

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кафедра «Инновационные телекоммуникационные технологии»

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы
«Исследование системы передачи данных в мобильной сети»»
для студентов направлений
11.03.01 – Радиотехника,
11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
и специальности
11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы

Севастополь
СевГУ
2024

УДК 621.39:004.3(076.5)
ББК 32.88:32.971.35я73
Т311

Р е ц е н з е н т :
С. Р. Зиборов - канд. техн. наук, доцент

Ответственный за выпуск:
А. А. Савочкин - канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Инновационные телекоммуникационные технологии»

Составители: А. А. Савочкин, В. О. Тихвинский

Т311 Телекоммуникационные системы : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы «Исследование системы передачи данных в мобильной сети» для студентов направлений 11.03.01 – Радиотехника, 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи и специальности 11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы / Севастопольский государственный университет ; сост.: А. А. Савочкин, В. О. Тихвинский. – Севастополь : СевГУ, 2024. – 37 с. – Текст : электронный.

Цель учебно-методического пособия – оказание помощи студентам в подготовке и выполнении лабораторной работы по дисциплине «Исследование системы передачи данных в мобильной сети», 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 621.39:004.3(076.5)
ББК 32.88:32.971.35я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Инновационные телекоммуникационные технологии», протокол № 11 от 03 апреля 2024 г.

© Савочкин А. А., Тихвинский В. О., сост., 2024
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2024

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	11
2.4. Многоантенные технологии сетей 4G	14
3. Описание лабораторной установки	16
3.1. Общая характеристика оборудования	16
3.2. Технические характеристики модема <i>Sierra Wireless AirCard 875</i>	16
3.3. Технические характеристики маршрутизатора <i>Huawei E3372h</i>	17
3.4. Характеристика режима AT-команд модема <i>Huawei E3372h</i>	19
4. Порядок выполнения лабораторной работы	23
4.1. Исследование свойств канала связи при использовании стандарта 3G (1 вариант модема).....	23
4.1.1. Порядок подключения к каналу связи	23
4.1.2. Порядок тестирования системы стандарта 3G	24
4.2. Исследование свойств канала связи при использовании стандартов 3G / 4G (2 вариант модема).....	26
4.2.1. Порядок подключения и тестирования канала связи 4G	26
4.2.2. Порядок подключения и тестирования канала связи 3G	28
4.2.3. Исследование состава базовых станций мобильной сети 3G....	28
4.3. Определение расположения базовых станций.....	31
5. Содержание отчета по лабораторной работе.....	33
6. Контрольные вопросы.....	34
6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы.....	34
6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы	34
Библиографический список.....	36
Приложение А. Образец титульного листа	37

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 на время обслуживания вызова предоставление абоненту либо группе абонентов полосы частот около одной из несущих частот. Соответственно, для установления связи разными абонентами в пределах зоны обслуживания предоставляются разные несущие частоты, полосы частот около которых не перекрываются. Пока вызов не обслужен, канал, работающий на частоте, предоставленной абоненту, не может быть использован другими абонентами. Для полнодуплексного (*Full-Duplex*) обмена при *FDMA* необходимо два канала с разными частотами — 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 отсчеты сообщения нескольких абонентов в течение времени, называемого кадром (*frame*). Затем следует новый кадр той же длительности, но содержащий новые отсчеты сообщений абонентов. Кадр разбит на временные интервалы. Каждому абоненту периодически предоставляется в кадре доступ к каналу в строго определенный интервал времени. В результате отсчеты сообщения абонента передаются с частотой следования кадров.

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 этого сигнала [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 одновременного использования одной и той же полосы частот множеством абонентов.

CDMA является практическим применением 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].

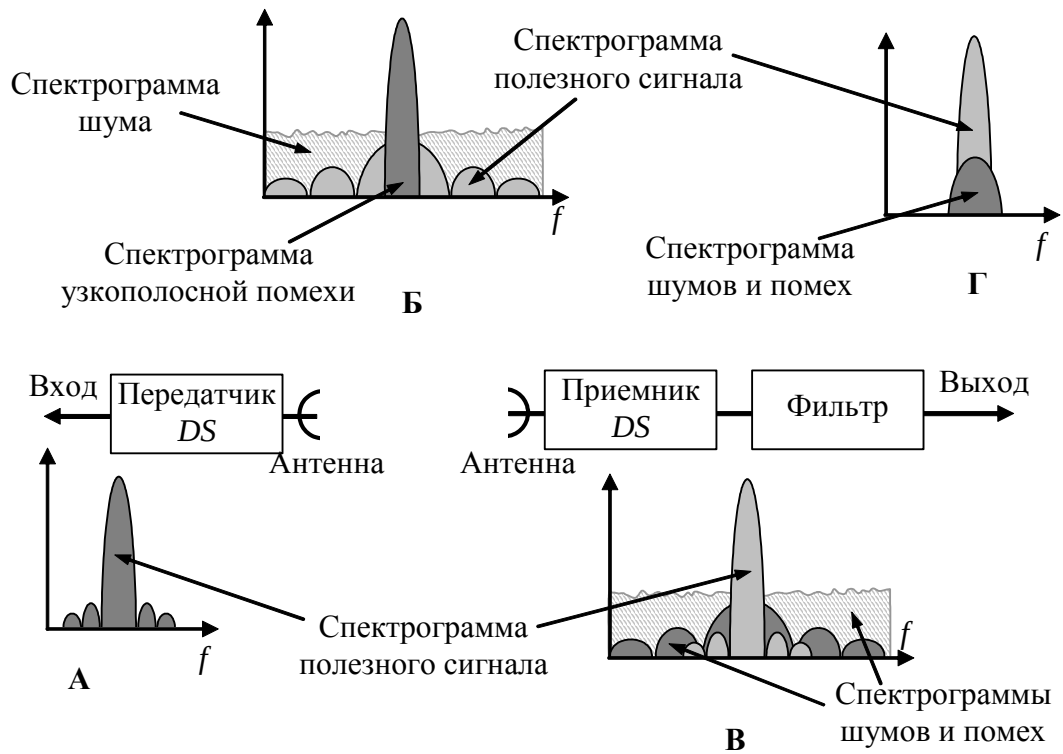
При использовании прямой последовательности в передатчике узкополосный информационный сигнал (спектрограмма А на рис. 2.1) умножается на опорную псевдошумовую N -символьную последовательность, а полученный сигнал модулируется методом двоичной или квадратурной фазовой манипуляции (*BPSK* или *QPSK*).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

При этом использование шумоподобных сигналов с высокой тактовой частотой приводит к тому, что исходный узкополосный сигнал преобразуется в широкополосный (спектрограмма Б на рис. 2.1), спектральная плотность которого 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 преобразуется в широкополосную, но после фильтрации эта помеха 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 спектрограмм сигнала методом прямой последовательности

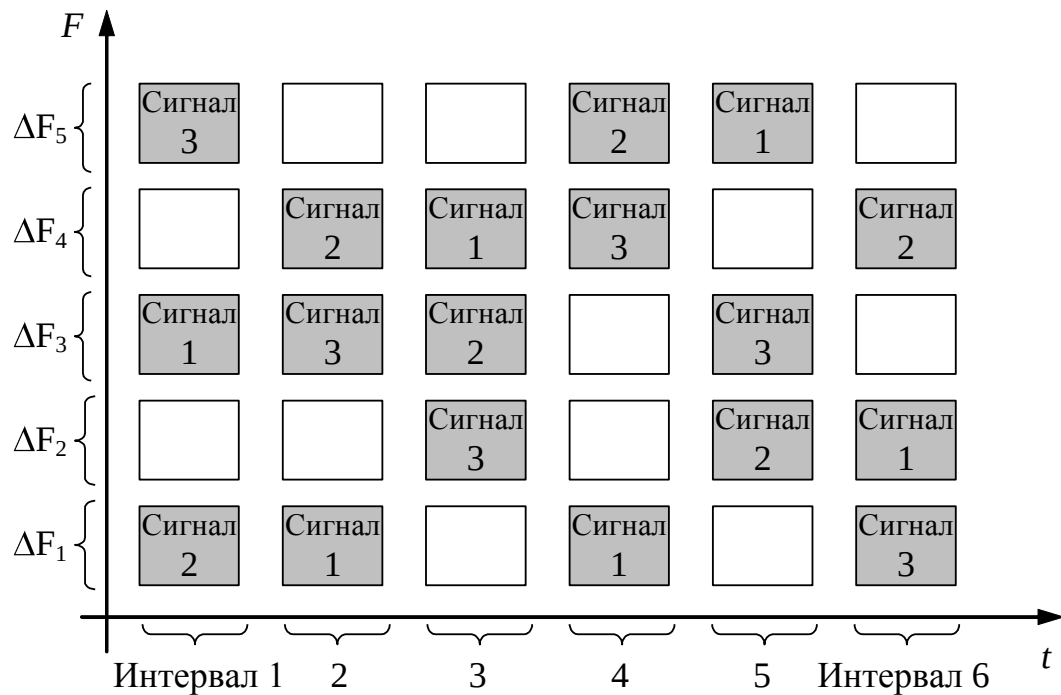


Рис. 2.2 — Схема уплотнения сигналов с кодовым разделением каналов методом скачкообразной перестройки частоты

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 — Характеристика 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

Стандарт *CDMA2000* является развитием стандарта второго поколения *CDMAOne*, дальнейшим развитием которого должен был стать *IS-95c*. Официальным обновлением стандарта, разработанным компанией *Qualcomm* и утвер-

жденным Международным союзом электросвязи — *International Telecommunication Union (ITU)*, является *CDMA2000*.

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.

В навании стандарта *CDMA2000 1X EV-DO Release 0* сокращение *EV-DO* означает *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 варианту 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 (интервалах кадра) длительностью по 1,67 мс, которые группируются в кадры длительностью по 26,67 мс. Каждый кадр содержит два субкадра по восемь тайм-слотов [5, 6, 7].

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.

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 с использованием модуляции 16QAM. Стандарт обеспечивает передачу данных с максимальной скоростью 3,1 Мбит/с по направлению к абоненту и 1,8 Мбит/с по направлению от абонента.

CDMA2000 1X EV-DO Revision B. Следующий этап стандарта *1X EV-DO Rev.* В 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 скорости. 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*). В зависимости от типа передаваемой информации используется адаптивная модуляция, при которой система оценивает размер кодируемого пакета, состояние радиоканала и назначает в соответствии с этим вид модуляции *QPSK*, *8PSK*, *16QAM* или *64QAM*.

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)* — 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. 2.2.

Таблица 2.2 — 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 непринятых пакетов. 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 иногда называют 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 используются 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. 2.3 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 [8].

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*.

Множественный доступ организуется за счет того, что первая часть поднесущих выделяется одному пользователю в кадре, вторая 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*.

Таблица 2.3 — Характеристики сетей 4G LTE в России

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

В табл. 2.4 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 2.4 — Характеристики общих категорий мобильных терминалов

Категория	Downlink			Uplink	
	Максимальное число бит в транспортном блоке и вид модуляции	Максимальное число потоков MIMO	Максимальная скорость передачи, Мбит/с	Максимальное число 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 сети *LTE-A* 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-A* 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 сетей 4G

Применение технологии *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 [7, 9]. 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.

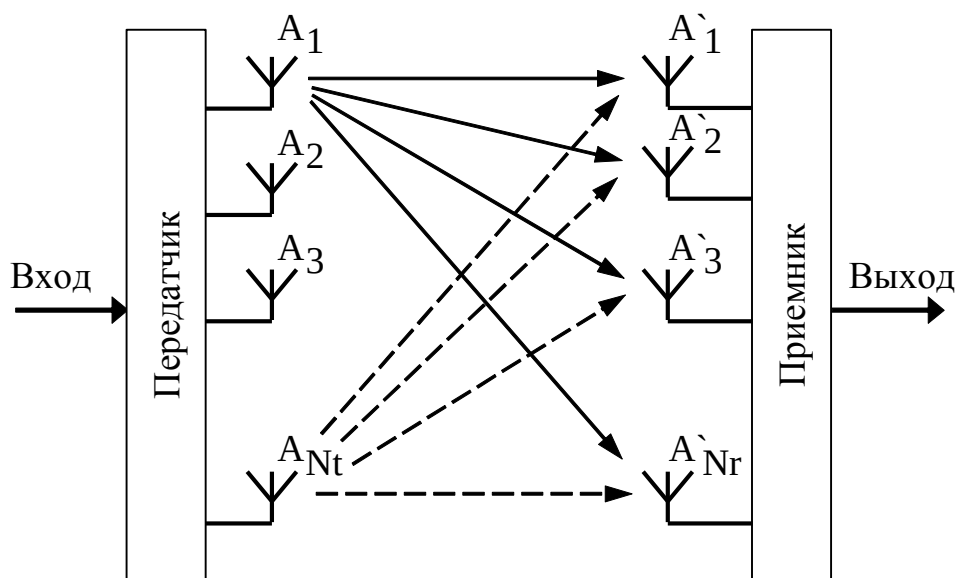


Рис. 2.3 — Схема многоантенной системы

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 *MIMO* 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 *MIMO* 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 *MIMO*-антенн является наличие двух антенных разъёмов.

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).

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

3.1. Общая характеристика оборудования

В состав лабораторной установки входят устройства стандартов 3G и 4G, позволяющие принимать данные со скоростью до 7,2 и 150 Мбит/с соответственно. При выполнении работы исследуются реальные возможности систем мобильной связи 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 по лабораторному практикуму.

Исследование производится с использованием персонального компьютера (ПК). В работе исследуются характеристики различных вариантов подключения к мобильной сети с помощью двух типов модемов.

3.2. Технические характеристики модема *Sierra Wireless AirCard 875*

Первый вариант выполнения исследований предусматривает использование модема типа *Sierra Wireless AirCard 875*, который выполнен в виде PCMCIA карты, внешний вид которой изображен на рис. 3.1.



Рис. 3.1 — Внешний вид модема Sierra Wireless AirCard 875

Модем работает в 2G и 3G сетях, в режимах *GPRS*, *EDGE*, *UMTS* и *HSDPA*, в диапазонах частот 850, 900, 1800, 1900, 2100 МГц. Поддерживает голосовые функции и отправку *SMS*. Имеет вход подключения внешней антенны и телефонной гарнитуры для голосовых вызовов. Модем *AirCard 875* поддерживает три диапазона частот стандарта *HSDPA* (850, 900 и 2100 МГц), что позволяет использовать *AirCard 875* в беспроводных 3G *UMTS* сетях, не только в России, но и в других регионах мира.

Несмотря на то, что модем *AirCard 875* специально спроектирован для 3G

сетей с поддержкой *HSDPA*, он обладает обратной совместимостью с сетями *UMTS*, а также *EDGE* и *GPRS* (*GSM* на частотах 850, 900, 1800 и 1900 МГц). Управление модемом производится программой «3G Watcher».

Относительная нестабильность частоты модема — 10^{-7} , а интерфейс подключения — *PCMCIA* (*PC Card Type II*). Технические характеристики модема приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 — Технические характеристики модема *Sierra Wireless AirCard 875*

Тип модема	Частотный диапазон передачи
<i>GSM850</i>	824...849 МГц
<i>EGSM900</i>	880...915 МГц
<i>DCS1800</i>	1710...17 МГц
<i>PCS</i>	1850...1910 МГц
<i>WCDMA850</i>	824...849 МГц
<i>WCDMA1900</i>	1850...1910 МГц
<i>WCDMA2100</i>	1920...1980 МГц
	Частотный диапазон приема, МГц
<i>GSM850</i>	869...894
<i>EGSM900</i>	925...960
<i>DCS1800</i>	1805...1880
<i>PCS</i>	1930...1990
<i>WCDMA850</i>	869...894
<i>WCDMA1900</i>	1930...1990
<i>WCDMA2100</i>	2110...2170
	Частотное смещение между каналами, МГц
<i>GSM</i>	0,2
<i>WCDMA</i>	5
	Максимальная скорость приема данных, Мб/с,
<i>HSDPA</i>	7,2 (3,6)
<i>UMTS</i>	0,384
<i>EDGE</i>	0,236
<i>GPRS</i>	0,056

3.3. Технические характеристики маршрутизатора *Huawei E3372h*

Второй вариант выполнения исследований предусматривает использование модема *Huawei E3372h*, который выполнен в виде автономного *USB*-устройства. Модем работает в 2G, 3G и 4G сетях, в режимах *GSM / EDGE / FDD / TDD / UMTS / LTE*. Максимальная скорость приёма данных модемом до 150 Мбит/с, скорость передачи данных — до 50 Мбит/с.

Модем имеет два антенных разъема для подключения внешних *MIMO* антенн. При использовании одиночной внешней антенны она подключается к разъему, ближайшему к *USB*. Тип разъема для подключения внешних антенн —

CRC9. Технические характеристики модема приведены в табл. 3.2. Внешний вид модема изображен на рис. 3.2.

Таблица 3.2 — Технические характеристики модема Huawei E3372h

Режим работы	Частотный диапазон, МГц
<i>GSM / GPRS / EDGE</i>	850 / 900 / 1800 / 1900
<i>UMTS / DC-HSPA+ / WCDMA</i>	900 / 2100
<i>LTE</i>	800 / 900 / 1800 / 2100 / 2600
<i>LTE</i> <i>HSUPA</i> <i>UMTS: DCHSPA</i> <i>EDGE</i>	Максимальная скорость приема / передачи данных, Мб/с 150 / 50 7,2 / 5,76 42 / 5,76 0,236
Интерфейс подключения	<i>USB</i>

а)



б)



Рис. 3.2 — Внешний вид модема: а) общий вид, б) вид печатного узла

Модем работает с *SIM*-картами любых российских и европейских операторов связи (*YOTA*, Мегафон, МТС, Билайн, Ростелеком, *Tele2*, Волна, *Win*, Севтелеком и др.).

Модем построен на чипе *Hisilicon hi6930 (Balong v7r2)*, который имеет в своем составе два процессорных ядра *ARM7*. Каждое ядро процессора работает под управлением собственной операционной системы (ОС).

Ядро 0, стартующее при включении модема, работает под управлением

Android 2.3 (ядро *Linux v3.4.5*). Системное окружение является упрощенным вариантом *Android*. Ядро *Linux* полностью соответствует стандартному ядру *Android*, и в него компилированы дополнительные модули, в том числе обработчик *AT*-команд. Кроме начального запуска модема и обработки *AT*-команд, *Linux*-часть модема поддерживает сетевой стек и работу *WEB*-сервера.

Ядро 1 работает под управление ОС реального времени *VxWorks v.6.8*. Ядро осуществляет управление радиомодулем и взаимодействие с сотовой сетью. Запуск *VxWorks* производится с помощью специальной подсистемы, встроенной в ядро *Linux*. Таким образом, в модеме работают одновременно две ОС, которые взаимодействуют друг с другом с помощью интерфейсной подсистемы, передающей специальным образом сформированные пакеты данных из одной ОС в другую.

Важно, что модем *E3372h* позволяет производить поиск окружающих базовых станций (БС) мобильных 2G и 3G сетей. Причем не только БС оператора используемой в модеме симкарты, но и БС всех операторов, сигнал от которых имеет в точке размещения антенны достаточный для приема уровень. Для каждой найденной БС определяется идентификатор соты *CID* и уровень принимаемого от БС сигнала. Реализуется поиск в режиме *AT*-команд.

3.4. Характеристика режима *AT*-команд модема *Huawei E3372h*

Набор команд *Hayes* или *AT*-команды — набор команд, разработанных в 1977 году компанией *Hayes* для модема собственного производства. Набор команд состоит из серий коротких текстовых строк, которые объединяют вместе, чтобы сформировать полные команды операций, таких как начало соединения или изменения параметров подключения.

Для того, чтобы модем распознал *AT*-команды, они должны быть записаны в специальной форме. Каждая команда всегда начинается буквами *AT* или *at* (от английского *attention* — внимание), дополненных одним или несколькими параметрами и завершаемой в конце нажатием клавиши *Enter*. Команды воспринимаются модемом только тогда, когда он находится в «командном режиме».

AT-команды обычно отправляются модему посредством коммуникационного программного обеспечения, но также могут быть введены пользователем с помощью терминальной программы. Примеры использования *AT*-команд приведены в табл. 3.3 и табл. 3.4.

Таблица 3.3 — Характеристика *AT*-команд модема *Huawei E3372h*

Формат команды	Описание команды
<i>AT</i>	Проверка работы режима <i>AT</i> -команд. В ответ модем должен ответить «OK»
<i>AT^FHVER</i>	Вывод информации о версии аппаратной части и версии прошивки
<i>AT^VERSION?</i>	Информация о версии прошивки модема
<i>ATI</i>	Вывод информации о модеме (название устройства, версия аппаратной части и прошивки, <i>IMEI</i> , установленный режимы работы высокочастотной части)

Формат команды	Описание команды
<i>AT^RESET</i>	Перезагрузка модема
<i>AT+CLAC</i>	Вывод списка всех поддерживаемых команд

Исследование состава и характеристик мобильной сети в режиме сканирования доступности базовых станций 2G и 3G следует использовать команду *AT^NETSCAN*. Формат команды поиска базовых станций

AT^NETSCAN=num, level, mode

где *num* — максимальное число обнаруживаемых при сканировании БС, задается в пределах от 1 до 20.

Если будет найдено больше *num* БС, то станции с самым слабым сигналом будут исключены из списка вывода;

level — минимальный уровень мощности сигнала БС, включаемых в список вывода. Задается в дБм, от -110 (самый низкий уровень) до -47 (самый высокий уровень). Станции с уровнем сигнала меньше *level* в список включаться не будут;

mode — тип БС для поиска (0 — поиск 2G-станций, 1 — поиск 3G-станций).

Например, команда для поиска до восьми БС стандарта 3G с минимальным уровнем мощности сигнала -101 дБм имеет вид:

AT^NETSCAN=8,-101,1

Результат выдается в виде списка, отсортированного по уровню сигнала. Самая верхняя в списке БС — самая мощная, нижняя в списке — самая слабая. Например, отклик модема будет иметь вид, показанный на рис. 3.3.

^NETSCAN: 10788,,,2487,250,60,0,-97,8f7f,400000

ARFCH LAC MCC MNC BSID LEVEL CID BAND

Рис. 3.3 — Формат отклика модема при сканировании доступности базовых станций

Что означают полученные данные охарактеризовано в табл. 3.4 и табл. 3.5.

Таблица 3.4 — Характеристика параметров вывода команды *NETSCAN*

Значение	Наименование параметра	Назначение параметра
10788	<i>ARFCN</i> Десятичное значение.	Параметр определяющий рабочую частоту. Принимает значения в зависимости от используемого стандарта мобильной связи: — для <i>GSM</i> в диапазоне 0–1023; — для <i>WCDMA</i> в диапазоне 0–16383; — для <i>TD-SCDMA</i> в диапазонах 9400–9600, 10050–10125, 11500–12000; — для <i>LTE</i> в диапазоне 0–39649.
2487	<i>LAC</i> Шестнадцатеричное значение	<i>Local Area Code</i> — код локальной зоны. Локальная зона — это совокупность БС, которые обслуживаются одним контроллером базовых станций (<i>Base Station Controller, BSC</i>). Во временном регистре оператора содержится информация о том, в какой именно <i>Local Area (LA)</i> находится каждый его абонент. При вызове этого абонента сигнал вызова посылается на контрольных каналах всех секторов всех БС этой <i>LA</i> . И если телефон не пропал из сети или не был отключён, то он этот сигнал слышит и на него откликается. Когда телефон переходит в другую <i>LA</i> , он «отмечается» в ней. Так же телефон периодически «отмечается», и находясь в одной <i>LA</i> , как бы подтверждая, что не сменил положения.
250	<i>MCC</i> Десятичное значение	<i>Mobile Country Code</i> — код страны, в которой находится БС. Для России он равен 250, Армении — 283, Беларуси — 257, Венгрии — 216, Грузии — 282, Украины — 255.
60	<i>MNC</i> Десятичное значение	<i>Mobile Network Code</i> — код сотовой сети. Например, для МТС имеет код 01, МегаФон — 02, <i>HCC</i> — 03, СМАРТС — 07, Теле2 — 20, Yota — 11, <i>WIN-Mobile</i> (К-Телеком) — 32, СевМобайл — 33, Крымтелеком — 34, Волна мобайл — 60, Билайн — 99.
0	<i>BSIC</i> Десятичное значение	Идентификационный код базовой станции GSM. Принимает значения в диапазоне 0–63. Для <i>WCDMA</i> , <i>TD-SCDMA</i> и <i>LTE</i> , код принимает значение 0.
-97	<i>LEVEL</i>	Уровень принимаемого от БС сигнала в дБм.
8f7f	<i>CID</i> Шестнадцатерич-	<i>Cell ID</i> — «идентификатор соты». Это параметр, который присваивается оператором каждому сектору каждой БС, и служит для его идентификации. Параметр обязательно передаётся на контрольном канале

Значение	Наименование параметра	Назначение параметра
	ное значение	этого сектора. Состоит из двух байтов. Может использоваться в десятичном и в шестнадцатеричном исчислениях. В десятичном виде из него можно выделить номер БС и номер сектора (чаще всего последняя одна или две цифры).
400000	<i>BAND</i> Шестнадцатеричное значение	Параметр, который определяет частотный диапазон, в котором работает БС. Может принимать значения приведены в табл. 3.5 или их суммарные комбинации.

Таблица 3.5 — Возможными значениями параметра *BAND* в поле вывода команды *NETSCAN*

Значения параметра <i>BAND</i>	Наименование диапазона частот
00080000	(<i>CM_BAND_PREF_GSM_850</i>) <i>GSM 850</i>
00000080	(<i>CM_BAND_PREF_GSM_DCS_1800</i>) <i>GSM DCS systems</i>
00000100	(<i>CM_BAND_PREF_GSM_EGSM_900</i>) <i>Extended GSM 900</i>
00000200	(<i>CM_BAND_PREF_GSM_PGSM_900</i>) <i>Primary GSM 900</i>
00100000	(<i>CM_BAND_PREF_GSM_RGSM_900</i>) <i>Railway GSM 900</i>
00200000	(<i>CM_BAND_PREF_GSM_PCS_1900</i>) <i>GSM PCS</i>
00400000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_I_IMT_2000</i>) <i>WCDMA IMT 2100</i>
00800000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_II_PCS_1900</i>) <i>WCDMA_II_PCS 1900</i>
04000000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_V_850</i>) <i>WCDMA_V_850</i>
08000000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_VI_800</i>) <i>WCDMA_VI_800</i>
0004000000000000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_IX_1700</i>) <i>WCDMA_IX_1700</i>
0002000000000000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_VIII_900</i>) <i>WCDMA_VIII_900</i>
1000000000000000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_XIX_850</i>) <i>WCDMA_XIX_850</i>
2000000	(<i>CM_BAND_PREF_WCDMA_IX_1700</i>) <i>AWS</i>
40000000	(<i>CM_BAND_PREF_NO_CHANGE</i>) <i>Band not changed</i>
3FFFFFFF	(<i>CM_BAND_PREF_ANY</i>) <i>All bands</i>
00680380	<i>Automatic</i>

Например, если параметр *BAND* принимает значение 100200 это означает, что БС работает в двух режимах *Primary GSM 900* и *Railway GSM 900*, и использует при этом один частотный диапазон 900 МГц.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Исследование свойств канала связи при использовании стандарта 3G (1 вариант модема)

4.1.1. Порядок подключения к каналу связи

1) Включить персональный компьютер и дождаться загрузки операционной системы. Установить модем *AirCard 875* в *PCMCIA* слот ПК, который находится на левой боковой стенке корпуса.

2) Запустить программу «3G Watcher» для работы с модемом, для чего использовать соответствующий ярлык на рабочем столе компьютера. Определить уровень мощности сигнала мобильной сети на входе модема. Для этого подвести курсор мыши к значку программы «3G Watcher» в системном трее, как показано на рис. 4.1, а.

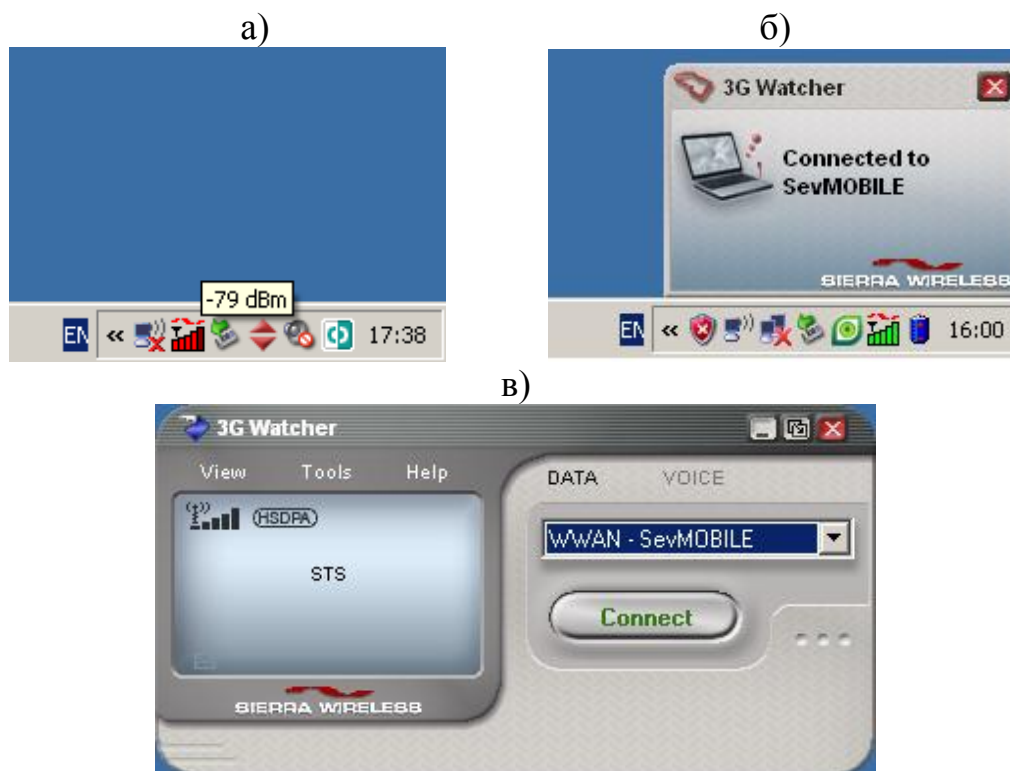


Рис. 4.1 — Основное окно программы 3G Watcher

4) Выполнить подключение к сети Internet, используя кнопку Connect для профиля соединения *WWAN - SevMOBILE* (см. рис. 4.1, в). При удачном соединении будет выведено сообщение *Connected to STS* и значок программы в системном трее изменит цвет на зеленый, как показано на рис. 4.1, б.

5) Проверить работоспособность соединения, для этого запустить программу *Google Chrome* или другой браузер и зайти на сайт <http://rt-sevastopol.ru>.

4.1.2. Порядок тестирования системы стандарта 3G

1) Произвести тестирование канала связи на протоколе *HSDPA*. Для этого подключиться к сети Internet. Выполнить тестирование, используя тесты по адресам, указанным в табл. 4.1.

После окончания процесса тестирования следует полученные значения входящей и исходящей скорости передачи данных и времени задержки внести в протокол лабораторной работы.

Таблица 4.1 — 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/	https://www.speedtest.net/
1	https://speedtest.su/	
2	http://www.speedtest.pl/mini	
3	https://speedtest24.ru/	https://internet-speed-test.online/ru/
4	https://wifispeed.io/ru	
5	http://mrtc-инфо.пф/internet/speedtest.html	
6	http://2ip.ru/speed/	
7	http://speedtest.pr-cy.ru/	https://www.nperf.com/ru/
8	http://witest.ru/	
9	http://testskorosti.ru/	

2) 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 sevtelecom.ru`

Примечание. Для сохранения результатов тестирования в текстовом виде следует расположить курсор манипулятора «мышь» в произвольном месте окна командной консоли, нажать правой кнопкой 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.

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

`tracert sevtelecom.ru`

4) Выполнить отключение от сети интернет, но не закрывать окно программы «3G Watcher». Запустить программу *Mobile Data Monitoring Application* (MDMA), используя ярлык программы на рабочем столе, и сохранить изображение окна программы в электронный протокол лабораторной работы (используя комбинацию клавиш <Alt> + <PrintScreen>).

Пример экрана программы MDMA приведен на рис. 4.2.

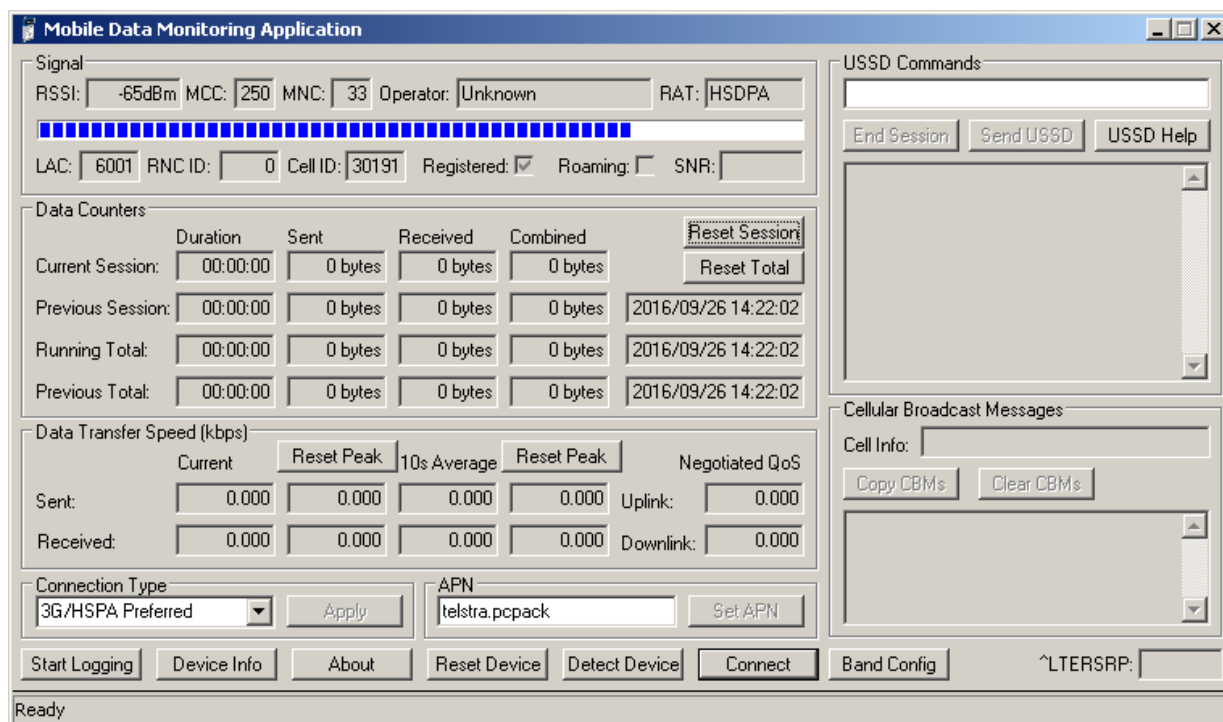


Рис. 4.2 — Основное окно программы MDMA

Далее приведены основные обозначения, используемые в окне вывода программы MDMA:

— *Received Signal Strength Indicator (RSSI)* — индикатор (уровень мощности) сигнала, в дБм.

— *Radio Access Technology (RAT)* — технология радиодоступа, например, GPRS, EDGE, 3G, HSDPA, HSUPA, HSDUPA (High Speed Downlink and Uplink), HSPA+.

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

— *Mobile Network Code (MNC)* — код сотовой сети. Например, МТС имеет код 01, МегаФон — 02, НСС — 03, СМАРТС — 07, Теле2 — 20, Yota — 11, WIN-Mobile (К-Телеком) — 32, СевМобайл — 33, Крымтелеком — 34, Волна мобайл — 60, Билайн — 99.

— *Local Area Code (LAC)* — код локальной зоны. Локальная зона — это совокупность БС, которые обслуживаются одним контроллером базовых станций.

— *Cell ID, CID, CI* — «идентификатор соты». Это параметр, который присваивается оператором каждому сектору каждой БС, и служит для его идентификации.

5) Завершить работу программы *MDMA* и завершить сеанс связи, отключив модем от сети провайдера.

6) Выполнить корректное извлечение модема, для чего произвести его остановку с использованием функции операционной системы «Безопасное извлечение устройства».

4.2. Исследование свойств канала связи при использовании стандартов 3G / 4G (2 вариант модема)

4.2.1. Порядок подключения и тестирования канала связи 4G

1) Установить модем *Huawei E3372h* в свободный *USB* разъем ПК.

2) Дождаться запуска программы настройки режимов работы модема в интернет браузере. Вид окна программы показан на рис. 4.3.

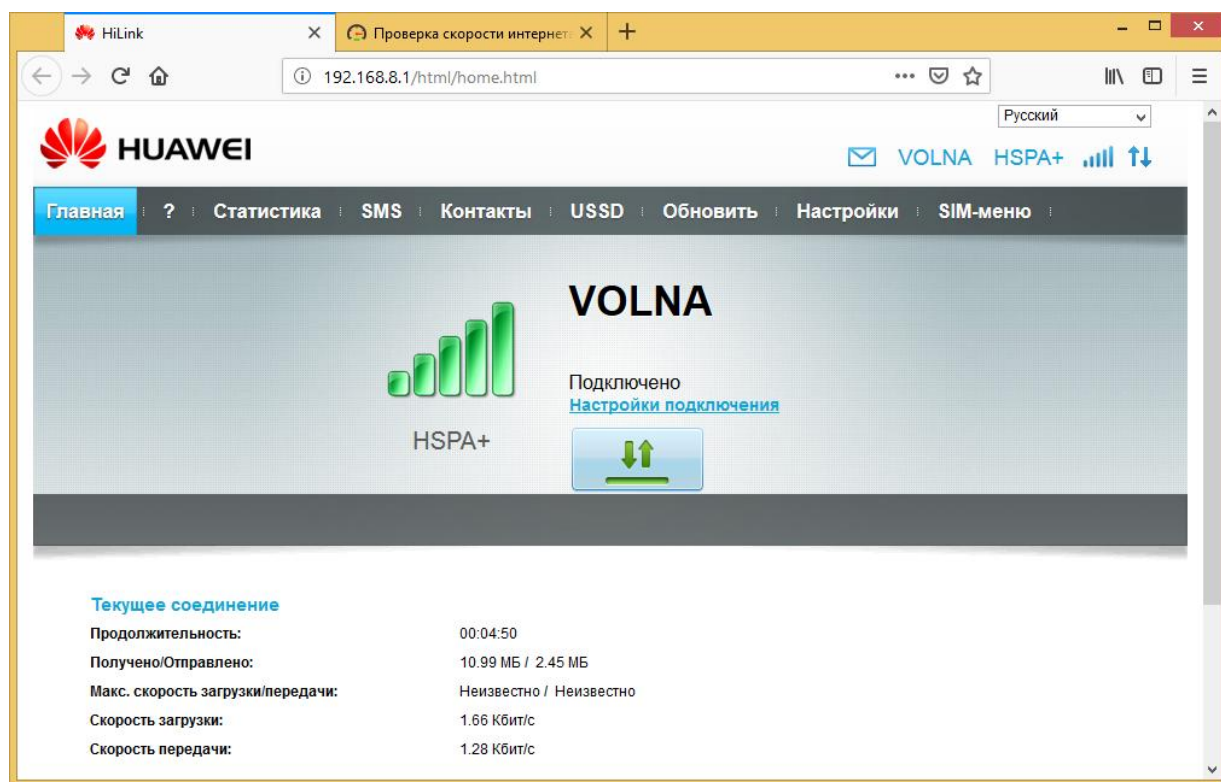


Рис. 4.3 — Основное окно программы конфигурирования модема *E3372h*

3) Используя меню *WEB*-интерфейса модема проверить установку режима работы в сетях 4G, для этого в меню программы конфигурирования модема следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только *LTE*».

Примечание. Если при первичном запуске WEB-интерфейс модема открылся в браузере *Internet Explorer (IE)*, следует скопировать адрес WEB-интерфейса и открыть его в браузере *Google Chrome*, поскольку некоторые элементы интерфейса в браузере *IE* не функционируют.

4) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню WEB-интерфейса модема 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*.

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

5) Перейти на главное окно WEB-интерфейса модема и включить режим передачи данных, нажав для этого знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна.

6) Выполнить тестирование канала связи на протоколе 4G. Выполнить тестирование, используя тесты по адресам, указанным в табл. 4.2.

После окончания процесса тестирования следует полученные значения входящей и исходящей скоростей передачи данных и времени задержки внести в протокол лабораторной работы.

7) Определить среднее время отклика для сайта, заданного в табл. 4.2. 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.

Таблица 4.2 — Исходные данные для тестирования доступа к ресурсу

Последняя цифра номера зачетной книжки	Сайт 1	Сайт 2 (резервный адрес)
1	<i>list.ru</i>	<i>gonets.ru</i>
2	<i>sevsu-fizika.ru</i>	<i>sevastopol.info</i>
3	<i>rt-sevastopol.ru</i>	<i>dd-wrt.com</i>
4	<i>rambler.ru</i>	<i>dlink.ru</i>
5	<i>yandex.ru</i>	<i>telesputnik.ru</i>
6	<i>gooogle.com</i>	<i>gismeteo.ru</i>
7	<i>pressa.ru</i>	<i>elt-sevsu.ru</i>
8	<i>radio.ru</i>	<i>svlib.ru/</i>
9	<i>sevsu.ru</i>	<i>cfuv.ru</i>
0	<i>rostec.ru</i>	<i>lunacharskiy.com</i>

8) Определить путевые узлы в случае подключения к *Internet* через сеть мобильного оператора, набрав команду *tracert* для заданного в табл. 4.2 узла.

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

4.2.2. Порядок подключения и тестирования канала связи 3G

Используя меню *WEB*-интерфейса модема провести установку режима работы в сетях 3G, для этого в меню программы конфигурирования модема следует выбрать пункт «Настройки», и далее в поле «Предпочтительный режим:» выбрать «Только *UMTS*».

2) Сохранить для дальнейшего использования информацию об устройстве в виде графического изображения, для этого в меню *WEB*-интерфейса модема 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*.

3) Перейти на главное окно *WEB*-интерфейса модема и включить режим передачи данных, нажав для этого знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна.

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

После окончания процесса тестирования следует полученные значения входящей и исходящей скоростей передачи данных и времени задержки внести в протокол лабораторной работы.

5) Определить среднее время отклика для сайта, заданного в табл. 4.2. 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. 4.2 узла.

7) Отключить режим передачи данных нажав знак «Мобильная передача данных» в центре главного окна *WEB*-интерфейса.

4.2.3. Исследование состава базовых станций мобильной сети 3G

Исследование состава и характеристик мобильной сети выполняется с использованием модема в режиме приема *AT*-команд. Для перевода модема *E3372h* в режим приема *AT*-команд следует в командной строке браузера набрать адрес

<http://192.168.8.1/html/switchProjectMode.html>

Внимание!

1) Команда регистрочувствительна, поэтому следует ее набирать именно в приведённом выше виде.

2) После ввода команды на экране не выдается никаких сообщений, но после ввода изменяется конфигурация оборудования, что приводит к генерации краткого звукового сигнала. После ввода команды следует просто закрыть окно браузера.

2) После ввода конфигурационной команды следует проверить наличие в конфигурации оборудования ПК, к которому подключен модем, последовательных *SOM*-портов модема. Для этого нажать правой кнопкой мыши на знач-

ке «Мой компьютер» и выбрать меню свойства. Далее выбрать пункт меню «Диспетчер устройств», и развернуть в дереве устройств раздел Порты (COM и LPT), как показано на рис. 4.4.

Для доступа к модему следует использовать порт с названием «FC – PC UI Interface (COM20)», следует запомнить его номер для последующего обращения в окне терминальной программы (при выполнении лабораторной работы номер порта может быть другим). На рис. 4.4 — это порт COM20.

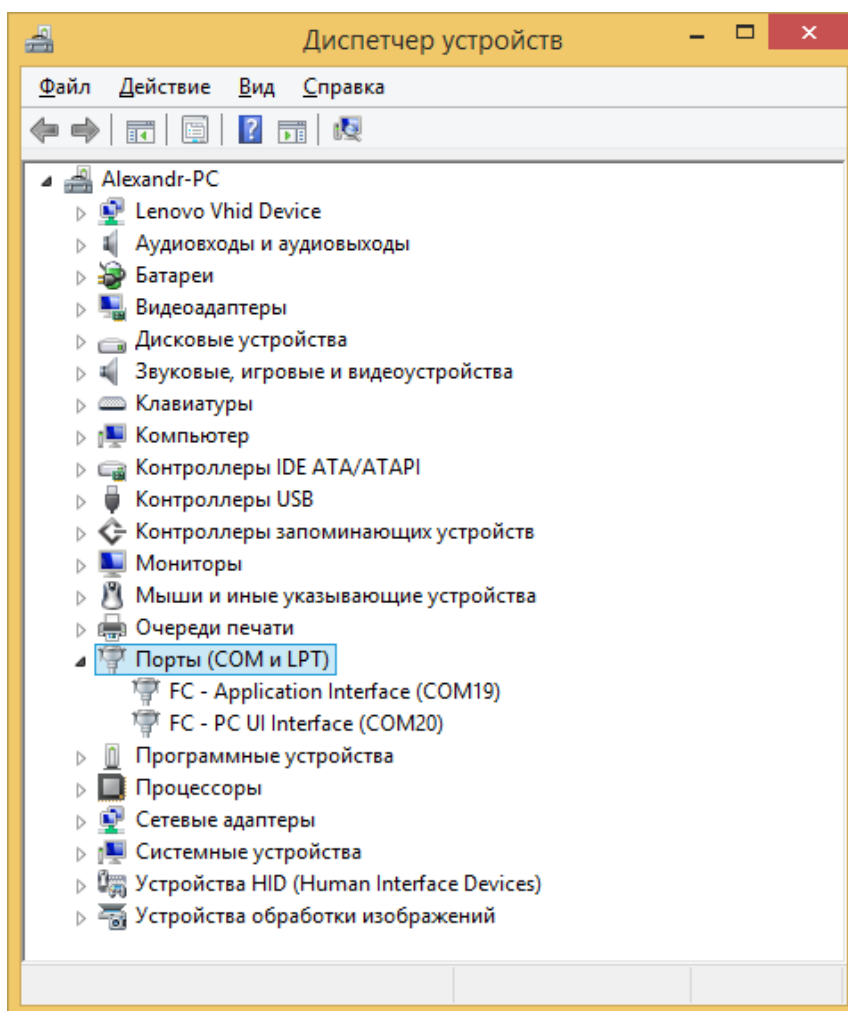
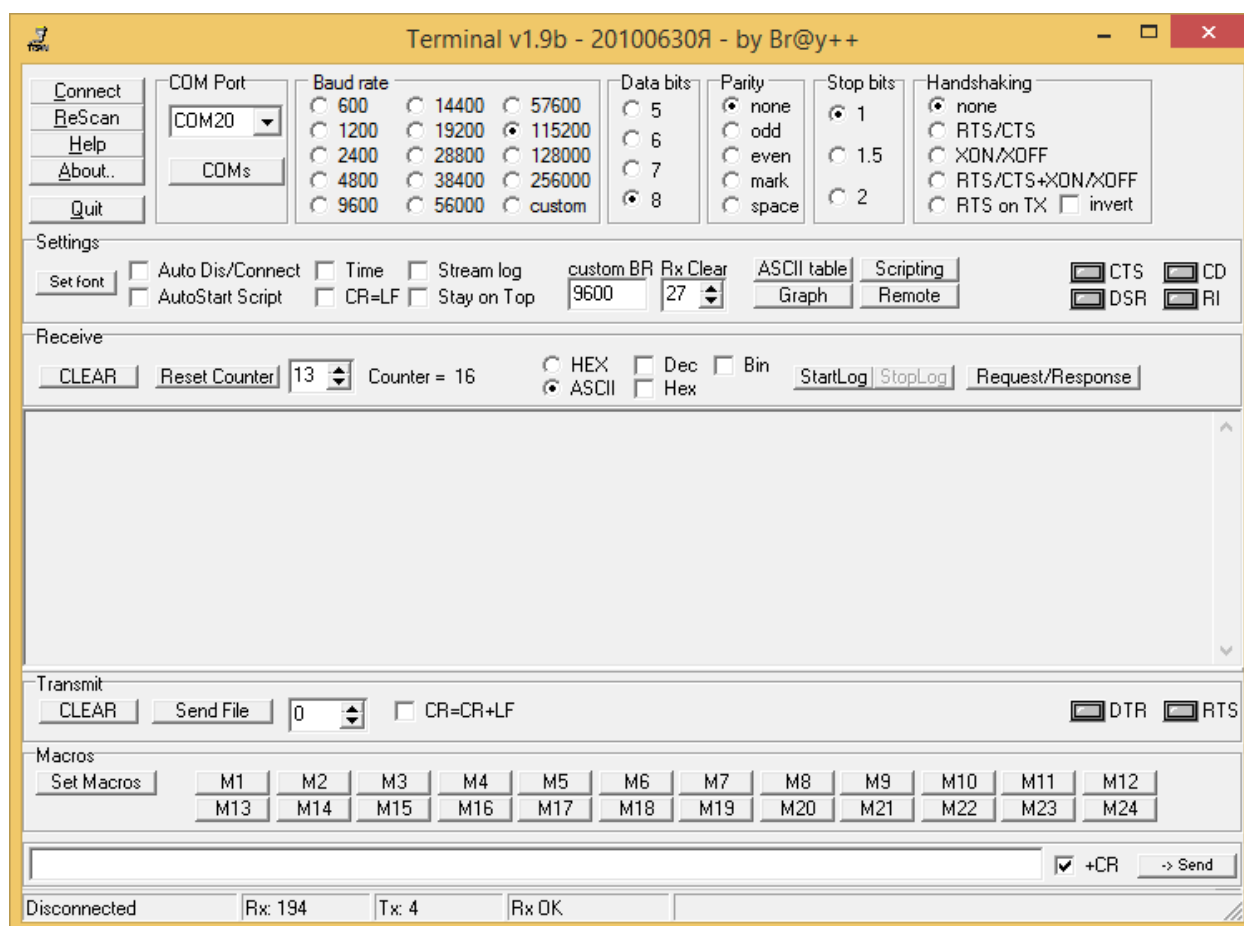


Рис. 4.4 — Вид окна «Диспетчер устройств» в случае проверки состава последовательных портов

3) Запустить программу «Terminal 1.9b», выбрать последовательный порт «COM20», установить параметр *Baud rate* — 115200, как показано на рис. 4.5. Отметить параметр +CR в нижней части экрана терминала и после этого нажав на кнопку «Connect», обеспечить соединение терминала с командным портом модема.

Рис. 4.5 — Вид окна программы *Terminal 1.9b*

4) С целью проверки корректности соединения терминала и модема выполнить команду «*ATI*», набрав ее в нижней строке терминальной программы и нажать кнопку «*Send*». В ответ модем выдаст информацию вида:

Manufacturer: huawei

Model: E3372

Revision: 22.329.07.00.00

IMEI: 865035035024660

+GCAP: +CGSM,+DS,+ES

5) В терминальной программе ввести команду для поиска до десяти БС стандарта 3G с минимальным уровнем мощности сигнала –110 дБм в виде:

AT^NETSCAN=10,-110,1

Для анализа полученных данных необходимо скопировать только результат вывода команды *NETSCAN* и сохранить его в протокол выполнения лабораторной работы. При работе режима сканирования доступности БС возможно в окне терминала появление дополнительного текста, который не влияет на результаты проводимых исследований.

Результат сканирования выдается в виде списка, отсортированного по уровню сигнала. Самая верхняя в списке запись, соответствует БС с самым сильным сигналом, нижняя в списке — с самым слабым. Например, отклик модема будет иметь вид, показанный на рис. 3.3. Что означают полученные данные охарактеризовано в табл. 3.4.

6) После получения результатов сканирования в режиме 3G произвести программную перезагрузку модема, для этого набрать команду *AT^RESET*.

7) Используя протокол выполнения лабораторной работы и информацию п.п. 3.4. внести значения параметров (*MCC*, *MNC*, *LAC*, *CID*) в таблице по форме табл. 4.3. Следует обратить внимание, что отклик команды *NETSCAN* для параметров *LAC* и *CID* возвращает значения в шестнадцатеричном виде.

Значения *LAC* и *CID* в десятичной системе счисления следует получить путем использования встроенной программы калькулятор операционной системы, или используя какой-либо интернет ресурс. Например, расположенный по адресу <https://coding.tools/ru/hex-to-decimal>.

Таблица 4.3 — Результаты сканирования мобильной сети 3G

<i>MCC</i> Десятич- ное зна- чение	<i>MNC</i> Десятич- ное значе- ние	<i>LAC</i> Шестна- дцатерич- ное значе- ние	<i>LAC</i> Десятич- ное значе- ние	<i>CID</i> Шестна- дцатерич- ное значе- ние	<i>CID</i> Десятич- ное значение	Частот- ный диа- пазон, МГц

4.3. Определение расположения базовых станций

1) Используя результаты эксперимента, приведенные в таблице по форме табл. 4.3, произвести подготовку команд-запросов для определения географических координат БС на интернет ресурсе www.mylnikov.org.

Запросы должны иметь следующий формат:

<http://api.mylnikov.org/mobile/main.py/get?data=open&mcc=250&mnc=60&cellid=367875&lac=9102&v=1.1>

где *mcc=250* — десятичное значение параметра *MCC*;
mnc=60 — десятичное значение параметра *MNC*;
cellid=367875 — десятичное значение параметра *CID*;
lac=9102 — десятичное значение параметра *LAC*.

Значения других элементов запроса оставить без изменений. Например, для ответа модема «*^NETSCAN: 10638,,1771,250,33,0,-69,75dc,400000*», учитывая, что $1771_{16} = 6001_{10}$ и $75dc_{16} = 30172_{10}$ следует подготовить команду-запрос следующего вида

<http://api.mylnikov.org/mobile/main.py/get?data=open&mcc=250&mnc=33&cellid=30172&lac=6001&v=1.1>

2) Подготовленные запросы ввести в строку адрес интернет-браузера поочередно для каждой БС и получить ответы, как показано на рис. 4.5.

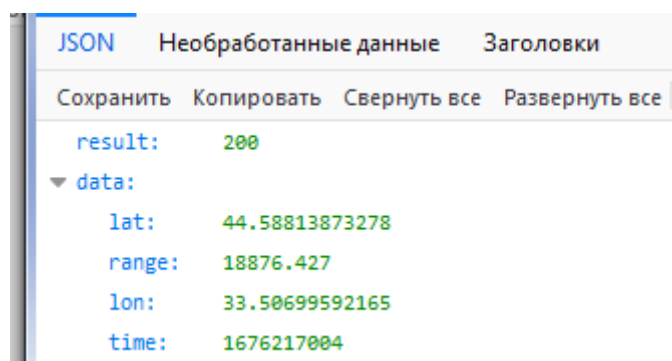


Рис. 4.5 — Вид окна с результатами определения координат БС

Полученные для каждой БС координаты занесите в третий и четвертый столбцы таблицы по форме табл. 4.4.

Таблица 4.4 — Результаты сканирования мобильной сети 3G

<i>LAC</i> Десятичное значение	<i>CID</i> Десятичное значение	Широта, градусы	Долгота, градусы	Расстояние, км	Примечание

3) Используя инструменты ресурса <https://geotree.ru> выполнить определения расстояния от учебной лаборатории университета до каждой из БС. Для этого на первом этапе в левой части окна сайта следует ввести координаты БС, а затем использовать инструмент сайта «Линейка», расположенный в правой части графического окна, как показано на рис. 4.6. Результат определения расстояний внести в табл. 4.4.

Копии экранов сайта geotree.ru сохранить в протокол по выполнению лабораторной работы.

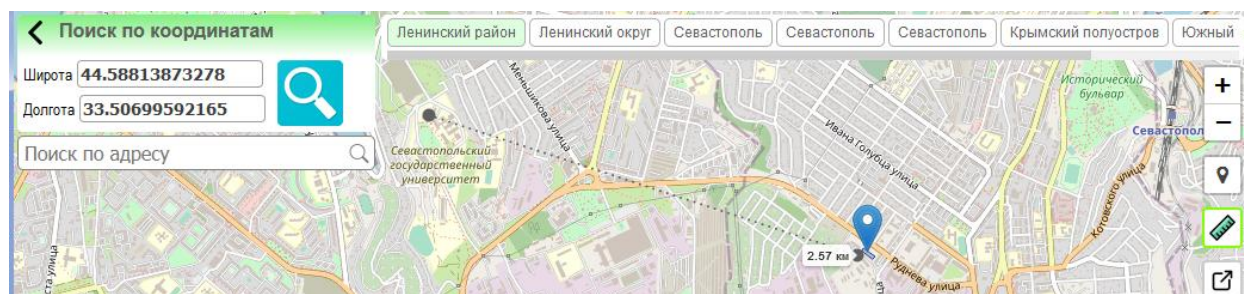


Рис. 4.6 — Вид окна с результатами определения местоположения БС на карте

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1) Сформулируйте цель лабораторной работы, в которой укажите какое оборудование, каких стандартов, и какие характеристики оборудования исследуются в лабораторной работе.

2) Изобразите структурную схему лабораторной установки и укажите назначение ее отдельных элементов. Структурную схему следует разработать самостоятельно.

3) В графическом виде изобразите частотный план всех исследуемых в лабораторной работе вариантов мобильной связи.

4) Изобразите диаграммы распределения задержки вдоль сетевых узлов, полученные при использовании команды `tracert`. Названия сетевых узлов на диаграмме могут быть указаны условно либо сокращенно.

5) Приведите сравнительную характеристику информационных параметров подключения 3G сети для двух вариантов операторов связи и для подключения 4G сети (скорость получения и отправки данных, время задержки сигнала).

6) Для результатов исследований 4G сети изобразите план распределения частот, используя результаты окна «Информация об устройстве», полученную в пункте меню «?» WEB-интерфейса.

6) Приведите сравнительную характеристику энергетических параметров подключения 3G сети для двух вариантов операторов связи и для подключения 4G сети (уровень мощности сигнала на стороне мобильного абонента).

7) Приведите результаты сканирования мобильной сети 3G и определения расположения БС в виде таблиц и карт расположения БС.

8) Приведите результаты определения расстояний от учебной лаборатории СевГУ до БС.

7) В выводах необходимо описать и проанализировать полученные результаты и сравнить их с потенциально возможными характеристиками сетей стандартов 3G/4G.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

- 1) Поясните порядок действий при исследовании свойств мобильной сети 3G/4G с точки зрения пропускной способности.
- 2) Охарактеризуйте последовательность действий для перевода модема в режим приема AT команд.
- 3) Охарактеризуйте функциональное назначение отдельных элементов модема *Huawei*.
- 4) Поясните порядок действий при исследовании свойств мобильной сети 3G/4G с точки зрения временных задержек.
- 5) Поясните порядок действий при исследовании свойств мобильной сети 3G при исследовании сети оператора.
- 6) Приведите сравнительную характеристику основных вариантов разделения каналов при использовании множественного доступа.
- 7) Приведите сравнительную характеристику квадратурной амплитудной и квадратурной фазовой манипуляций.
- 8) Приведите сравнительную характеристику вариантов фазовой манипуляции *QPSK* и *8PSK*.
- 9) Назовите общие особенности мобильной связи третьего поколения.
- 10) Охарактеризуйте общие особенности мобильной связи четвертого поколения.

6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы

- 1) Используя технические характеристики модемов, проведите сравнение стабильности частоты модемов *Sierra Wireless AirCard 875* и *Huawei E3372h*.
- 2) Объясните, почему нецелесообразно использовать число позиций сигнала более восьми при многопозиционной фазовой манипуляции?
- 3) Охарактеризуйте метод разделения каналов при использовании множественного доступа с разделением каналов по частоте. Укажите преимущества и недостатки метода.
- 4) Поясните метод разделения каналов при использовании множественного доступа с разделением каналов по времени. Укажите преимущества и недостатки метода.
- 5) 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.
- 6) Перечислите потенциальные технические возможности систем мобильной связи стандарта 3G.
- 7) Поясните назначение и работу канала динамического управления скоростью передачи данных *DRC*.
- 8) Сформулируйте основные тенденции развития систем мобильной связи.

9) Охарактеризуйте технические возможности систем мобильной связи стандартов *UMTS* и *HSDPA*.

10) Назовите общие особенности мобильной связи первого и второго поколений.

11) Охарактеризуйте общие особенности мобильной связи третьего поколения.

12) Охарактеризуйте общие особенности мобильной связи четвертого поколения с точки зрения современных тенденций.

13) Назовите особенности частотного планирования для мобильной связи четвертого поколения.

14) Охарактеризуйте общие особенности реализации многоантенных технологий *MIMO*.

15) Охарактеризуйте результаты определения расположения БС мобильной сети.

16) Поясните физический смысл отношения E_c/I_0 для всех практических результатов, полученных в ходе выполнения лабораторной работы для 3G сети.

17) Охарактеризуйте физический смысл параметра $SINR$ и диапазон значений 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.
- 3G - CDMA2000 1xEV-DO Technologies / CDMA Development Group. — Режим доступа: http://www.cdg.org/technology/3g_1xEV-DO.asp (дата обращения: 25.01.2024).
6. Рыжков, А. Е. Гетерогенные сети радиодоступа : учебное пособие / А. Е. Рыжков, В. А. Лаврухин. — Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2017. — 92 с. — ISBN 978-5-89160-142-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180173> (дата обращения: 19.03.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Сравнительный анализ технологий мобильной связи / ЕвроМобайл. — Режим доступа: <https://www.euromobile.ru/novosti/sravnitelnyj-analiz-tehnologij-mobilnoj-svyazi/> (дата обращения: 17.01.2024).
8. MIMO — многоантенные технологии в LTE / Портал о современных технологиях беспроводной связи. — Режим доступа: <http://1234g.ru/4g/lte/fizicheskij-uroven-standarta-lte/mnogoantennnye-tehnologii-mimo-v-lte> (дата обращения: 17.01.2024).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Образец титульного листа

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем
Кафедра «Инновационные телекоммуникационные технологии»

ОТЧЁТ
по лабораторной работе
«Исследование системы передачи данных в мобильной сети»
(название лабораторной работы)
по дисциплине «Телекоммуникационные системы»

Выполнил студент _____
(фамилия, инициалы)

Группа _____

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(фамилия, инициалы)

Севастополь
20__

Учебное издание

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие

*Составители: Савочкин Александр Анатольевич,
Тихвинский Валерий Олегович*

В авторской редакции

Изд. № 102/2024. Объем 2,5 п.л. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,45.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»