>8PSK</i>	3,8
<i>DRC</i> 11 — 1843,2	1	1,67	3072	<i>16QAM</i>	7,5
<i>DRC</i> 12 — 2457,6	1	1,67	4096	<i>16QAM</i>	9,7

CDMA2000 1X EV-DO Revision A. Следующим этапом развития стандарта *CDMA2000 1X EV-DO* является *1X EV-DO Rev. A*. Стандарт предусматривает увеличение скорости передачи данных в прямом и обратном каналах путем ввода дополнительных режимов, параметры которых приведены в табл. 2.3. Стандарт обеспечивает передачу данных с максимальной скоростью 3,1 Мбит/с по направлению к абоненту и 1,8 Мбит/с по направлению от абонента.

Таблица 2.3 — Характеристика дополнительных режимов *DRC* для прямого канала *CDMA2000 1X EV-DO Revision A*

Индекс <i>DRC</i> , скорость передачи данных, кбит/с	Число слотов	Размер пакета, бит	Метод модуляции
<i>DRC</i> 13 — 1536	2	5120	<i>16QAM</i>
<i>DRC</i> 14 — 3072	1	5120	<i>16QAM</i>

CDMA2000 1X EV-DO Revision B. Следующий этап стандарта *1X EV-DO Rev. B* позволяет достигнуть максимальной скорости передачи данных на одном частотном канале: 4,9 Мбит/с к абоненту и 2,4 Мбит/с по направлению от абонента. Увеличение максимальной скорости передачи при неизменной полосе одного частотного канала обеспечивается применением многопозиционной манипуляции *64QAM*.

Кроме того, в стандарте *Rev. B*, в отличие от *Rev. A* предусмотрена возможность объединения нескольких частотных каналов для увеличения скоро-

сти. Оператор связи имеет возможность внедрить *1X EV-DO Rev. B* при использовании трех частотных каналов, что увеличило скорость передачи информации до 9,3 Мбит/с по направлению к абоненту и 5,4 Мбит/с по направлению от абонента.

В прямом канале *EV-DO* используется технология временного разделения *TDMA* (как и в *GSM*). Технология временного разделения наиболее оптимально подходит для пакетной передачи данных.

В зависимости от типа передаваемой информации используется адаптивная модуляция. От типа модуляции, применяемой в прямом канале, зависит скорость передачи данных. Система оценивает размер кодируемого пакета, состояние радиоканала и назначает в соответствии с этим вид модуляции *QPSK*, *8PSK*, *16QAM* или *64QAM*.

Также немаловажную роль играет низкая излучаемая мощность радиопередатчиков абонентских устройств. Так, для систем *CDMA2000* максимальная излучаемая мощность составляет 250 мВт, в то время как для систем *GSM-900* этот показатель составляет около 2 Вт (в импульсе), а для *GSM-1800* — 1 Вт (в импульсе).

Технологии *UMTS/HSDPA*. Стандарт *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)* обеспечивает высокоскоростную передачу данных, мобильный *Internet*, различные приложения на основе использования пакетной передачи и мультимедиа. В качестве способа передачи данных используется технология *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)*. *WCDMA* — широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов.

Каналы трафика при таком способе разделения среды создаются присвоением каждому пользователю отдельного числового кода, который используется при формировании трафика абонента. Нет временного разделения, все абоненты постоянно используют всю полосу частот канала связи. Полоса частот канала очень широка, вещание абонентов «накладываются» друг на друга, но поскольку коды абонентов отличаются, они могут быть распознаны достаточно надежно.

Технология оптимизирована для предоставления высокоскоростных мультимедийных услуг и обеспечивает скорости доступа вплоть до 2 Мбит/с на коротких расстояниях и 384 Кбит/с на больших. Такие скорости передачи данных требуют полосу частот 5 МГц.

Технология *High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA)* — высокоскоростная пакетная передача данных от базовой станции к мобильному телефону — стандарт мобильной связи.

В стандарте предусмотрено 28 категорий мобильных терминалов, использующих технологию *HSDPA* в сетях мобильной связи *UMTS / HSDPA* с различными значениями максимальной скорости передачи данных в пакетном режиме от базовой станции к мобильному терминалу.

Каждая категория характеризуется определенным вариантом кодирования и вида модуляции в радиоканале. Характеристики основных категорий приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 — Категории мобильных терминалов, использующих технологию *HSDPA*

Категория	Коэффициент избыточности кода при максимальной скорости передачи	Максимальная скорость, Мб/с	Тип модуляции
1	0,76	1,2	<i>QPSK</i> / 16QAM
2	0,76	1,2	<i>QPSK</i> / 16QAM
3	0,76	1,8	<i>QPSK</i> / 16QAM
4	0,76	1,8	<i>QPSK</i> / 16QAM
5	0,76	3,6	<i>QPSK</i> / 16QAM
6	0,76	3,6	<i>QPSK</i> / 16QAM
7	0,75	7,2	<i>QPSK</i> / 16QAM
8	0,76	7,2	<i>QPSK</i> / 16QAM
9	0,70	10,2	<i>QPSK</i> / 16QAM
10	0,97	14	<i>QPSK</i> / 16QAM
11	0,76	0,9	<i>QPSK</i>
12	0,76	1,8	<i>QPSK</i>
13	0,82	17,6	<i>QPSK</i> , 16QAM, 64QAM
14	0,98	21,1	<i>QPSK</i> , 16QAM, 64QAM
—	—	—	—
28	0,98	84,4	<i>QPSK</i> , 16QAM, 64QAM

Технологии высокоскоростной передачи данных вниз *HSDPA* и вверх — *High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)* во многом близки к пакетной передаче данных, применяемой в стандарте *GSM* с использованием технологии *GPRS/EDGE*.

Передачу осуществляют отдельными пакетами, применяя в зависимости от состояния канала различные модуляционно-кодирующие схемы и повторную передачу неприятых пакетов. Технологию *HSDPA* используют практически на всех сетях *UMTS*. Высокоскоростной пакетный доступ вверх *HSUPA* используется с 2007 г.

Технология *HSPA+* базируется на предшествующем стандарте *HSDPA*, однако позволяет получить значительно большую скорость. Уже в стартовом варианте *HSPA+* обеспечивает скорость до 21,6 Мбит/с. Ширина канала также составляет 5 МГц, и все современные 3G/4G модемы поддерживают данный режим работы. Обычно сети *HSPA+* относят к так называемому переходному поколению 3.5G.

Стандарт *DC-HSPA+* — самый быстрый из используемых стандартов сетей 3G. По сути это двухканальный *HSPA+* с шириной канала 10 МГц. Соответственно и максимальная скорость в два раза выше — 42,2 Мбит/с. Такие сети часто называют даже 3.75G. В сетях *DC-HSPA+* реальная скорость доступа в Интернет сопоставима с средними показателями сетей 4G.

2.3. Особенности мобильной связи стандарта 4G

Действующим вариантом стандарта 4G является *Long-Term Evolution (LTE)* — стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных устройств. Основан он на *GSM/UMTS* протоколах, однако скорости передачи данных в сетях *LTE* значительно выше.

Стандарт *LTE* имеет две разновидности:

- *FDD* — частотный разнос входящего и исходящего канала;
- *TDD* — временной разнос входящего и исходящего канала.

В первом приближении можно считать, что *FDD* — это параллельный вариант *LTE*, а *TDD* — последовательный вариант *LTE*.

Например, при ширине полосы пропускания канала в 20 МГц в *FDD LTE* часть диапазона (15 МГц) отдаётся для загрузки (*download*), а часть (5 МГц) для выгрузки (*upload*). Таким образом, каналы не пересекаются по частотам, что позволяет работать одновременно и стабильно для загрузки и выгрузки данных.

В *TDD LTE* канал 20 МГц полностью отдаётся как для загрузки, так и для выгрузки, а данные передаются в ту и другую сторону поочерёдно, при этом приоритет имеет загрузка.

Сети *LTE (FDD и TDD)* работают в разных диапазонах. Во многих странах эксплуатируются сразу несколько частотных диапазонов. Диапазоны *FDD* нумеруются с 1 по 31, диапазоны *TDD* — с 33 по 44. Спецификации на частотные полосы называются «бэндами» (*band*). В табл. 2.5 приведены характеристики российских 4G сетей.

Скорость передачи данных в сети 4G зависит от ширины частотного диапазона и типа дуплекса, используемого в сети. Допустимы следующие значения: 1,4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 МГц [7].

В качестве систем множественного доступа в *LTE* используются *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)* в нисходящем канале и *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* в восходящем. При использовании технологии *OFDMA* весь имеющийся спектр разбивается на поднесущие, ортогональные друг другу. В зависимости от используемой ширины канала общее число поднесущих частот может быть 72, 180, 300, 600, 900 или 1200. Каждый из сигналов на поднесущей частоте может использовать свой вид модуляции: *QPSK*, *16QAM* или *64QAM*.

Таблица 2.5 — Характеристики сетей 4G LTE в России

Оператор	Частотный диапазон $\uparrow/\downarrow$, МГц	Ширина канала, МГц	Тип дуплекса	Номер полосы
<i>Yota</i>	2500-2530 / 2620-2650	2×30	<i>FDD</i>	<i>band 7</i>
Мегафон	2530-2540 / 2650-2660	2×10	<i>FDD</i>	<i>band 7</i>
Мегафон	2575-2595	20	<i>TDD</i>	<i>band 38</i>
МТС	2540-2550 / 2660-2670	2×10	<i>FDD</i>	<i>band 7</i>
МТС	2595-2615	20	<i>TDD</i>	<i>band 38</i>
Билайн	2550-2560 / 2670-2680	2×10	<i>FDD</i>	<i>band 7</i>
Теле2	2560-2570 / 2680-2690	2×10	<i>FDD</i>	<i>band 7</i>
МТС	1710-1785 / 1805-1880	2×7,5	<i>FDD</i>	<i>band 3</i>
Теле2	832-839,5 / 791-798,5	2×7,5	<i>FDD</i>	<i>band 20</i>
МТС	839,5-847 / 798,5-806	2×7,5	<i>FDD</i>	<i>band 20</i>
Мегафон	847-854,5 / 806-813,5	2×7,5	<i>FDD</i>	<i>band 20</i>
Билайн	854,5-862 / 813,5-821	2×7,5	<i>FDD</i>	<i>band 20</i>
К-телеком	2550-2570 / 2670-2690	2×20	<i>FDD</i>	<i>band 7</i>

Множественный доступ организуется за счет того, что одна часть поднесущих выделяется одному пользователю в кадре, другая часть — другому. Стандартом *LTE* (а именно, *3GPP TS 36.306 V15.1.0*, от июля 2018 г.) всего определяется 12 общих категорий мобильных устройств. Категория мобильного устройства задает максимальные скорости передачи в режимах *download* и *upload*.

В табл. 2.6 приведены значения скоростей передачи, поддерживаемые конфигурации *MIMO* и типы модуляций для каждой из общих категорий мобильных устройств.

Например, для канала в 10 МГц скорость 4G *LTE* будет составлять 75 Мбит/с. Именно с такой номинальной скоростью работают сети *LTE FDD* (*band 7*) операторов Теле2, МТС и Билайн.

Сеть 4G оператора Мегафон работает в канале 15-20 МГц, что обеспечивает скорость загрузки 100-150 Мбит/с.

Таблица 2.6 — Характеристики общих категорий мобильных терминалов

Категория	Downlink			Uplink	
	Максимальное количество бит в транспортном блоке и вид модуляции	Максимальное количество потоков MIMO	Макс. скорость передачи, Мбит/с	Максимальное количество бит в транспортном блоке	Максимальная скорость передачи, Мбит/с
1	10 296	1	~ 10	5 160	~ 5
2	51 024	2	~ 50	25 456	~ 25
3	75 376	2	~ 100	51 024	~ 50
4	75 376	2	~ 150	51 024	~ 50
5	149 776	4	~ 300	75 376	~ 75
6	149 776 (4 layers, 64QAM)	2 или 4	~ 300	51 024	~ 50
	75 376 (2 layers, 64QAM)				
7	149 776 (4 layers, 64QAM)	2 или 4	~ 300	51 024	~ 100
	75 376 (2 layers, 64QAM)				
8	299 856	8	~ 3000	149 776	~ 1500
9	149 776 (4 layers, 64QAM)	2 или 4	~ 450	51 024	~ 50
	75 376 (2 layers, 64QAM)				
10	149 776 (4 layers, 64QAM)	2 или 4	~ 450	51 024	~ 100
	75 376 (2 layers, 64QAM)				
11	149 776 (4 layers, 64QAM)	2 или 4	~ 600	51 024	~ 50
	195 816 (4 layers, 256QAM)				
	75 376 (2 layers, 64QAM)				
	97 896 (2 layers, 256QAM)				
12	149 776 (4 layers, 64QAM)	2 или 4	~ 600	51 024	~ 100
	195 816 (4 layers, 256QAM)				
	75 376 (2 layers, 64QAM)				
	97 896 (2 layers, 256QAM)				

Основным достоинством технологии *OFDMA* является то, что она позволяет бороться при приеме сигнала с негативными эффектами, вызванными многолучевым распространением. Однако этой технологии также присущи и некоторые недостатки. Основные из них состоят в том, что данная технология очень чувствительна к синхронизации по частоте. *OFDMA*-сигнал обладает высоким *Peak to Average Ratio (PAPR)*. Это, в свою очередь, сказывается на том, что используемый усилитель сигнала будет работать на нелинейном участке своей амплитудной характеристики. Поэтому его эффективность будет низкой, что достаточно критично для устройств с ограниченным запасом энергии (мобильных терминалов).

Из-за этого в восходящем канале *LTE* используется другая технология множественного доступа, а именно *SC-FDMA*. Отличие *SC-FDMA* от *OFDMA* заключается в том, что в *SC-FDMA* используется дополнительная обработка сигнала для снижения *PAPR*. В *SC-FDMA* в качестве такой дополнительной обработки сигнала используется преобразование Фурье. В восходящем канале могут использоваться различные виды модуляции: *QPSK*, *16QAM* и *64QAM*.

Следующим этапом развития сетей 4G *LTE* является стандарт *LTE-Advanced* (*LTE-A*). Скорости передачи данных в сети *LTE-A* в значительной степени превышают обычный *LTE*.

Главной особенностью *LTE-Advanced* является агрегация (объединенное использование) частотных диапазонов. Абонентское устройство с поддержкой *LTE-A* суммирует каналы передачи данных в разных частотных диапазонах, доступных оператору.

Например, Мегафон, объединяя несколько частотных диапазонов в полосе 2600 МГц получает канал в 40 МГц, что обеспечивает скорость в сети *LTE-Advanced* 300 Мбит/с. Если добавить ещё 20 МГц из полосы 1800 МГц, что получится канал 60 МГц (*band 7 + band 3*), что обеспечит теоретически скорость — 450 Мбит/с.

2.4. Многоантенные технологии в 4G

Применение технологий *multiple input — multiple output* (*MIMO*) обеспечивает:

- улучшение качества связи за счет пространственного временного или частотного кодирования и (или) формирования лучей (*beamforming*);
- повышение скорости передачи с помощью пространственного мультиплексирования.

В различных реализациях *MIMO* используется одновременная передача в одном физическом канале нескольких независимых сообщений [8]. С целью реализации *MIMO* применяют многоантенные системы: на передающей стороне используется N_t передающих антенн, а на приемной стороне — N_r приемных антенн. Пример многоантенной системы показан на рис. 2.3.

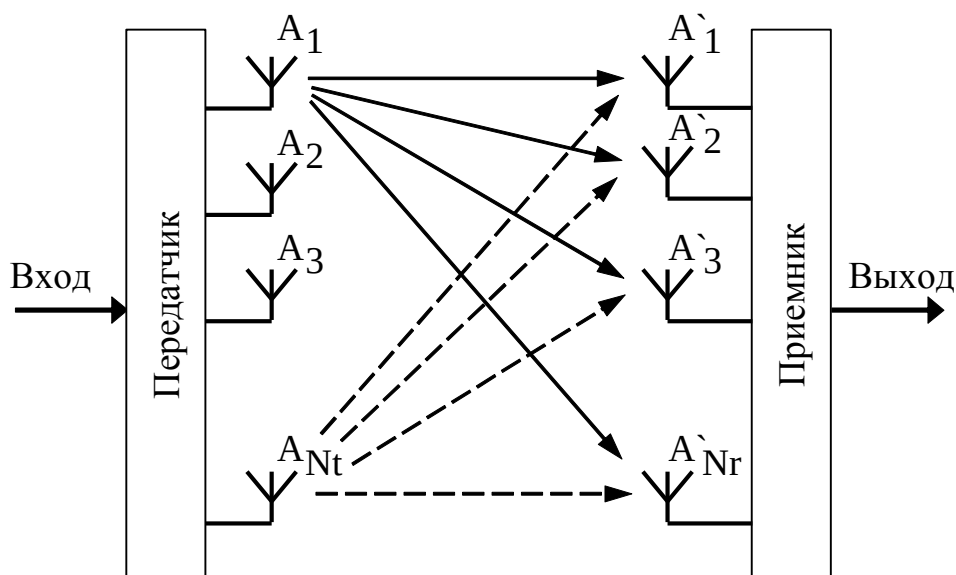


Рис. 2.3 — Схема многоантенной системы

Простейшая антенна *MIMO* — это система из двух несимметричных вибраторов, расположенных под углом $\pm 45^\circ$ относительно вертикальной оси.

Такой угол наклона вибраторов позволяет каналам находиться в равных условиях, поскольку при горизонтально-вертикальной ориентации излучателей одна из поляризационных составляющих неизбежно получила бы большее затухание при распространении вдоль земной поверхности. Сигналы, излучаемые независимо каждым вибратором, поляризованы взаимно ортогонально с достаточно высокой взаимной развязкой по кросс-поляризационной составляющей (не менее 20 дБ). Аналогичная антенна используется и на приемной стороне. Такой подход позволяет одновременно передавать сигналы с одинаковыми несущими, модулированными различным образом.

Для конечного пользователя *ММО* обеспечивает прирост в скорости передачи данных. В зависимости от конфигурации оборудования и числа используемых антенн, можно получить двухкратное, трёхкратное и более кратное увеличения скорости передачи информации. Обычно в беспроводных сетях используется одинаковое число передающих и приемных антенн, и записывается это в виде 2×2 или 3×3 . Например, система *ММО* 2×2 содержит две передающих антенны и две приемных.

Практически могут использоваться варианты *LTE*-антенн, которые передают и принимают сигналы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Отличительной особенностью конструкции *ММО*-антенн является наличие двух антенных разъемов.

Максимально в нисходящем канале технологией *LTE* поддерживается схема 4×4 . Это означает, что на передающей и приемной стороне используется по четыре антенны. В этом случае скорость передачи данных может быть увеличена в четыре раза (в действительности чуть меньше из-за увеличения числа пилотных сигналов).

2.5. Общие принципы организации IP-телефонии

Телефония по *IP* сетям (или *VoIP* — *Voice over Internet protocol*) — технология, которая использует сеть с пакетной коммутацией сообщений на базе протокола *IP* для передачи голоса в режиме реального времени [9].

При разговоре абонентов голосовые сигналы передаются через всемирную телефонную сеть — телефонную сеть общего пользования (ТСОП) или английское название — *Public switched telephone network (PSTN)*.

В случае *IP*-телефонии голосовые сигналы преобразуются в пакеты данных, которые затем сжимаются. Далее эти пакеты данных посылаются через Интернет приемной стороне. Когда пакеты данных достигают адресата, они декодируются в аналоговый голосовой сигнал. *IP*-телефония в чистом виде может применяться в качестве линий передачи голоса, для чего могут использоваться специально выделенные цифровые каналы.

В качестве достоинств *IP*-телефонии можно отметить меньшие затраты абонентов на телефонные разговоры. В особенности это распространяется на междугородние и международные звонки. Кроме того, *IP*-телефония позволяет уменьшить затраты на инвестиции в оборудование.

Простейший вариант телефонной системы — телефонная сеть, которая охватывает абонентов, находящихся в одном здании или группе близко расположенных зданий. В этом случае сетевая инфраструктура, как правило, представляет из себя локальную сеть на базе технологий *Ethernet*, *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet* или *Wi-Fi*, в рамках которой могут быть размещены как абонентские телефоны и персональные компьютеры, так и управляющие устройства телефонной сети. Основным устройством для управления сетью *IP*-телефонии является сервер управления звонками. Один сервер может поддерживать большое число *IP*-телефонов, которое зависит от модели сервера. В целях масштабирования системы и для обеспечения отказоустойчивости серверы могут быть объединены, что увеличивает число одновременно подключаемых телефонов.

Для подключения системы *IP*-телефонии к телефонной сети общего пользования используются голосовые шлюзы на базе маршрутизаторов, при этом выбор конкретной модели шлюза зависит от типа и числа интерфейсов, применяемых для стыковки с ТСОП (возможно использование как аналоговых, так и цифровых интерфейсов). Шлюзы также нужны в случае необходимости подключения системы *IP*-телефонии к установленной ранее офисной АТС.

Основные характеристики модели построения сети *IP*-телефонии для одного здания или кампуса (нескольких зданий, объединенных высокоскоростной локальной сетью):

- для организации системы *IP*-телефонии может использоваться шлюз, который выполняет функции голосового маршрутизатора и рекомендуется для применения в сетях средних и крупных офисов;

- для дальнейшего масштабирования сети возможно использование нескольких подобных устройств;

- для подключения к телефонной сети общего пользования (ТСОП) аналоговых телефонов и факсовых аппаратов, стыковки с существующими офисными АТС применяются голосовые шлюзы;

- ресурсы голосовых сервисных модулей используются для организации аудиоконференций;

- для обеспечения качественной работы различных приложений рекомендуется применение коммутаторов, поддерживающих необходимые средства обеспечения качества обслуживания (*Quality of Service*, *QoS*).

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

3.1. Общая характеристика оборудования

В состав лабораторной установки входит комбинированное многофункциональное устройство *HUAWEI B315s-22*, которое представляет собой высокоскоростной стационарный беспроводный маршрутизатор со встроенным модемом, способным работать в сетях мобильных операторов [10].

При выполнении работы исследуются реальные возможности систем передачи данных в мобильных сетях второго (2G), третьего (3G) и четвертого (4G) поколений.

Экспериментальная часть лабораторной работы выполняется на реальном оборудовании с подключением к сети оператора. Во время выполнения работы не допускается выполнять какие-либо операции, не оговоренные в данном методическом пособии. При возникновении вопросов, связанных с выполнением лабораторной работы, следует задать их преподавателю.

Исследование производится с использованием персонального компьютера (ПК).

3.2. Характеристика программных средств

При выполнении лабораторной работы используется виртуальная АТС интернет *IP*-телефонии ресурса *zadarma.com*.

Облачная или виртуальная АТС размещена на серверах оператора (в облаке), и клиенту не нужно устанавливать и поддерживать ее функционирование своими силами.

Облачная АТС позволяет распределять входящие и исходящие звонки организации, офиса, дома или предприятия. Система позволяет создать телефонную сеть за малое время и использовать сервисные функции современной телефонной станции. Передача данных между абонентом и АТС производится с помощью протокола установления сеанса — *Session Initiation Protocol (SIP)*. Необходимая для выполнения лабораторной работы конфигурация облачной АТС предварительно сконфигурирована. Параметры для настройки прямого подключения к АТС приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 — Сетевые параметры доступа по протоколу *SIP*

Наименование параметра	Значение
Сервер <i>SIP</i>	sip.zadarma.com
Логин или « <i>Username</i> » или « <i>Auth Name</i> »	384744
Пароль	9cKe8D1uzg

Выполнить звонок на *SIP*-логин можно по любому из телефонов доступа из 16 стран. В табл. 3.2 приведены телефоны доступа некоторых городов РФ.

Таблица 3.2 — Телефоны доступа городов РФ

Город	Номер телефона доступа
Москва	+7 (495) 777-66-75
Санкт-Петербург	+7 (812) 309-02-59
Краснодар	+7 (861) 203-35-60

После ответа системы производится набор *SIP*-номера в тональном режиме. Для звонка на другие *SIP*-номера внутри АТС следует набрать номер *SIP* аккаунта (номер содержит шесть цифр).

3.3. Технические характеристики маршрутизатора *HUAWEI B315s-22*

Многофункциональное устройство *HUAWEI B315s-22* в своем составе содержит: маршрутизатор, модем мобильной сети стандартов 2G, 3G и 4G, порт для подключения проводного телефона для организации *IP*-телефонии, комбинированный *LAN/WAN* порт *Gigabit Ethernet*, три *LAN* порта *Gigabit Ethernet*, порт *USB 2.0* для подключения периферийных устройств, *Wi-Fi* точку доступа и другие элементы.

При работе в мобильной сети обеспечивается поддержка стандартов: *LTE*, *DC-HSPA+*, *HSPA+*, *HSPA*, *WCDMA*, *EDGE*, *GPRS*, *GSM*. Маршрутизатор обеспечивает работу сервера *DHCP*, технологий *DNS RELAY* и *NAT*.

Упрощенная структурная схема маршрутизатора изображена на рис. 3.1. Внешний вид устройства показан на рис. 3.2: а) — вид спереди, б) — со стороны элементов подключения (вид сзади).

Основные технические характеристики маршрутизатора приведены в табл. 3.3.

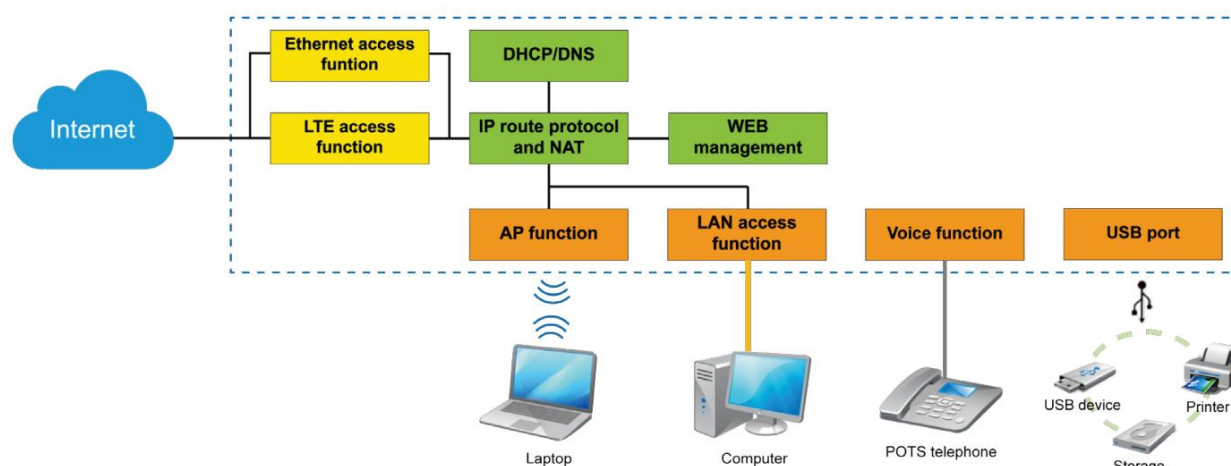
Рис. 3.1 — Структурная схема маршрутизатора *HUAWEI B315s-22*



Рис. 3.2 — Внешний вид маршрутизатора HUAWEI B315s-22

Таблица 3.3 — Технические характеристики маршрутизатора HUAWEI B315s-22

Наименование характеристики	Значение
Стандарты связи: <i>LTE Band 1/3/7/8/20/38</i> <i>UMTS Band 1/8</i> <i>GSM Band 2/3/5/8</i> <i>Wi-Fi, IEEE 802.11b/g/n</i>	<i>FDD 2100, 1800, 2600, 900, 800 МГц;</i> <i>TDD 2600 МГц.</i> <i>2100, 900 МГц.</i> <i>1900, 1800, 850, 900 МГц.</i> <i>2,400 — 2,474 ГГц</i>
Внешние порты:	<i>LAN ports (RJ45) — 3 шт.,</i> <i>WAN/LAN port (RJ45) — 1 шт.,</i> <i>USB 2.0 host port — 1 шт.,</i> <i>phone port (RJ11) — 1 шт.,</i> <i>antenna ports — 2 шт.,</i> <i>SIM card slot — 1 шт.</i>
Максимальный уровень мощности передачи: <i>LTE</i> <i>UMTS</i> <i>GSM 850/900 МГц:</i> 1800/1900 МГц: <i>WLAN 802.11b</i> 802.11g 802.11n	<i>Conform to 3GPP Power Class 3 Definition</i> <i>23±2 дБм</i> <i>33±2 дБм,</i> <i>30±2 дБм</i> <i>16±3 дБм, при скорости 11 Мбит/с</i> <i>17±3 дБм, при скорости 54 Мбит/с</i> <i>17±3 дБм</i>

Наименование характеристики	Значение
Чувствительность приемно- го тракта: <i>LTE</i> <i>UMTS</i> 2100 МГц: 900 МГц: <i>GSM</i> <i>WLAN</i> 802.11 <i>b</i> 802.11 <i>g</i> 802.11 <i>n HT20</i> 802.11 <i>n HT40</i>	<i>Conform to 3GPP Definition</i> –106,7 дБм, при полосе частот 3,84 MHz –103,7 дБм, при полосе частот 3,84 MHz –104 дБм –92 дБм, при скорости 1 Мбит/с –85 дБм, при скорости 11 Мбит/с –88 дБм, при скорости 6 Мбит/с –70 дБм, при скорости 54 Мбит/с –88 дБм, при режиме <i>MCS0</i> –68 дБм, при режиме <i>MCS7</i> –84 дБм, при режиме <i>MCS0</i> –66 дБм, при режиме <i>MCS7</i>
Максимальная скорость приема и передачи данных: <i>LTE FDD</i> <i>LTE TDD</i> <i>DC-HSPA+</i> <i>HSPA+</i> <i>HSPA</i> <i>WCDMA PS</i> <i>EDGE</i> <i>GPRS</i>	прием 150 Мбит/с, передача 50 Мбит/с прием 112 Мбит/с, передача 10 Мбит/с прием 42 Мбит/с, передача 5,76 Мбит/с прием 21 Мбит/с (64QAM) / 28 Мбит/с (<i>MIMO</i>), передача 5,76 Мбит/с прием 14,4 Мбит/с, передача 5,76 Мбит/с 384 kbps прием 296 кбит/с, передача 236,8 кбит/с 85,6 кбит/с
Максимальная скорость пе- редачи данных <i>Wi-Fi IEEE</i> 802.11 <i>b/g/n</i>	300 Мбит/с

Маршрутизатор оснащен двумя внутренними и двумя внешними антеннами. Программа конфигурирования маршрутизатора позволяет выбрать вариант работы: с внутренними или внешними антеннами. Коэффициент усиления внутренних (встроенных) антенн в диапазонах частот 703 – 960 МГц и 1710 – 2690 МГц для горизонтальной поляризации не менее 1 дБи, внешних антенн — не менее 3 дБи.

Маршрутизатор работает с любыми *SIM*-картами российских и европейских операторов связи (*YOTA*, Мегафон, МТС, Билайн, Ростелеком, *Tele2*, Волна, *Win*, Севтелеком и др.). Формат используемой *SIM*-карты — *mini*.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Исследование свойств канала мобильной связи

4.1.1. Порядок подключения и тестирования канала связи 4G

1) Произвести подключение оборудования лабораторной установки в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 4.1.

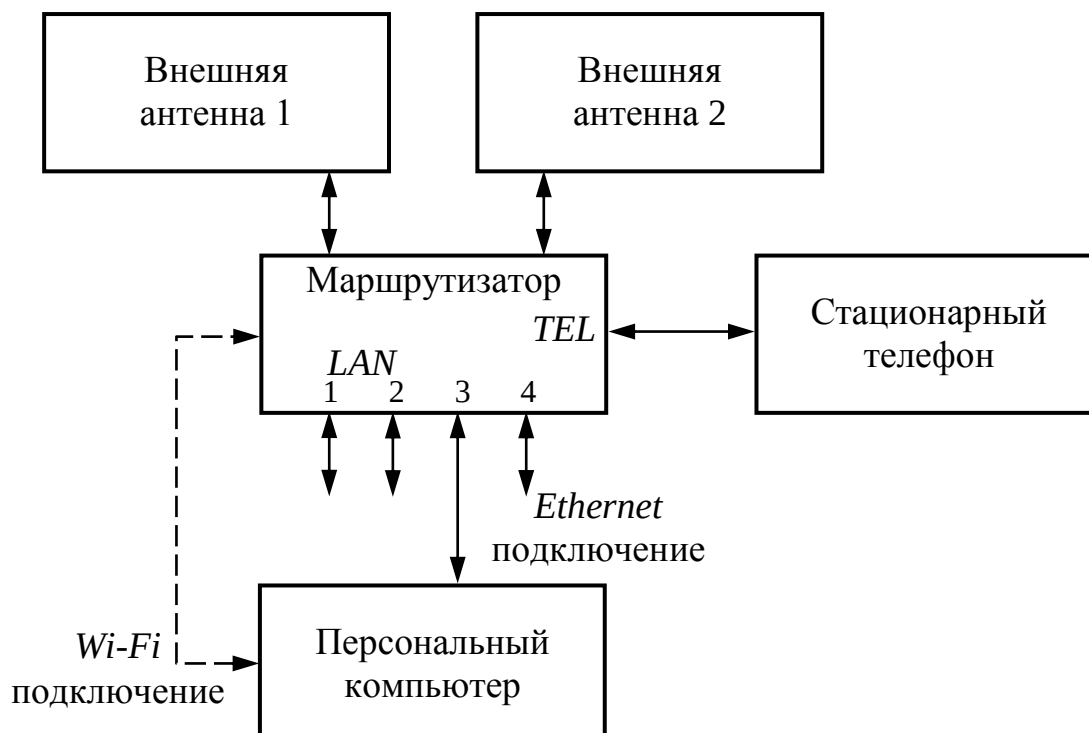


Рис. 4.1 — Структурная схема лабораторной установки

2) Включить ПК (ноутбук) и запустить админ-панель маршрутизатора, для этого в строке браузера ПК набрать адрес 192.168.8.1. В случае отсутствия подключения к админ-панели следует нажать кнопку «Пуск» и команду «Выполнить», и в поле ввода команды набрать *CMD*, завершив ввод нажатием кнопки «ОК». Для выполнения тестирования в окне консоли набрать команду

ipconfig

По результату выполнения команды определить, назначен ли адрес сетевому адаптеру *Ethernet* в сети маршрутизатора (192.168.8.*). Если адрес в указанной сети не назначен, то следует проверить сетевые настройки ПК. Для этого нажать правой кнопкой на значке «Сеть (Сетевое окружение)» и выбрать пункт «Свойства». Далее в меню слева нажать «Изменение параметров адаптера», выбрать сетевой адаптер *Ethernet*, нажать на значке адаптера правой кнопкой и выбрать «Свойства».

Проверить и при необходимости установить для «Протокол Интернета версии 4 (TCP/IPv4)»:

- получить *IP*-адрес автоматически;
- получить адрес *DNS*-сервера автоматически.

Для принятия в действие измененных установок отключить и включить сетевой адаптер *Ethernet*.

3) После коррекции параметров адресации произвести подключение админ-панели маршрутизатора по адресу 192.168.8.1. Выполнить авторизацию в среде админ-панели, для этого нажать надпись «Вход», расположенную с правой верхней части окна админ-панели. Для входа использовать параметры: логин — admin, пароль — admin. Вид окна админ-панели в случае успешной авторизации показан на рис. 4.2.

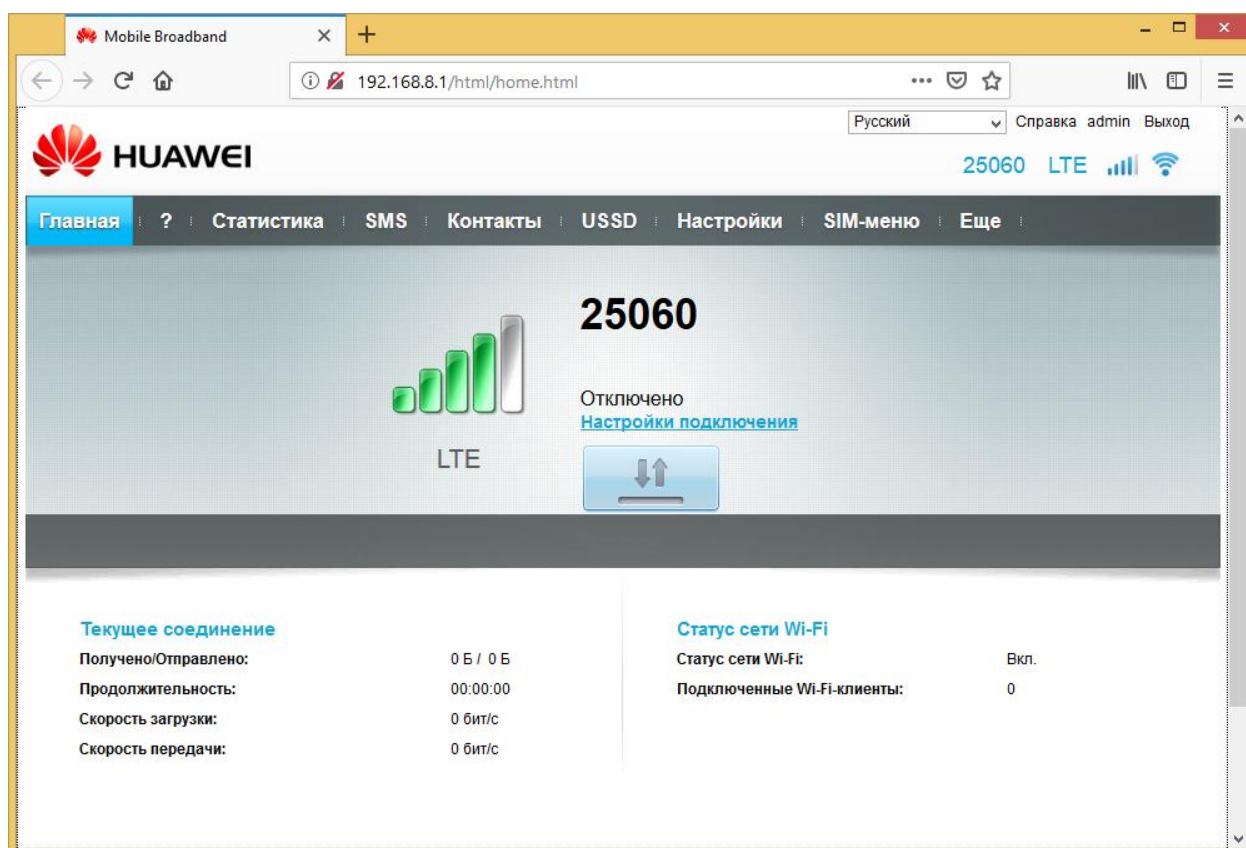


Рис. 4.2 — Основное окно программы конфигурирования маршрутизатора

Примечание! Если при первичном запуске админ-панель открылась в браузере *Internet Explorer (IE)*, следует скопировать адрес *WEB*-интерфейса и открыть его в браузере *Google Chrome* или *Firefox*, поскольку некоторые элементы интерфейса в браузере *IE* могут не функционировать.

4) Используя меню админ-панели маршрутизатора, проверить установку режима работы в сетях 4G. Для этого в меню выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только *LTE*». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима. Занести в электронный протокол лабораторной работы (таблица по форме табл. 4.1) цвет свечения индикатора режима работы мобильной сети (второй слева на передней панели маршрутизатора).

Таблица 4.1 — Результаты исследования мобильной сети

Режим работы мобильной сети	Цвет свечения индикатора режима работы	Внешние антенны			Внутренние антенны
		<i>RSSI</i> , дБ	<i>LAC</i> , десятичное значение (dec)	<i>Cell ID</i> десятичное значение (dec)	<i>RSSI</i> , дБ
Подключение к маршрутизатору по <i>Ethernet</i>					
4G					
3G					
2G					
Подключение к маршрутизатору по <i>Wi-Fi</i>					
4G					
3G					
2G					

5) Проверить включение устройства в режим работы с внешними антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» должен быть установлен режим «Внешние антенны 1 и 2», как показано на рис. 4.3. При необходимости выполните установку режима работы с внешними антеннами.

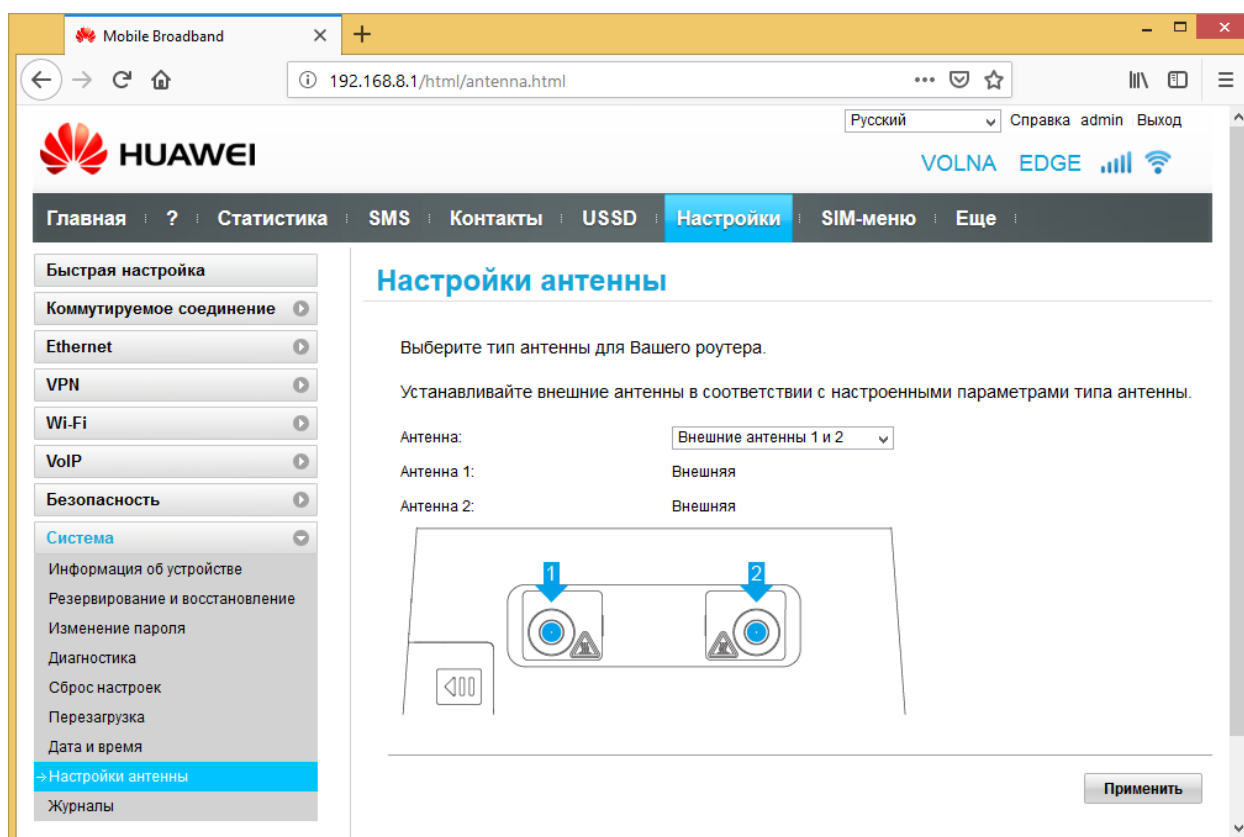


Рис. 4.3 — Вид окна «Настройки антенны»

6) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Bandwidth (DL/UL)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI* и идентификаторы базовой станции *LAC* (*Location Area Code* — код локальной зоны) и *Cell ID* (*CID*, *CI* — идентификатор соты). Результаты работы занести в таблицу по форме табл. 4.1.

Примечание. Для сохранения в буфер обмена копии активного окна следует использовать нажатие клавиш *<ALT> + <PrintScreen>*.

7) Перейти на главное окно админ-панели (нажать левый пункт меню «Главная») и включить режим передачи данных, нажав для этого знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна. При этом знак изменит цвет с серого на зеленый, а надпись «Отключено», расположенная выше знака, измениться на «Подключено».

8) Определить среднее время отклика для сайта оператора. Для этого нажать «Пуск» — «Выполнить», и в поле ввода команды набрать *CMD*, завершив ввод нажатием кнопки «ОК». Для выполнения тестирования набрать команду

ping volnamobile.ru

Определить путевые узлы в случае подключения к *Internet* через сеть мобильного оператора, набрав команду

tracert volnamobile.ru

Сохранить результаты исследований в электронном протоколе лабораторной работы.

Примечание. Для сохранения результатов тестирования в текстовом виде следует расположить курсор манипулятора «мышь» в произвольном месте окна командной консоли, нажать правую кнопку и выбрать пункт меню «Пометить».

После этого выделить необходимую для копирования область окна с помощью левой кнопки манипулятора «мышь» и нажать клавишу *Enter*. После выполнения указанных действий информация с выделенной части окна сохранится в буфере обмена операционной системы.

9) Произвести тестирование канала связи на протоколе 4G. Выполнить тестирование, используя тесты по адресам, указанным в табл. 4.2. Исследование проводится для указанного адреса. Если указанный по варианту адрес не функционирует следует использовать резервный адрес.

После окончания процесса тестирования следует полученные значения входящей и исходящей скоростей передачи данных и времени задержки внести

в электронный протокол лабораторной работы. Результаты занести в электронный протокол в таблицу по форме табл. 4.3.

Таблица 4.2 — Варианты сайтов тестирования скорости доступа

Последняя цифра номера зачетной книжки студента	Интернет адрес ресурса для тестирования скорости доступа канала связи	
	Основной адрес	Резервный адрес
0	https://yandex.ru/internet/	http://speedtest.samtel.ru/
1	https://speedtest.su	
2	http://www.speedtest.pl/mini	
3	https://speedtest24.ru/	https://internet-speed-test.online/ru/
4	http://speedtest.net.ru/run-speedtest.html	
5	http://мгтс-инфо.пф/internet/speedtest.html	
6	http://2ip.ru/speed/	
7	http://speedtest.pr-cy.ru	http://www.banki.ru/telecom/speedtest
8	http://4ip.su	
9	http://testskorosti.ru	

Таблица 4.3 — Результаты тестирования мобильной сети

Режим работы мобильной сети	Адрес тестируемого ресурса, табл. 4.4	Скорость передачи данных, Мбит/с		Среднее время задержки передачи, мс	
		Download (DL), от провайдера	Upload (UL), к провайдеру	Результат сайта, табл. 4.2	<i>ping</i>
4G					
3G					
2G		не тестируется			

10) Определить среднее время отклика для сайта, по варианту, заданному в табл. 4.4. Для этого нажать «Пуск» — «Выполнить», и в поле ввода команды набрать *CMD*, завершив ввод нажатием кнопки «ОК». Для выполнения тестирования в окне командной консоли набрать команду *ping* для заданного по варианту ресурса (например, в виде: *ping ya.ru*). Результаты проверки сохранить в электронный протокол лабораторной работы, в таблице по форме табл. 4.3.

Таблица 4.4 — Исходные данные для тестирования доступа к ресурсу

Последняя цифра номера зачетной книжки	Сайт 1	Сайт 2 (резервный адрес)
1	list.ru	chipnews.gaw.ru
2	sevsu-fizika.ru	sevastopol.info
3	rt-sevastopol.ru	dd-wrt.com
4	rambler.ru	dlink.com
5	yandex.ru	telesputnik.ru
6	gooogle.com	gismeteo.ru
7	pressa.ru	elt-sevsu.ru
8	radio.ru	isev.su
9	slavasev.ru	cfuv.ru
0	sevstar.net	lunacharskiy.com

11) Определить путевые узлы в случае подключения к *Internet* через сеть мобильного оператора, набрав команду *tracert* для заданного в табл. 4.4 узла. Результат сохранить в электронный протокол лабораторной работы.

12) Произвести переключение устройства в режим работы со встроенными антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» установить режим «Встроенная». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима.

13) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в режиме работы со встроенными антеннами в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Bandwidth (DL/UL)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI*. Полученные результаты следует внести в таблицу по форме табл. 4.1.

14) Отключить режим передачи данных нажав знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна админ-панели.

4.1.2. Порядок подключения и тестирования канала связи 3G

1) Использую меню админ-панели маршрутизатора, установить режим работы в сетях 3G. Для этого в меню админ-панели следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только UMTS». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима. Зафиксировать в электронный протокол лабораторной работы (табл. 4.1) цвет свечения индикатора режима работы мобильной сети (второй слева на передней панели маршрутизатора).

2) Произвести переключение устройства в режим работы с внешними антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» установить режим «Внешние антенны 1 и 2». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима, как показано на рис. 4.3.

3) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Cell ID (hex/dec)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI* и идентификаторы базовой станции *LAC* и *Cell ID*. Полученные результаты внести в таблицу по форме табл. 4.1.

4) Перейти на главное окно админ-панели маршрутизатора и включить режим передачи данных, нажав для этого знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна. При этом знак изменит цвет с серого на зеленый, а надпись «Отключено», расположенная выше знака, измениться на «Подключено».

5) Произвести тестирование канала связи на протоколе 3G. Выполнить тестирование, используя тесты по адресам, указанным в табл. 4.2.

После окончания процесса тестирования внести полученные значения входящей и исходящей скоростей передачи данных и времени задержки в электронный протокол лабораторной работы (в таблицу по форме табл. 4.3).

6) Определить среднее время отклика для сайта, заданного в табл. 4.4. Для этого нажать «Пуск» — «Выполнить», и в поле ввода команды набрать *CMD*, завершив ввод нажатием кнопки «ОК». Для выполнения тестирования набрать команду *ping* для заданного по варианту ресурса.

7) Определить путевые узлы в случае подключения к *Internet* через сеть мобильного оператора, набрав команду *tracert* для заданного в табл. 4.4 узла. Результат сохранить в электронный протокол лабораторной работы.

8) Произвести переключение устройства в режим работы со встроенными антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» установить режим «Встроенная». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима.

9) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в режиме работы со встроенными антеннами в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Cell ID». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI*. Результаты работы внести в таблицу по форме табл. 4.1.

10) Отключить режим передачи данных нажав знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна админ-панели.

4.1.3. Порядок подключения и тестирования канала связи 2G

1) Используя меню админ-панели маршрутизатора, провести установку режима работы в сетях 2G. Для этого в меню админ-панели следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только GSM». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима. Зафиксировать в электронном протоколе лабораторной работы (табл. 4.1) цвет свечения индикатора режима работы мобильной сети (второй слева на передней панели маршрутизатора).

2) Произвести переключение устройства в режим работы с внешними антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» установить режим «Внешние антенны 1 и 2». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима, как показано на рис. 4.3.

3) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Cell ID (hex/dec)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI* и идентификаторы базовой станции *LAC* и *Cell ID*. Полученные результаты занести в таблицу по форме табл. 4.1.

4) Перейти на главное окно админ-панели маршрутизатора и включить режим передачи данных, нажав для этого знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна. При этом знак изменит цвет с серого на зеленый, а надпись «Отключено», расположенная выше знака, измениться на «Подключено».

5) Определить среднее время отклика для сайта, заданного в табл. 4.4. Для этого нажать «Пуск» — «Выполнить», и в поле ввода команды набрать *CMD*, завершив ввод нажатием кнопки «ОК». Для выполнения тестирования набрать команду *ping* для заданного по варианту ресурса.

6) Определить путевые узлы в случае подключения к *Internet* через сеть мобильного оператора, набрав команду *tracert* для заданного в табл. 4.4 узла. Результат сохранить в электронном протоколе лабораторной работы.

7) Произвести переключение устройства в режим работы со встроенными антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» установить режим «Встроенная». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима.

8) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в режиме работы со встроенными антеннами в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Cell ID». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI*. Результаты работы внести в таблицу по форме табл. 4.1.

9) Отключить режим передачи данных нажав знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна админ-панели.

4.2. Исследование возможности использования канала мобильной связи для организации IP-телефонии

1) Используя меню админ-панели маршрутизатора провести установку режима работы в сетях 3G, для этого в меню админ-панели следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «*LTE* -> *UMTS*». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима.

2) Произвести переключение устройства в режим работы с внешними антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны»

установить режим «Внешние антенны 1 и 2». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима, как показано на рис. 4.3.

3) Произвести настройку параметров *Voice over IP (VoIP)* соединения. Для этого в пункте главного меню админ-панели «Настройки» выберите пункт «SIP-сервер» и укажите:

- адрес прокси-сервера: sip.zadarma.com
- порт прокси-сервера: 5060
- адрес сервера регистрации: sip.zadarma.com
- порт сервера регистрации: 5060
- доменное имя SIP-сервера: sip.zadarma.com

Вид окна настройки SIP-сервера показан на рис. 4.4.

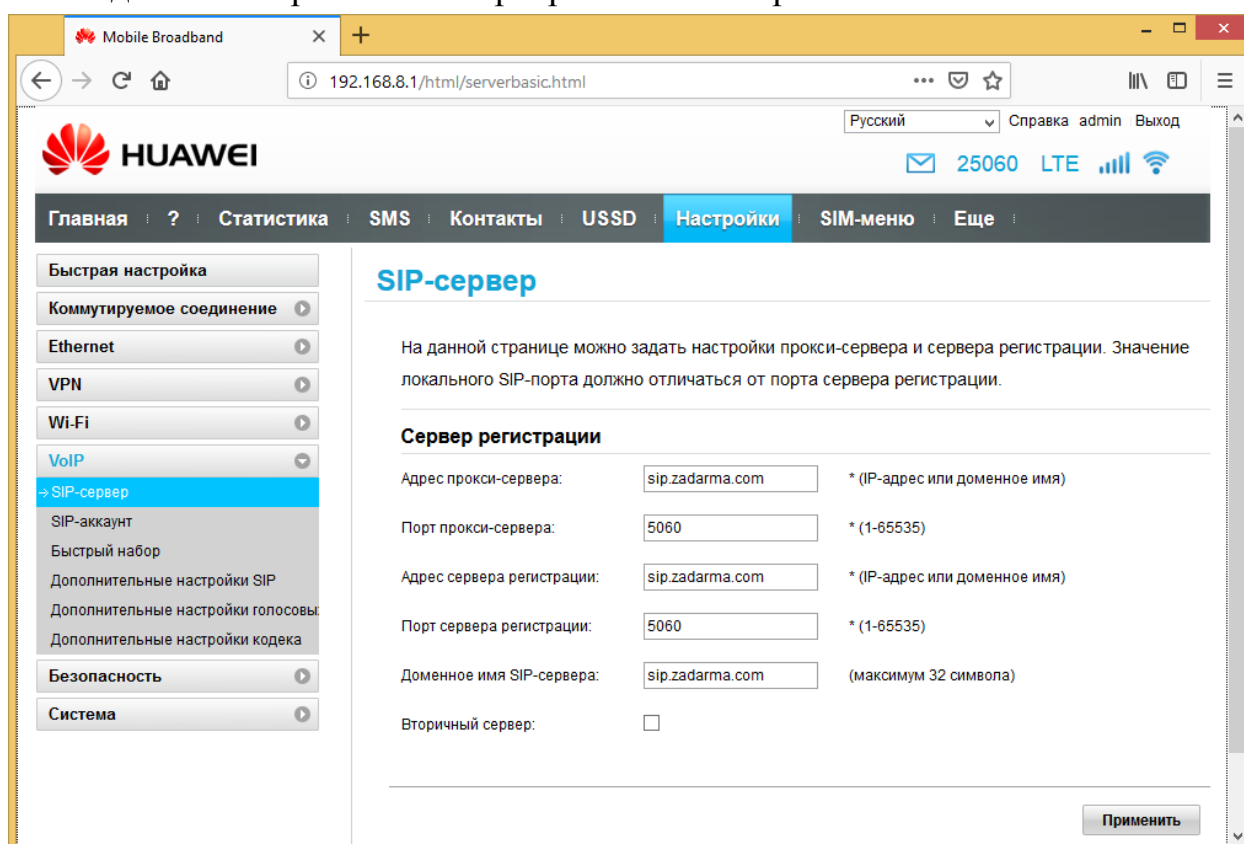


Рис. 4.4 — Вид окна настройки SIP-сервера

4) Выполнить настройку параметров SIP-аккаунта (пункт в меню *VoIP*). Для этого следует нажать кнопку «Добавить» и указать следующие значения:

- SIP-аккаунт: 384744
- имя пользователя: 384744
- пароль: 9cKe8D1uzg

5) Проверить установки и при необходимости изменить дополнительные настройки голосовых служб (пункт меню «Дополнительные настройки голосовых служб» в меню *VoIP*), как показано на рис. 4.5.

6) Проверить установки и при необходимости изменить дополнительные настройки кодека (пункт меню «Дополнительные настройки кодека» в меню VoIP), как показано на рис. 4.6.

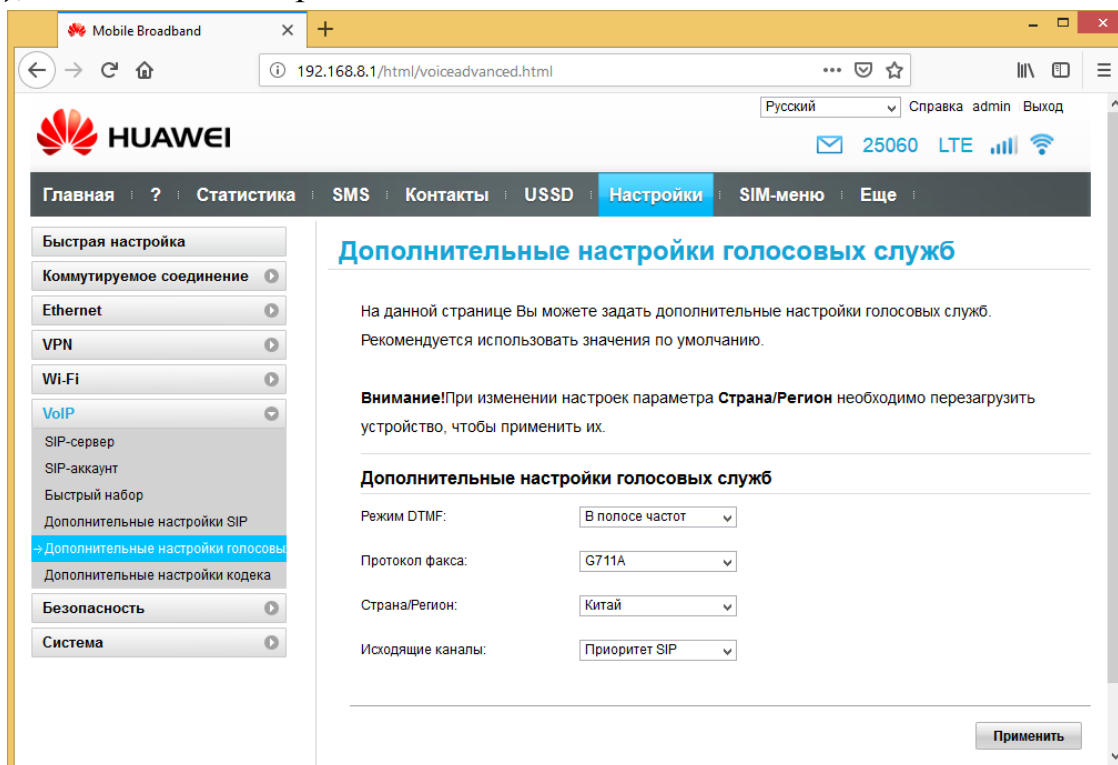


Рис. 4.5 — Вид окна «Дополнительные настройки голосовых служб»

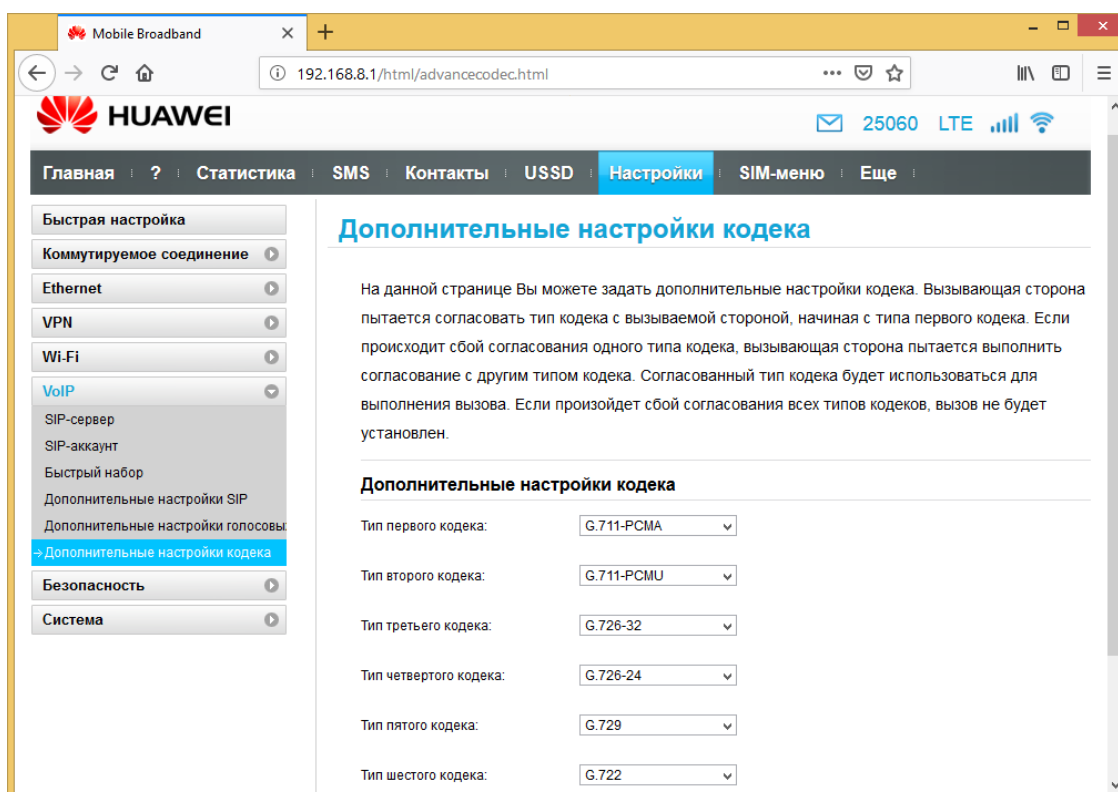


Рис. 4.6 — Вид окна «Дополнительные настройки кодека»

7) Перейти на главное окно админ-панели (нажать левый пункт меню «Главная») и включить режим передачи данных, нажав для этого знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна. При этом знак изменит цвет

с серого на зеленый и надпись «Отключено», расположенная выше знака, измениться на «Подключено».

8) Проверить статус регистрации аккаунта на SIP-сервере, для этого открыть пункт меню: «Настройки» / «VoIP» / «SIP-аккаунт». Статус регистрации должен иметь состояние «Зарегистрировано». Сделать копию окна «SIP-аккаунт» и сохранить его в электронном протоколе лабораторной работы.

9) Проверить наличие непрерывного гудка в трубке стационарного телефонного аппарата. Выполнить проверку соединения, для этого произвести соединение с облачной АТС в режиме эхо-теста. Вызов эхо-теста производится набором номера 4444. Результат тестирования указать в электронном протоколе по выполнению лабораторной работы. При этом отметить качество соединения и наличие задержки с указанием ее примерной продолжительности.

10) Используя мобильный телефон с ОС *Android* (смартфон) из комплекта оборудования лабораторной работы, произвести подключение к одной из доступных *Wi-Fi* точек доступа лаборатории: «Telecom», «B401_DIR300NRU», «B401LAB». Пароль при необходимости следует уточнить у преподавателя.

11) Используя установленную и настроенную на смартфоне программу VoIP телефонии «Задарма SIP», выполнить звонки в пределах облачной АТС. Номер настроенного на смартфоне аккаунта — 844660. Результат проверки указать в таблице по форме табл. 4.5 в виде числовой оценки качества передачи в каждом из направлений в диапазоне от 0 до 9.

Таблица 4.5 — Форма представления результатов экспериментов

Телефон с которого производился звонок	Телефон на который производился звонок			
	Стационарный, номер 384744		Смартфон, номер 844660	
Направление оценки передачи телефонного сообщения	стац. → смарт	смарт → стац.	стац. → смарт	смарт → стац.
Стационарный, номер 384744	X	X		
Смартфон, номер 844660			X	X

12) Отключить режим передачи данных нажав знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна админ-панели маршрутизатора.

13) По окончании выполнения исследований выключить мобильный телефон.

4.3. Исследование возможностей маршрутизатора при использовании беспроводного доступа *Wi-Fi*

1) Выполнить настройку беспроводной сети маршрутизатора. Для этого открыть окно «Настройки» / «Основные настройки *Wi-Fi*» произвести включение *Wi-Fi* сети и выполнить ее настройку. В качестве *Service Set Identifier (SSID)* использовать фамилию студента, ключ *WPA-PSK* (пароль) выбрать самостоятельно. По окончании изменения параметров доступа к беспроводной сети следует нажать кнопку «Применить», расположенную в нижней правой части окна.

2) Отключить питание маршрутизатора, для чего необходимо отключить адаптер питания из сетевой розетки и отсоединить разъем соединительного кабеля *RJ45* от маршрутизатора.

3) По согласованию с преподавателем расположить маршрутизатор максимально близко к окну учебной лаборатории и произвести его подключение к сети питания.

4) После загрузки маршрутизатора выполнить подключение ПК к *Wi-Fi* сети маршрутизатора.

5) Убедиться, что устройство включено для работы в режиме с внешними антеннами. Для этого в меню «Настройки» / «Система» / «Настройки антенны» должен быть установлен режим «Внешние антенны 1 и 2», как показано на рис. 4.3. При необходимости выполните установку режима работы с внешними антеннами.

6) Используя меню админ-панели маршрутизатора, проверить установку режима работы в сетях 4G, для этого в меню выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только *LTE*». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима. Зафиксировать в электронный протокол лабораторной работы (таблица по форме табл. 4.1) цвет свечения индикатора режима работы мобильной сети (второй слева на передней панели маршрутизатора).

7) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Bandwidth (DL/UL)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI* и идентификаторы базовой станции *LAC* и *Cell ID*. Результаты работы внести в таблицу по форме табл. 4.1.

8) Используя меню админ-панели маршрутизатора, провести установку режима работы в сетях 3G, для этого в меню админ-панели следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только *UMTS*». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима. Зафиксировать в электронный протокол лабораторной работы (табл. 4.1) цвет свечения индикатора режима работы мобильной сети (второй слева на передней панели маршрутизатора).

9) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать

пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Cell ID (hex/dec)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI* и идентификаторы базовой станции *LAC* и *Cell ID*. Результаты работы внести в таблицу по форме табл. 4.1.

10) Используя меню админ-панели маршрутизатора, провести установку режима работы в сетях 2G, для этого в меню админ-панели следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только GSM». Нажать кнопку «Применить» для установки выбранного режима. Зафиксировать в электронном протоколе лабораторной работы (табл. 4.1) цвет свечения индикатора режима работы мобильной сети (второй слева на передней панели маршрутизатора).

11) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню админ-панели выбрать пункт «?» и сохранить параметры вывода окна «Информация об устройстве», включая параметры от «Имя устройства» до «Cell ID (hex/dec)». Обратить внимание на уровень мощности принимаемого сигнала *RSSI* и идентификаторы базовой станции *LAC* и *Cell ID*. Результаты работы внести в таблицу по форме табл. 4.1.

12) Выполнить подготовку оборудования для выполнения работы другими студентами, для этого произвести настройку маршрутизатора:

— в окне «Настройки» / «Основные настройки Wi-Fi» установить *SSID* — «RT4», и ключ *WPA-PSK* (пароль) — «12345678»;

— в окне «Настройки» / «Основные настройки Wi-Fi» выполнить отключение *Wi-Fi* сети, для этого установить программный переключатель «Wi-Fi» в положение «Выключить»;

— в меню админ-панели «Настройки» / «VoIP» / «SIP-сервер» укажите адрес прокси-сервера, адрес сервера регистрации и доменное имя SIP-сервера — sip.ru;

— в окне «Настройки» / «VoIP» / «SIP-аккаунт» выполните удаление созданного в ходе выполнения работы SIP-аккаунта.

Об успешном выполнении п.п. 12 сообщить преподавателю, проводящему лабораторные занятия.

4.4. Исследование состава базовых станций мобильной сети

1) С учетом выполнения п.п. 4.1.1 — 4.1.3, 4.3, а также результатов в виде таблиц по форме табл. 4.1, заполнить столбцы *LAC* и *Cell ID* таблицы по форме табл. 4.6.

Таблица 4.6 — Результаты исследования мобильной сети

Режим работы мобильной сети	LAC, десятичное значение (dec)	Cell ID десятичное значение (dec)	Координаты	Адрес расположения базовой станции	Расстояние до базовой станции, м
Подключение к маршрутизатору по <i>Ethernet</i>					
4G					
3G					
2G					
Подключение к маршрутизатору по <i>Wi-Fi</i>					
4G					
3G					
2G					

2) Используя данные ресурса <https://xinit.ru/bs/> и результаты эксперимента в табл. 4.6, определить географические координаты базовых станций (БС). Для этого в основном меню сайта (см. рис. 4.6) ввести необходимые параметры поочередно для каждой БС и определить местоположение нажав кнопку «Получить местонахождение». При этом следует учесть, что необходимо использовать значения параметров:

— *Mobile Country Code (MCC)* — код страны, в которой находится базовая станция (БС). Для России он равен 250;

— *Mobile Network Code (MNC)* — код сотовой сети. Для оператора Волна (*Volna mobile*) он равен 60.

Пример работы ресурса показан на рис. 4.6.

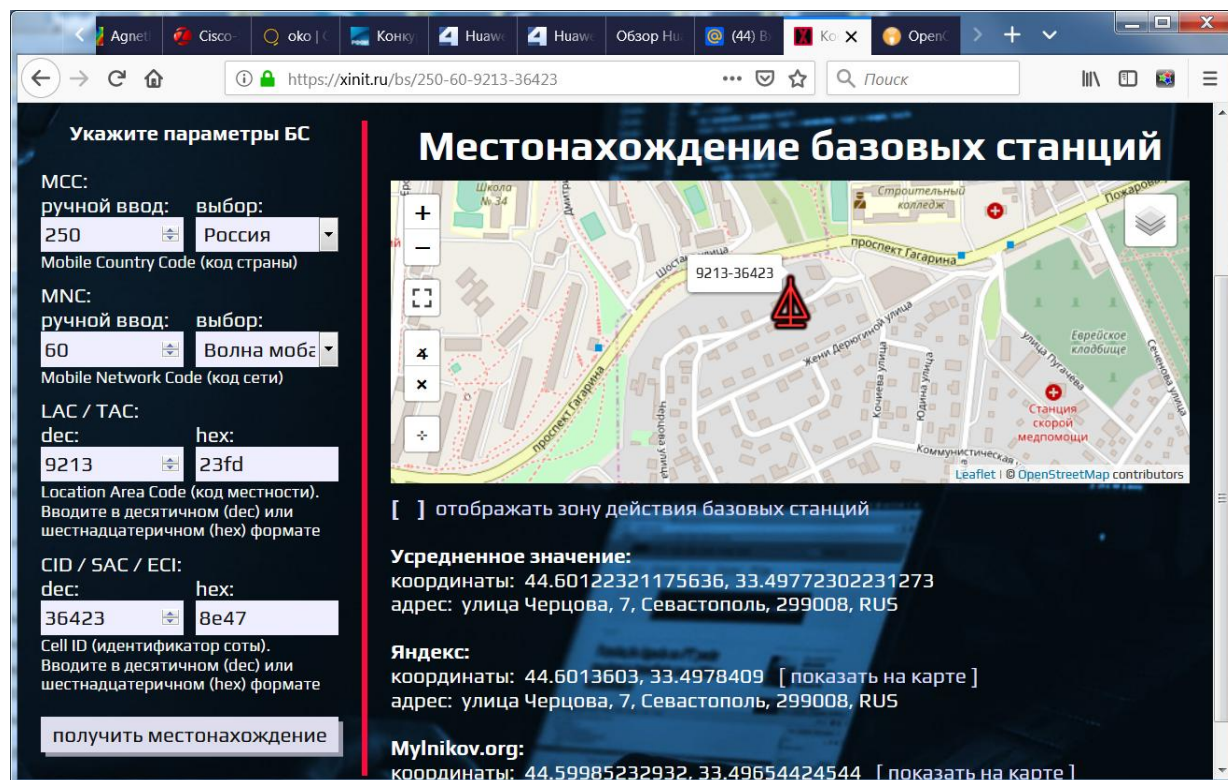


Рис. 4.6 — Основное окно сайта xinit.ru

3) Копию экрана с результатами исследований (карта расположения всех БС, координаты которых определены при выполнении лабораторной работы) сохранить в электронном протоколе лабораторной работы, координаты и адрес расположения БС занести в таблицу по форме табл. 4.6.

4) Используя инструменты ресурса <https://xinit.ru/bs/>, выполнить определения расстояния от учебной лаборатории до каждой из БС. Для этого использовать инструмент сайта , расположенный в левой части графического окна. Результат определения расстояний внести в табл. 4.6.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1) Цель лабораторной работы, в которой указано какое оборудование, каких стандартов и какие характеристики оборудования исследуются в лабораторной работе.

2) Структурная схема лабораторной установки.

3) Результаты исследований — в графическом виде частотный план на одной частотной оси всех исследуемых вариантов мобильной связи, полученный на основании обработки результатов окна «Информация об устройстве» пункта меню «?» админ-панели в различных режимах работы маршрутизатора.

4) Результаты исследования для сайта мобильного оператора (команды *ping* и *tracert*).

5) Результаты исследований системы мобильной связи в режиме 4G в соответствии с п.п. 4.1.1.

6) Результаты исследований системы мобильной связи в режиме 3G в соответствии с п.п. 4.1.2.

7) Результаты исследований системы мобильной связи в режиме 2G в соответствии с п.п. 4.1.3.

8) Результаты определения энергетики канала связи и информационных характеристик мобильной сети в виде таблиц по форме табл. 4.1 и табл. 4.3. В том числе сравнение результатов, полученных при выполнении исследований по п.п. 4.1.1 — 4.1.3 и 4.3.

9) Выводы об эффективности использования внешних и внутренних антенн маршрутизатора, сделанные на основании рассмотрения результатов табл. 4.1.

10) Результаты исследований системы IP-телефонии в соответствии с п.п. 4.2, в том числе таблица результатов по форме табл. 4.5.

11) Результаты исследований состава БС мобильной связи в соответствии с п.п. 4.4, в том числе таблица результатов по форме табл. 4.6 и карта расположения БС.

12) Выводы, в которых описаны и проанализированы результаты исследований и выполнено сравнение характеристик с потенциально возможными характеристиками сетей стандартов 2G, 3G и 4G.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

- 1) Охарактеризуйте порядок действий при исследовании свойств мобильной сети с точки зрения пропускной способности.
- 2) Охарактеризуйте последовательность действий в случае неудачного подключения по локальной сети к маршрутизатору.
- 3) Охарактеризуйте функциональное назначение отдельных элементов маршрутизатора *HUAWEI B315s-22*.
- 4) Поясните порядок действий при исследовании свойств мобильной сети 3G и 4G с точки зрения временных характеристик.
- 5) Перечислите действия при исследовании свойств мобильной сети 2G с точки зрения временных характеристик.
- 6) Поясните порядок действий при исследовании свойств мобильной сети с точки зрения состава БС сети оператора.
- 7) Приведите сравнительную характеристику основных вариантов разделения каналов при использовании множественного доступа.
- 8) Приведите сравнительную характеристику квадратурной амплитудной и квадратурной фазовой манипуляций.
- 9) Приведите сравнительную характеристику вариантов фазовой манипуляции *QPSK* и *8PSK*.
- 10) Охарактеризуйте общие особенности мобильной связи третьего поколения.
- 11) Охарактеризуйте общие особенности мобильной связи четвертого поколения.
- 12) Охарактеризуйте общие особенности использования облачной АТС.
- 13) Охарактеризуйте основные задачи, выполняемые в ходе выполнения лабораторной работы при исследовании *SIP*-телефонии облачной АТС.

6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы

- 1) Используя технические характеристики маршрутизатора объясните, почему нецелесообразно использовать число позиций сигнала более восьми при многопозиционной фазовой манипуляции?
- 2) Охарактеризуйте метод разделения каналов при использовании множественного доступа с разделением каналов по времени. Укажите преимущества и недостатки метода.
- 3) Охарактеризуйте метод разделения каналов при использовании множественного доступа с кодовым разделением каналов. Кратко охарактеризуйте два основных подхода к реализации метода множественного доступа с кодовым разделением каналов.
- 4) Охарактеризуйте технические возможности систем мобильной связи стандарта 3G и 4G в плане получения доступа к сети Интернет.
- 5) Охарактеризуйте назначение и работу канала динамического управления скоростью передачи данных *DRC*.

- 6) Сформулируйте основные тенденции развития систем мобильной связи.
- 7) Охарактеризуйте технические возможности систем мобильной связи стандартов *UMTS* и *HSDPA*.
- 8) Охарактеризуйте общие особенности мобильной связи четвертого поколения.
- 9) Охарактеризуйте общие особенности реализации многоантенных технологий *MIMO*.
- 10) Поясните общие принципы организации и работы *IP*-телефонии.
- 11) Проанализируйте результаты определения расположения БС мобильной сети.
- 12) Охарактеризуйте физический смысл отношения E_c/I_o и диапазон его изменения для всех практических результатов, полученных в ходе выполнения лабораторной работы для 3G сети.
- 13) Охарактеризуйте физический смысл параметра $SINR$ и диапазон его изменения для всех практических результатов, полученных в ходе выполнения лабораторной работы для 4G сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ипатов, В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложение / В.П. Ипатов. — М.: Техносфера, 2007. — 488 с.
2. Шубин, В.И. Беспроводные сети передачи данных / В.И. Шубин, О.С. Красильникова. — М.: Вузовская книга, 2013. — 102 с.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1104 с.
4. Тамаси, У. Электронные системы связи / У. Тамаси. — М.: Техносфера, 2007. — 1360 с.
5. Столлингс, В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столлингс. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. — 928 с.
6. 3G - CDMA2000 1xEV-DO Technologies / CDMA Development Group. — Режим доступа: http://www.cdg.org/technology/3g_1xEV-DO.asp (дата обращения: 25.02.2019).
7. Сравнительный анализ технологий мобильной связи / ЕвроМобайл. — Режим доступа: <https://www.euromobile.ru/novosti/sravnitelnyj-analiz-tehnologij-mobilnoj-svyazi/> (дата обращения: 17.02.2019).
8. MIMO - многоантенные технологии в LTE / 2018 Портал о современных технологиях беспроводной связи. — Режим доступа: <http://1234g.ru/4g/lte/fizicheskij-uroven-standarta-lte/mnogoantennnye-tekhnologii-mimo-v-lte> (дата обращения: 17.02.2019).
9. Основы и принципы IP телефонии / ООО «Вокс Линк». — Режим доступа: <https://voxlink.ru/knowledge-base/curriculum/osnovy-i-printsipy-ip-telefonii/> (дата обращения: 10.03.2019).
10. Обзор Huawei B315s-22 — стационарный роутер с поддержкой 4G / Dmitry Koval. — Режим доступа: <https://root-nation.com/other/net/ru-huawei-b315s-22-review/> (дата обращения: 02.03.2019).

Издается в авторской редакции

Изд. № 237/19. Объем 2,5 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»