

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет радиотехники и электроники

Кафедра информационных радиотехнологий

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ
И СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве пособия для специальности
1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»*

Минск БГУИР 2023

УДК 621.396.4-048.34(076.5)

ББК 32.884.1я73

М74

А в т о р ы:

Н. И. Листопад, В. М. Козел, Е. Н. Каленкович, М. А. Лобан

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра телекоммуникационных систем учреждения образования
«Белорусская государственная академия связи»
(протокол № 6 от 12.12.2022 г.);

ведущий научный сотрудник – заместитель директора по информационной безопасности научно-инженерного республиканского унитарного предприятия «Межотраслевой научно-практический центр систем идентификации и электронных деловых операций» кандидат физико-математических наук, доцент И. А. Король

Моделирование и оптимизация систем и сетей передачи данных.
М74 Лабораторный практикум : пособие / Н. И. Листопад [и др.]. – Минск : БГУИР, 2023. – 82 с. : ил.
ISBN 978-985-543-715-5.

Содержатся краткие теоретические сведения о структуре и особенностях построения сетей подвижной связи четвёртого поколения, а также приводятся методические рекомендации для выполнения лабораторных работ.

УДК 621.396.4-048.34(076.5)

ББК 32.884.1я73

ISBN 978-985-543-715-5

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Теоретическая часть	
1 Общие сведения о сетях подвижной связи.....	6
2 Особенности организации физического канала и модуляции в сетях подвижной связи четвёртого поколения.....	11
2.1 Рабочие диапазоны частот.....	11
2.2 Ширина полосы частот и её конфигурации.....	13
2.3 Основы множественного доступа <i>OFDM</i>	16
2.4 Каналы передачи данных в сетях <i>LTE</i>	21
2.5 Структура кадра <i>LTE</i>	23
2.6 Схема модуляции поднесущих.....	28
3 Архитектура базовых станций <i>eNodeB</i> сетей подвижной связи четвёртого поколения.....	34
Лабораторный практикум	
Лабораторная работа № 1. Конфигурация базовых станций сотовой связи стандарта <i>LTE</i> . Программный комплекс, команды.....	40
Лабораторная работа № 2. Конфигурация базовых станций сотовой связи стандарта <i>LTE</i> . Активация, деактивация сот. Базовая станция <i>HUAWEI APM30H</i> . Создание, удаление, изменение параметров сот.....	52
Лабораторная работа № 3. Исследование передачи данных в нисходящем и восходящем каналах базовой станции <i>HUAWEI APM30H</i>	63
Лабораторная работа № 4. Трассировка сообщений базовой станции стандарта <i>LTE</i>	71
Список использованных источников.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных технологий трудно представить без использования систем передачи информации. Телекоммуникационные технологии широко используются во всех сферах человеческой деятельности и позволяют решать прикладные задачи в различных отраслях.

Растущие потребности различных приложений вызывают необходимость подготовки специалистов, владеющих базовыми знаниями в области телекоммуникаций и умениями работы с современным телекоммуникационным оборудованием.

В настоящее время разнообразные варианты сетей передачи информации используют различные физические принципы и способы передачи. Одной из технологий являются сотовые сети подвижной связи четвёртого и пятого поколения.

В пособии приведены краткие теоретические сведения об организации сетей подвижной связи, особенностях организации физического канала, типах используемых сигналов, диапазонов частот, видов модуляции в системах подвижной связи четвёртого поколения, а также рассмотрена типовая структура современной базовой станции.

В практической части пособия приведён лабораторный практикум, состоящий из четырёх работ. В работах рассматриваются вопросы, связанные с настройкой оборудования и контроля параметров базовой станции системы подвижной связи четвёртого поколения *HUAWEI APM30H*.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1 Общие сведения о сетях подвижной связи

Непрерывно изменяющиеся и возрастающие потребности общества являются стимулирующим фактором его технологического развития, которое, как правило, протекает эволюционным путем, но значительные научные открытия обуславливают скачкообразное развитие технологий. Всё это в полной мере касается развития такой области человеческой деятельности, как телекоммуникации (электросвязь). Так технологии мобильной связи, являющиеся принципиальным скачком в развитии, непосредственно интегрируются в существующие технологии электросвязи и «впитывают» в себя опыт предшествующего развития. Вне зависимости от так называемого поколения сетей подвижной связи все они строятся в соответствии с обобщённой структурой, представленной на рисунке 1.1.

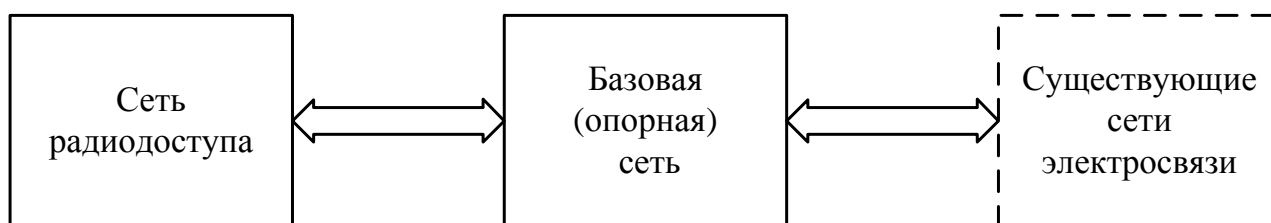


Рисунок 1.1 – Обобщённая структура сети подвижной связи

Сеть радиодоступа (в сети подвижной связи может быть несколько сетей радиодоступа) – это совокупность технических средств, программного обеспечения, протоколов, спецификаций формирования радиоканала и среды распространения радиоволн, обеспечивающих радиоинтерфейс между абонентами и базовой опорной сетью.

Базовая (опорная) сеть – это совокупность технических средств, программного обеспечения, протоколов и спецификаций, обеспечивающих коммутацию каналов и (или) пакетов и формирующих интерфейс абонентов с другими «домашними» сетями радиодоступа, а также с существующими сетями электросвязи. Базовую (опорную) сеть ещё называют *ядром (Core)* или *«корой»* сети подвижной связи.

В зависимости от поколения сети подвижной радиосвязи различают следующие виды сетей радиодоступа:

– *GRAN (GSM Radio Access Network)*: сеть радиодоступа второго поколения (*GSM*);

– *GERAN (GSM EDGE Radio Access Network)*: по сути, то же самое, что и *GRAN*, но с включением служб пакетной передачи данных;

– *UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)*: сеть радиодоступа третьего поколения (*UMTS*);

– *E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access)*: высокоскоростная сеть радиодоступа четвёртого поколения (*Long Term Evolution (LTE)*);

– *NG-RAN (Next Generation Radio Access Network)* или *RAN*: высокоскоростная сеть радиодоступа пятого поколения (*NR* или *IMT2020*).

Кратко охарактеризуем основные элементы сети подвижной связи второго поколения (рисунок 1.2).

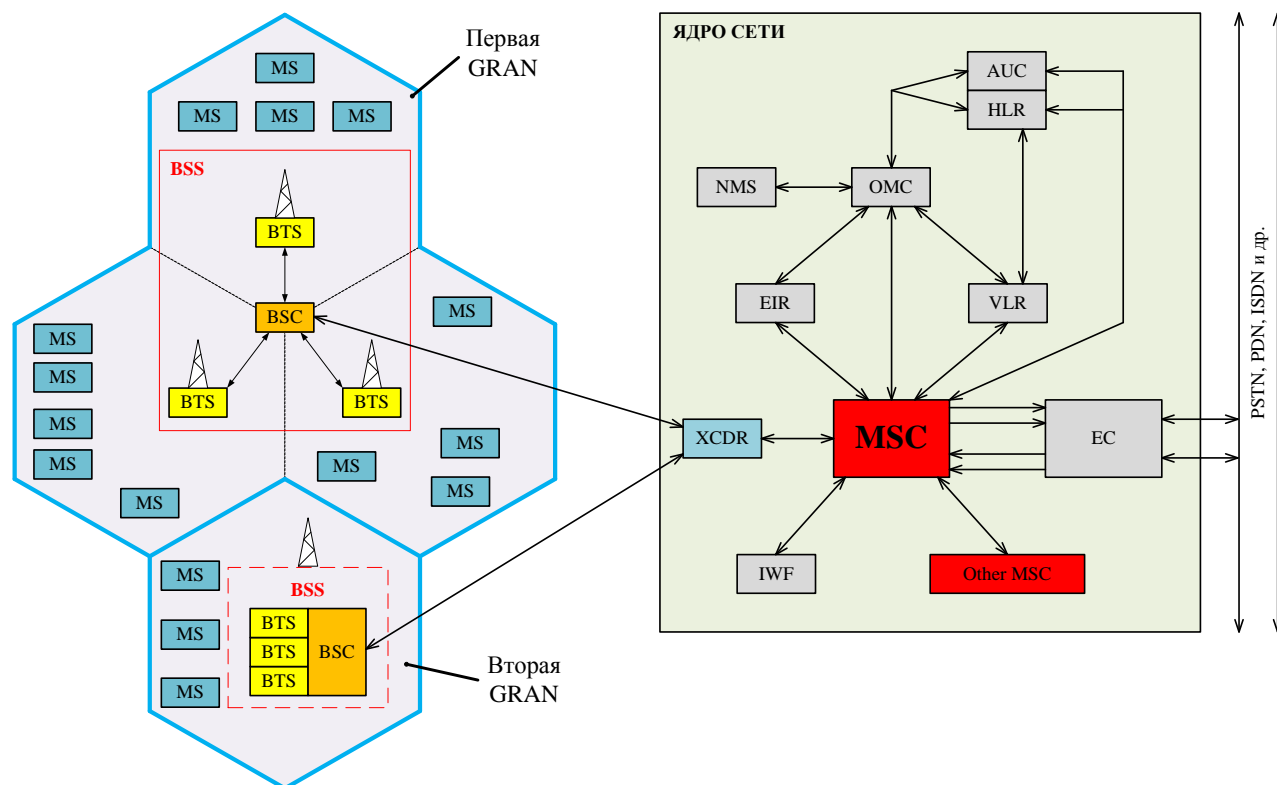


Рисунок 1.2 – Структурная схема сети подвижной связи второго поколения (*GSM*)

Сеть радиодоступа состоит из следующих элементов:

1 *MS (Mobile Station)* – мобильная станция) – состоит из оборудования, которое предназначено для организации доступа абонента к существующим сетям связи.

2 *BTS (Base Transceiver Station)* – базовая приемопередающая станция) – многоканальный приёмопередатчик, работающий на ряде радиоканалов, отличных от используемых в соседних ячейках (сотях), легко расширяемая конфигурация обеспечивает удовлетворение требования как к необходимой ёмкости связи, так и к экономичности.

3 *BSC (Base Station Controller* – контроллер базовой станции) – управляет процедурой «эстафетной передачи» (*handover*) между разными *BTS* (ячейками) сотовой сети, контролирует качество связи в каждой ячейке (*cote*), управляет одной или несколькими *BTS*.

4 *BSS (Base Station System* – система базовых станций) – обеспечивает радиоинтерфейс в одной или нескольких ячейках (*cotaх*) с находящимися в зоне их функционирования сотовыми телефонами. Возможные виды конфигурации *BSS*:

- размещённые вместе *BSC* и одна или несколько *BTS*;
- конструктивно объединённые *BTS* и *BSC*;
- разнесённые *BTS* и *BSC*.

В состав базовой (*опорной*) сети (*ядра*) входят:

1 *MSC (Mobile Services Switching Center* – центр коммутации с обслуживанием мобильных абонентов) – обеспечивает все виды соединений, а также регистрацию местоположения *MS*; управляет процедурами установления вызова и маршрутизации, процедурой «эстафетной передачи» (*handover*) между ячейками сотовой сети, относящимся к разным *BSS*; осуществляет сервисные функции сотовой сети (переадресация вызовов, запрет на входящие и исходящие вызовы, конференц-связь); формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи; обеспечивает интерфейс между сотовой сетью и фиксированными сетями (*PSTN, PDN, ISDN*).

2 *HLR (Home Location Register* – домашний регистр) – справочная база данных о постоянно прописанных в сети абонентах. Содержит опознавательные номера и текущие адреса, параметры подлинности и состав предоставляемых абонентам услуг связи, специальную информацию о маршрутизации.

3 *VLR (Visited Location Register* – гостевой регистр) – справочная база данных об абонентах, постоянно прописанных в зоне действия других *MSC*. Информация хранится только во время нахождения «чужого» абонента в зоне действия данной *MSC*.

4 *AUC (Authentisication Centre* – центр аутентификации) – обеспечивает процедуру аутентификации абонентов сотовой сети.

5 *EIR (Equipment Identity Register* – регистр идентификации оборудования) – содержит базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования абонентов (сотовых телефонов) и осуществления доступа абонентов в сеть.

6 *NMS (Network Management Center* – центр управления сетью) – контролирует, формирует и отображает информацию о состоянии сотовой сети, обеспечивает управление трафиком во всей сети.

7 *IWF (Inter Working Function and Modems* – контроллер межсетевых взаимодействий) – формирует информацию, необходимую для адаптации процесса взаимодействия сотовой сети с фиксированными сетями (*PSTN, PDN, ISDN*).

8 *EC (Echo Cancellor* – эхоподаватель) – необходим для всех речевых каналов связи с *PSTN*, построенной по двухпроводной схеме, вследствие присущих сотовой сети *GSM*, построенной по четырехпроводной схеме, задержек сигнала в тракте распространения, включая радиоканал.

9 *OMC (Operations and Maintenance Center* – центр управления и обслуживания) – центральный элемент сотовой сети, обеспечивающий контроль и управление другими компонентами сети и контроль качества её работы.

10 *XCDR (Speech Transcoder* – транскодер голосового сигнала) – обеспечивает преобразование выходных сигналов *MSC* (64 кбит/с) к виду, соответствующему стандарту радиointерфейса *GSM* (13 кбит/с), и обратное преобразование.

Существующие сети электросвязи:

- *PSTN* – коммутируемая телефонная сеть общего пользования;
- *PDN* – сеть пакетной передачи;
- *ISDN* – цифровая сеть с интеграцией услуг.

На рисунке 1.3 приведена структура сети подвижной связи четвёртого поколения (*LTE*).

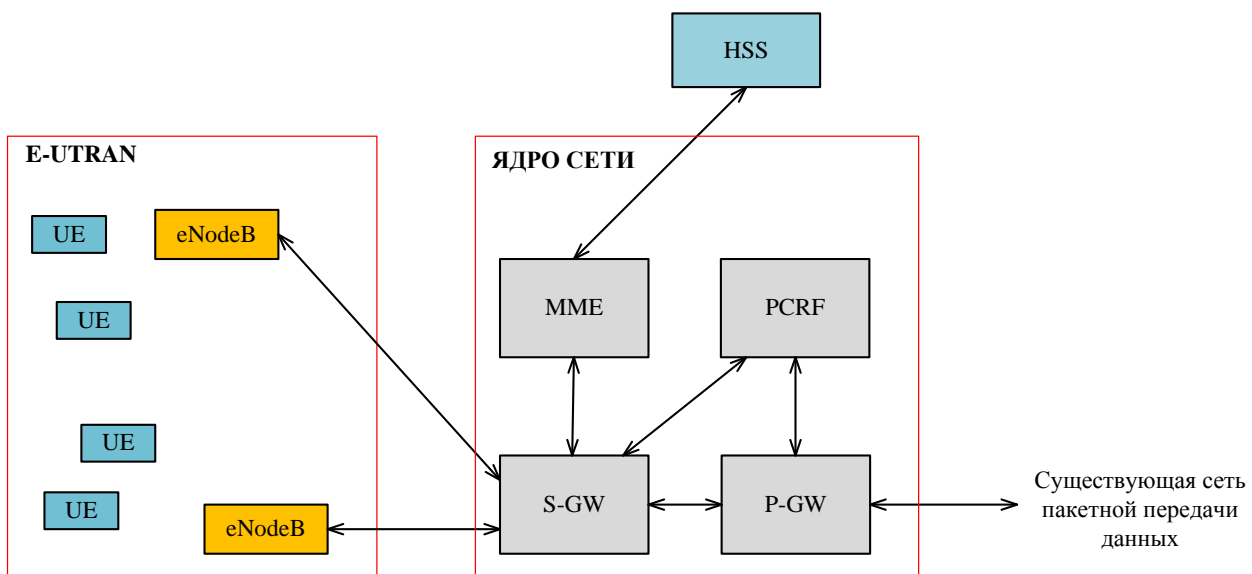


Рисунок 1.3 – Структурная схема сети подвижной связи четвёртого поколения (*LTE*)

Система подвижной связи четвёртого поколения также состоит из сети радиодоступа и базовой опорной сети.

В сеть радиодоступа входят:

- *UE (User Equipment)* – оборудование пользователя (смартфон, планшет модем и т. п.);
- *e-NodeB (Evolved Node Base Station)* – развитая узловая базовая станция.

Базовая (опорная) сеть (ядро) включает:

1 *HSS (Home Subscriber Server)* – сервер базы данных пользователей.

2 *MME (Mobility Management Entity)* – узел управления мобильностью пользователей. *MME* отвечает за *handover* (передачу обслуживания пользовательского устройства *UE* между базовыми станциями) и производит выбор *SGW* для *UE* при начальном подключении к сети. *MME* также отвечает за аутентификацию пользователя (при взаимодействии с сервером базы данных пользователей *HSS*), обеспечивает мобильность между сетями *LTE* и сетями *2G/3G*, вместе с домашним *HSS* осуществляет роуминг устройств *UE*.

3 *SGW (Serving Gateway)* – шлюз обслуживания. *SGW* предназначен для обработки и маршрутизации пакетов данных (при получении их от *UE*) и их отправки в базовые станции. Он также выполняет роль узла управления мобильностью (*mobility anchor*) для пользовательских данных при *handover* между базовыми станциями (*eNodeB*). Когда устройство *UE* не используется, *SGW* отключает нисходящий канал *DL* и производит периодический опрос присутствия *UE* в соте (пейджинг), если требуется передать данные на *UE*.

4 *PGW (Packet Network Gateway)* – шлюз пакетной сети. *PGW* обеспечивает соединение от *UE* к внешним пакетным сетям данных, являясь точкой входа и выхода трафика от опорной сети для *UE*. *PGW* выполняет функции защиты и фильтрации пакетов для каждого пользователя, биллинга сессий вызовов и передачи данных.

5 *PCRF (Policy and Charging Rules Function)* – узел установки политик тарификации. Он отслеживает поток услуг и устанавливает тарифную политику для каждой услуги и пользователя в зависимости от его тарифного плана.

2 Особенности организации физического канала и модуляции в сетях подвижной связи четвертого поколения

2.1 Рабочие диапазоны частот

В соответствии с группой спецификаций *3GPP* (*3GPP – 3rd Generation Partnership Project* – консорциум, разрабатывающий спецификации для подвижной связи; основное направление работы – разработка технических спецификаций и технических отчётов в области сетевых технологий и радиодоступа в мобильных системах) для работы сетей подвижной связи определены полосы частот, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Рабочие полосы частот сетей подвижной связи

Номер полосы частот	Рабочая полоса частот для восходящего канала BS (приём)/UE (передача), МГц	Рабочая полоса частот для нисходящего канала BS (передача)/UE (приём), МГц	Вид дуплексного разнеса
1	1920–1980	2110–2170	<i>FDD</i>
2	1850–1910	1930–1990	<i>FDD</i>
3	1710–1785	1805–1880	<i>FDD</i>
4	1710–1755	2110–2155	<i>FDD</i>
5	824–849	869–894	<i>FDD</i>
6	830–840	875–885	<i>FDD</i>
7	2500–2570	2620–2690	<i>FDD</i>
8	880–915	925–960	<i>FDD</i>
9	1749,9–1784,9	1844,9–1879,9	<i>FDD</i>
10	1710–1770	2110–2170	<i>FDD</i>
11	1427,9–1447,9	1475,9–1495,9	<i>FDD</i>
12	699–716	729–746	<i>FDD</i>
13	777–787	746–756	<i>FDD</i>
14	788–798	758–768	<i>FDD</i>
15	Резерв	Резерв	<i>FDD</i>
16	Резерв	Резерв	<i>FDD</i>
17	704–716	734–746	<i>FDD</i>
18	815–830	860–875	<i>FDD</i>
19	830–845	875–890	<i>FDD</i>
20	832–862	791–821	<i>FDD</i>
21	1447,9–1462,9	1495,9–1510,9	<i>FDD</i>
22	3410–3490	3510–3590	<i>FDD</i>
23	2000–2020	2180–2200	<i>FDD</i>
24	1626,5–1660,5	1525–1559	<i>FDD</i>
25	1850–1915	1930–1995	<i>FDD</i>
26	814–849	859–894	<i>FDD</i>
27	807–824	852–869	<i>FDD</i>
28	703–748	758–803	<i>FDD</i>
29	Не используется	717–728	<i>FDD</i>

Продолжение таблицы 2.1

Номер полосы частот	Рабочая полоса частот для восходящего канала BS (приём)/UE (передача), МГц	Рабочая полоса частот для нисходящего канала BS (передача)/UE (приём), МГц	Вид дуплексного разнеса
30	2305–2315	2350–2360	FDD
31	452,5–457,5	462,5–467,5	FDD
32	Не используется	1452–1496	FDD
33	1900–1920	1900–1920	TDD
34	2010–2025	2010–2025	TDD
35	1850–1910	1850–1910	TDD
36	1930–1990	1930–1990	TDD
37	1910–1930	1910–1930	TDD
38	2570–2620	2570–2620	TDD
39	1880–1920	1880–1920	TDD
40	2300–2400	2300–2400	TDD
41	2496–2690	2496–2690	TDD
42	3400–3600	3400–3600	TDD
43	3600–3800	3600–3800	TDD
44	703–803	703–803	TDD
45	1447–1467	1447–1467	TDD
46	5150–5925	5150–5925	TDD
47	5855–5925	5855–5925	TDD
48	3550–3700	3550–3700	TDD
49	3550–3700	3550–3700	TDD
50	1432–1517	1432–1517	TDD
51	1427–1432	1427–1432	TDD
52	3300–3400	3300–3400	TDD
53	2483,5–2495	2483,5–2495	TDD
65	1920–2010	2110–2200	FDD
66	1710–1780	2110–2200	FDD
67	Не используется	738–758	FDD
68	698–728	753–783	FDD
69	Не используется	2570–2620	FDD
70	1695–1710	1995–2020	FDD
71	663–698	617–652	FDD
72	451–456	461–466	FDD
73	450–455	460–465	FDD
74	1427–1470	1475–1518	FDD
75	Не используется	1432–1517	FDD
76	Не используется	1427–1432	FDD
85	698–716	728–746	FDD
87	410–415	420–425	FDD
88	412–417	422–427	FDD
103	787–788	757–758	FDD

Выбор конкретной рабочей полосы частот определяется требованиями национальных и региональных органов, отвечающих за управление использованием радиочастотного спектра. В Республике Беларусь операторам сетей подвижной связи выделены каналы 3, 7 и 20.

2.2 Ширина полосы частот и её конфигурации

В настоящее время определены шесть конфигураций полосы частот, разрешённые для использования в сетях подвижной связи четвёртого поколения в зависимости от их ёмкости. Данные конфигурации приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Возможные конфигурации радиоканала

Ширина полосы частот радиоканала $BW_{Channel}$, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Конфигурация радиоканала (число ресурсных блоков N_{RB})	6	15	25	50	75	100

На рисунке 2.1 приведено условное изображение, показывающее основные частотные определения в радиоканале сети подвижной связи четвёртого поколения.

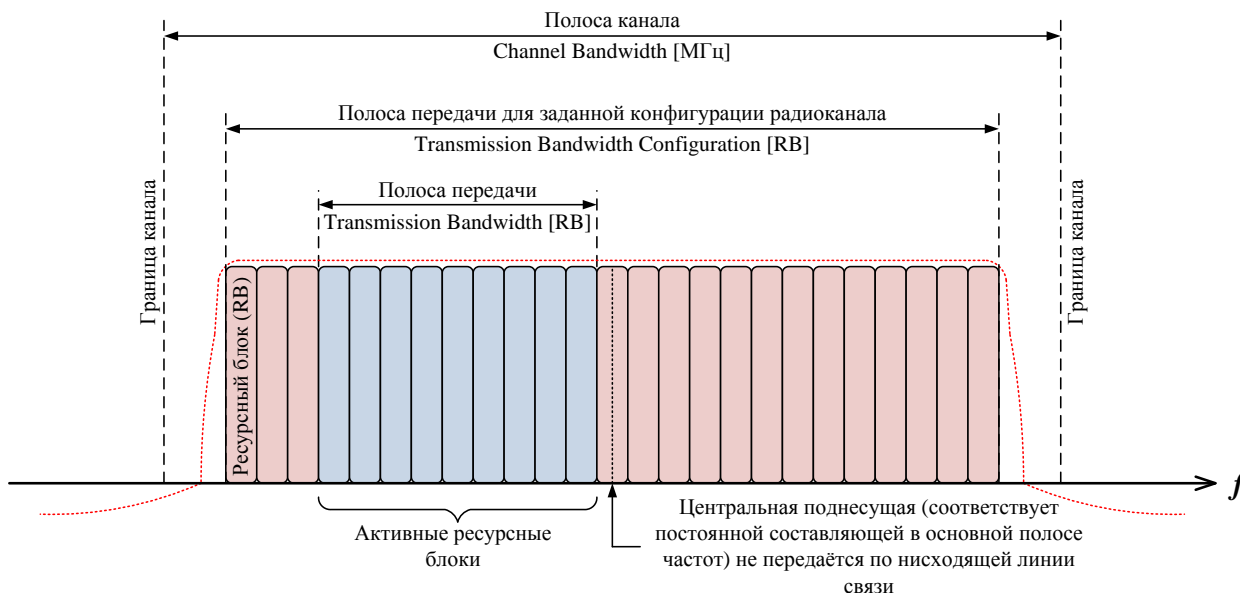


Рисунок 2.1 – Радиоканал системы подвижной связи четвёртого поколения в частотной области

Несущие (центральные частоты) радиоканалов сетей подвижной связи четвёртого поколения выбираются в соответствии с сеткой частот, имеющей шаг 100 кГц, и уникальным номером радиоканала в соответствии с данными, приведёнными в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Нумерация радиоканалов в сетях подвижной связи четвёртого поколения

Номер полосы частот	Нисходящий канал			Восходящий канал		
	нижняя граница «первого» радиоканала	абсолютный номер радиоканала	диапазон абсолютных номеров	нижняя граница «первого» радиоканала	абсолютный номер радиоканала	диапазон абсолютных номеров
1	2110	0	0–599	1920	18000	18000–18599
2	1930	600	600–1199	1850	18600	18600–19199
3	1805	1200	1200–1949	1710	19200	19200–19949
4	2110	1950	1950–2399	1710	19950	19950–20399
5	869	2400	2400–2649	824	20400	20400–20649
6	875	2650	2650–2749	830	20650	20650–20749
7	2620	2750	2750–3449	2500	20750	20750–21449
8	925	3450	3450–3799	880	21450	21450–21799
9	1844,9	3800	3800–4149	1749,9	21800	21800–22149
10	2110	4150	4150–4749	1710	22150	22150–22749
11	1475,9	4750	4750–4949	1427,9	22750	22750–22949
12	729	5010	5010–5179	699	23010	23010–23179
13	746	5180	5180–5279	777	23180	23180–23279
14	758	5280	5280–5379	788	23280	23280–23379
17	734	5730	5730–5849	704	23730	23730–23849
18	860	5850	5850–5999	815	23850	23850–23999
19	875	6000	6000–6149	830	24000	24000–24149
20	791	6150	6150–6449	832	24150	24150–24449
21	1495,9	6450	6450–6599	1447,9	24450	24450–24599
22	3510	6600	6600–7399	3410	24600	24600–25399
23	2180	7500	7500–7699	2000	25500	25500–25699
24	1525	7700	7700–8039	1626,5	25700	25700–26039
25	1930	8040	8040–8689	1850	26040	26040–26689
26	859	8690	8690–9039	814	26690	26690–27039
27	852	9040	9040–9209	807	27040	27040–27209
28	758	9210	9210–9659	703	27210	27210–27659
29	717	9660	9660–9769	Не используется		
30	2350	9770	9770–9869	2305	27660	27660–27759
31	462,5	9870	9870–9919	452,5	27760	27760–27809
32	1452	9920	9920–10359	Не используется		
33	1900	36000	36000–36199	1900	36000	36000–36199

Продолжение таблицы 2.3

Номер полосы частот	Нисходящий канал			Восходящий канал		
	нижняя граница «первого» радиоканала	абсолютный номер радиоканала	диапазон абсолютных номеров	нижняя граница «первого» радиоканала	абсолютный номер радиоканала	диапазон абсолютных номеров
34	2010	36200	36200–36349	2010	36200	36200–36349
35	1850	36350	36350–36949	1850	36350	36350–36949
36	1930	36950	36950–37549	1930	36950	36950–37549
37	1910	37550	37550–37749	1910	37550	37550–37749
38	2570	37750	37750–38249	2570	37750	37750–38249
39	1880	38250	38250–38649	1880	38250	38250–38649
40	2300	38650	38650–39649	2300	38650	38650–39649
41	2496	39650	39650–41589	2496	39650	39650–41589
42	3400	41590	41590–43589	3400	41590	41590–43589
43	3600	43590	43590–45589	3600	43590	43590–45589
44	703	45590	45590–46589	703	45590	45590–46589
45	1447	46590	46590–46789	1447	46590	46590–46789
46	5150	46790	46790–54539	5150	46790	46790–54539
47	5855	54540	54540–55239	5855	54540	54540–55239
48	3550	55240	55240–56739	3550	55240	55240–56739
49	3553	56740	56740–58239	3550	56740	56740–58239
50	1432	58240	58240–59089	1432	58240	58240–59089
51	1427	59090	59090–59139	1427	59090	59090–59139
52	3300	59140	59140–60139	3300	59140	59140–60139
53	2483,5	60140	60140–60254	2483,5	60140	60140–60254
65	2110	65536	65536–66435	1920	131072	131072–131971
66	2110	66436	66436–67335	1710	131972	131972–132671
67	738	67336	67336–67535	Не используется		
68	753	67536	67536–67835	698	132672	132672–132971
69	2570	67836	67836–68335	Не используется		
70	1995	68336	68336–68585	1695	132972	132972–133121
71	617	68586	68586–68935	663	133122	133122–133471
72	461	68936	68936–68985	451	133472	133472–133521
73	460	68986	68986–69035	450	133522	133522–133571
74	1475	69036	69036–69465	1427	133572	133572–134001
75	1432	69466	69466–70315	Не используется		
76	1427	70316	70316–70365	Не используется		
85	728	70366	70366–70545	698	134002	134002–134181
87	420	70546	70546–70595	410	134182	134182–134231
88	422	70596	70596–70645	412	134232	134232–134281
103	757	70646	70646–70655	787	134282	134282–134291

Верхняя граница полосы занимаемых частот определяется количеством используемых ресурсных блоков и параметров модуляции *OFDM*-сигналов, применяемой в сетях подвижной связи четвертого поколения.

2.3 Основы множественного доступа *OFDM*

Передача информации между базовой станцией и оборудованием пользователя (нисходящий канал) осуществляется с использованием модуляции *OFDM* (от англ. *Orthogonal frequency-division multiplexing* – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов). Данный вид модуляции является сложным типом цифровой модуляции сигналов, в которой используется большое число ортогональных гармонических поднесущих, расположенных с равными интервалами по частоте. В качестве модулирующего сигнала для поднесущей может быть использован любой другой вид модуляции например, квадратурная амплитудная модуляция с низкой символьной скоростью передачи данных. При этом сохраняется общая скорость передачи данных, как при использовании одной несущей частоты при такой же полосе канала.

Технология *OFDM* основана на использовании нескольких узкополосных поднесущих, распределённых по широкой полосе радиоканала с равными интервалами. Минимальное расстояние между поднесущими по частоте, при котором они не будут оказывать влияние друг на друга, обеспечивается ортогональностью сигналов при разнице частот $\Delta f = 1/T_s$, где T_s – длительность одного символа. При работе всех модуляторов синхронно с одной символьной скоростью на разных частотах условие ортогональности выполняется, поэтому уровень межсимвольных помех минимальный (рисунок 2.2).

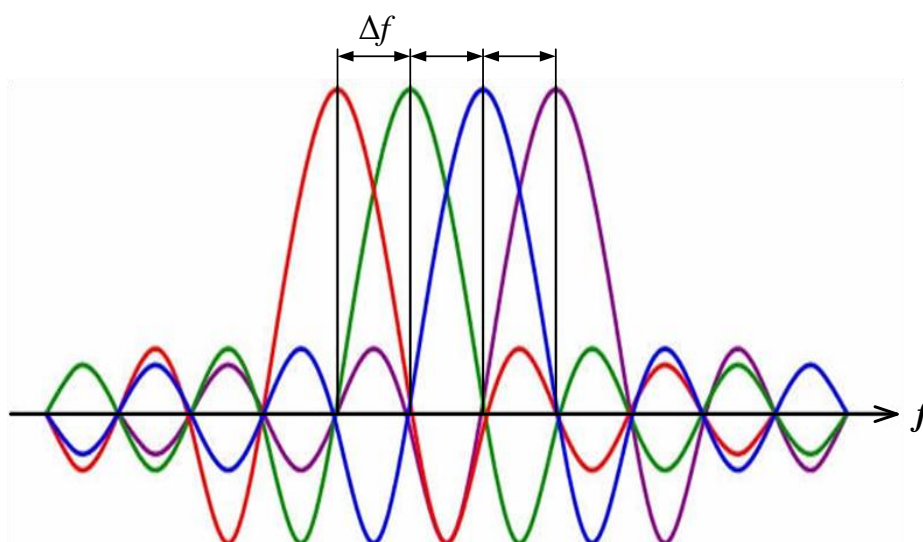


Рисунок 2.2 – Расположение поднесущих *OFDM*-сигнала

Информационный поток данных распараллеливается. Каждый распараллеленный поток формирует комплексную огибающую одной поднесущей в соответствии с выбранной схемой модуляции. Процесс модуляции символов данных и их объединения эквивалентен операции обратного преобразования Фурье. Это приводит к получению символа *OFDM* длительностью T_s , который называется полезной длиной символа. В приёмнике обратная операция применяется к *OFDM*-символу для извлечения потока данных, что эквивалентно быстрому преобразованию Фурье. Структуры устройств формирования и обработки *OFDM*-сигналов показаны на рисунках 2.3 и 2.4 соответственно.

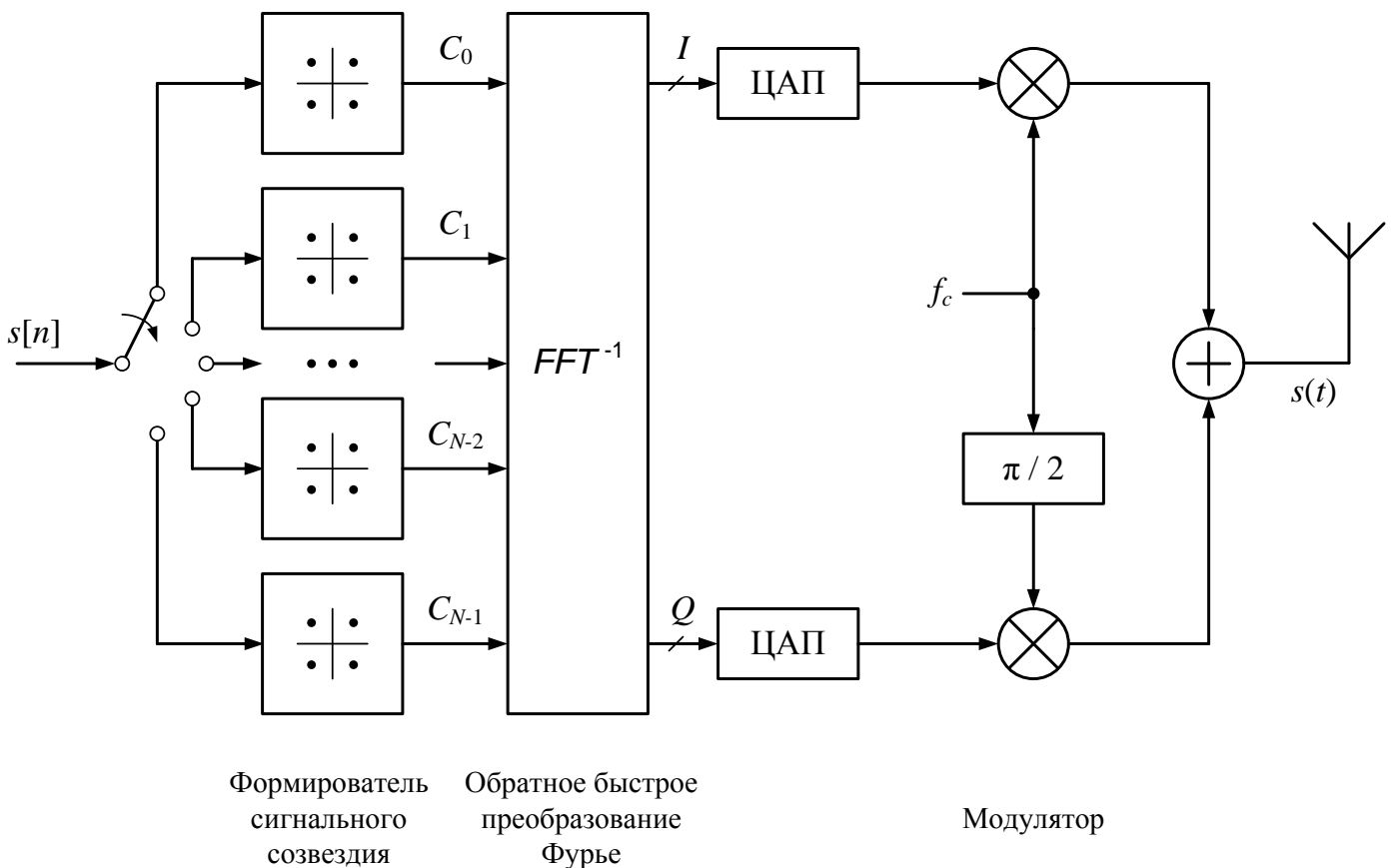


Рисунок 2.3 – Структурная схема формирователя *OFDM*-сигнала

Входной поток информационных символов $s[n]$ распараллеливается на N каналов, где N равно количеству поднесущих, и подаётся на формирователи сигнального созвездия для каждой поднесущей. Формирователи сигнального созвездия формируют амплитуду и фазу каждой поднесущей (действительную и мнимую составляющие, Re и Im или I - и Q -каналы). Сигнал с каждого формирователя подаётся на блок обратного быстрого преобразования Фурье, который по факту заменяет набор из N квадратурных модуляторов. Следует отметить, что если на вход блока быстрого преобразования Фурье поступает набор

из N комплексных чисел, то на выходе блока также получается набор из N комплексных чисел, только разделённых на действительную и мнимую части.

Сигналы действительной и мнимой частей подаются на входы блоков цифроаналогового преобразования и далее поступают на квадратурный модулятор. На выходе модулятора мы получаем непрерывный сигнал $s(t)$.

Демодулятор сигнала осуществляет аналогичные действия, только в обратном порядке. Структура устройства обработки *OFDM*-сигнала показана на рисунке 2.4.

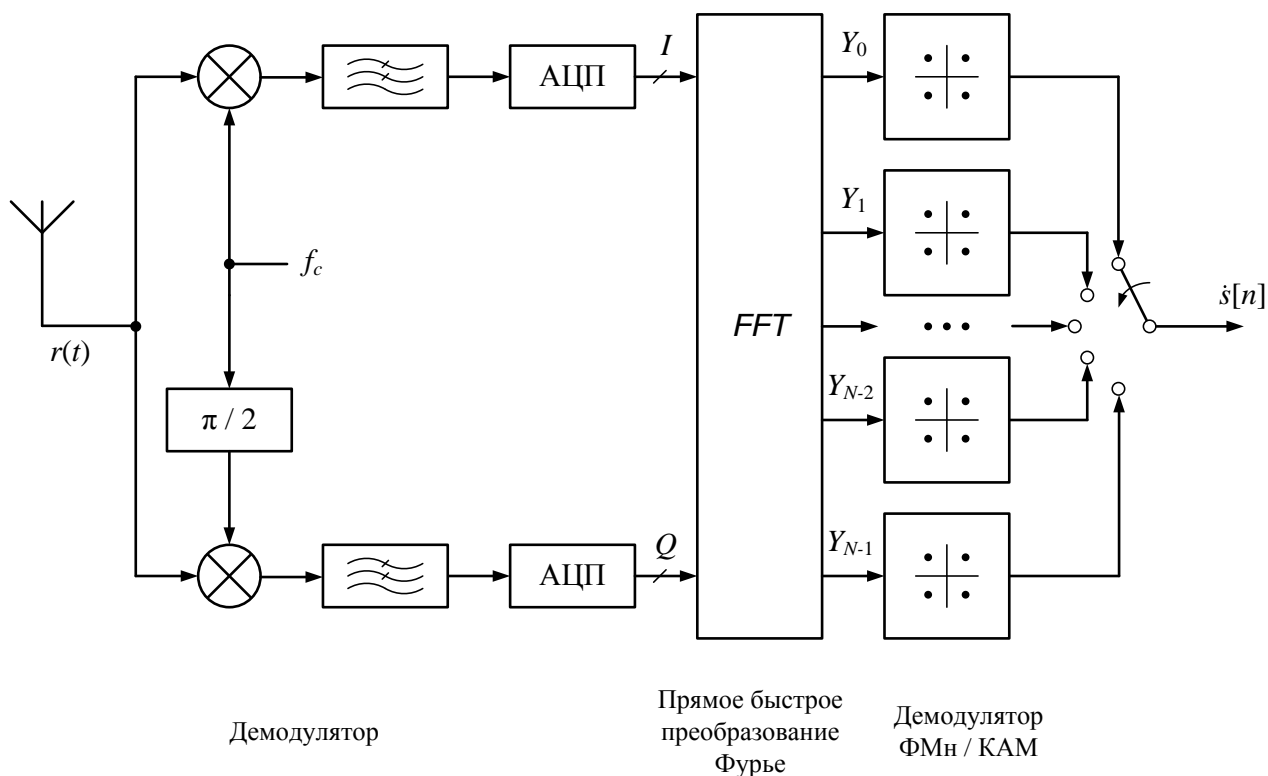


Рисунок 2.4 – Схема демодулятора *OFDM*

Квадратурный демодулятор преобразует высокочастотный вещественный сигнал в комплексную огибающую (с нулевой несущей частотой), которая подаётся на блок прямого быстрого преобразования Фурье после процедуры аналого-цифрового преобразования.

На выходе блока быстрого преобразования Фурье формируется множество каналов, каждый канал даёт комплексный коэффициент Y , который определяет амплитуду и фазу принятой конкретной поднесущей $Y = I + jQ$. Квадратурные составляющие I и Q поступают на блоки фазовых или КАМ-демодуляторов. Каждый демодулятор на выходе формирует принятый символ. Затем символы посредством параллельно-последовательного преобразования выстраиваются в выходной поток бит $\hat{s}[n]$.

Основным преимуществом использования *OFDM* является устойчивость к межсимвольной интерференции и частотно-селективным замираниям, вызванным многолучёвостью распространения сигнала.

Мобильный канал распространения обычно является дисперсионным по времени с различными временными задержками. Это приводит, по крайней мере, к частичной потере ортогональности между поднесущими. Результатом является межсимвольная интерференция не только внутри поднесущей, но и между поднесущими. Влияние межсимвольной интерференции усиливается с увеличением скорости передачи данных, при которой длительность символа становится соизмеримой с разницей времени прихода лучей.

В случае *OFDM* длительность информационного символа увеличивается пропорционально количеству поднесущих N , что в конечном итоге снижает влияние межсимвольной интерференции в результате многолучёвости распространения радиоволн. При этом при приёме остаётся область, где может произойти наложение двух символов. Чтобы предотвратить наложение символов и уменьшить влияние межсимвольных помех, между информационными символами вводят защитный интервал времени в начале символа *OFDM*.

Длительность защитного интервала должна превышать длительность интервала времени межсимвольной интерференции. Как правило, длительность защитного интервала времени может составлять 1/4, 1/8, 1/16 или 1/32 от длительности символа. Если в качестве защитного интервала использовать паузу в передаче, то в точке пространства, где располагается приёмник, будет осуществлён приём сигналов от нескольких лучей, которые будут иметь одну и ту же частоту, но при этом различные фазы. В этом случае гармонический сигнал будет иметь разрыв фаз, что плохо. При демодуляции сигнал с разрывом фаз не будет ортогонален другим поднесущим.

Для устранения данного возможного разрыва фаз в качестве защитного интервала используют циклический префикс (*CP*, или *Cyclic Prefix*), который добавляется в начало символа *OFDM* и представляет собой дублирование части конца символа. При этом стоит понимать, что добавление в начало символа циклического префикса есть не что иное, как увеличение длительности символа. В этом случае общая длина одного символа становится равной $T_{OFDM} = T_s + T_{CP}$.

При использовании циклического префикса не происходит нарушения ортогональности при сдвиге по времени участка обработки в пределах длительности символа. Это делает символ *OFDM* нечувствительным к временной дисперсии.

Частотно-селективные замирания могут происходить в случае прихода на приёмник сигналов от нескольких лучей в противофазе на определённых поднесущих. В случае снижения уровня сигнала для некоторого участка частот на

незначительную величину можно произвести его выравнивание за счёт эквалайзера – фильтра, входящего в состав приёмника, который на нужной частоте будет иметь подъём АЧХ. При значительных провалах в уровне сигнала на определённых частотах вытягивать сигнал из помех может быть нецелесообразно. В этом случае часть повреждённого спектра *OFDM*-сигнала можно отбросить. Аналогично можно поступить при наличии частотно-селективной помехи на входе приёмника (рисунок 2.5).

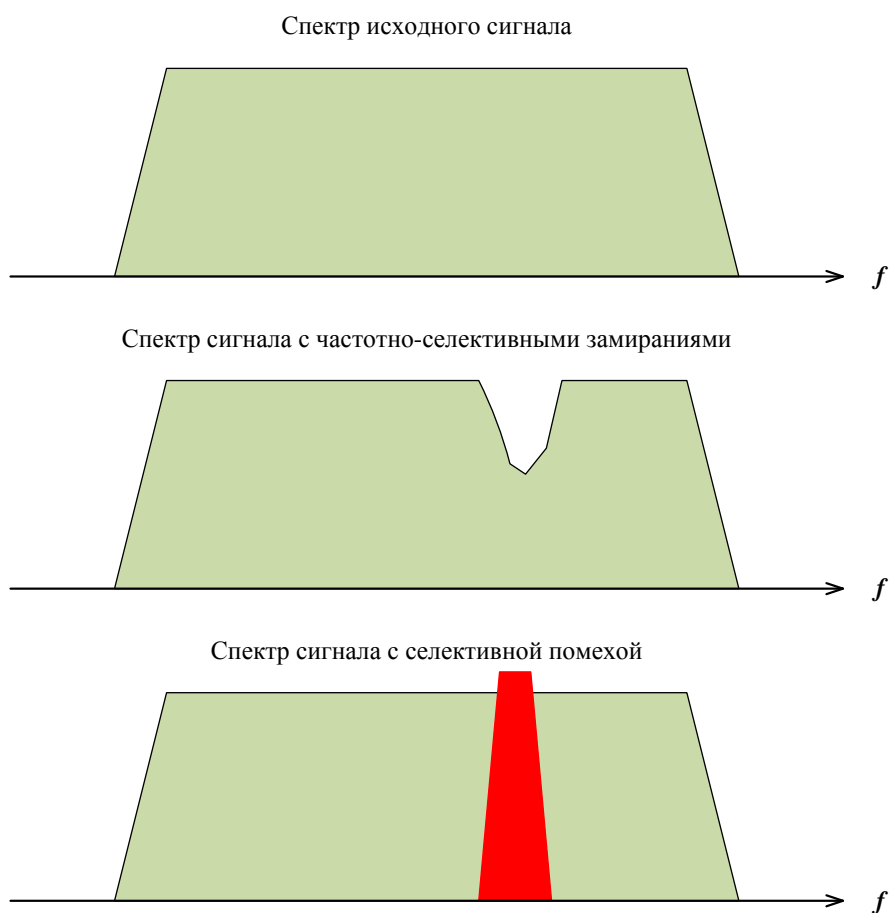


Рисунок 2.5 – Спектры сигнала с наличием частотно-селективных замираний и селективной помехой

После исключения поврежденных участков спектра остаются только те поднесущие, которые можно в дальнейшем демодулировать. При отбрасывании части спектра происходит также и потеря полезной информации. Для её восстановления используют помехоустойчивое кодирование.

2.4 Каналы передачи данных в сетях LTE

Всю информацию, передаваемую при помощи радиointерфейса, можно разделить на служебную, которая транслируется по различным каналам управления, и на пользовательские данные канала (*Physical Downlink Shared Channel, PDSCH*).

Сети подвижной связи четвёртого поколения, как правило, используют две структуры кадра, первая из которых предназначена для использования в сетях с организацией дуплексного канала в частотной области (*FDD*), а вторая для сетей с организацией дуплексного канала во временной области (*TDD*).

Рассмотрим более подробно структуру кадра первого типа и соотношение между пользовательскими и служебными ресурсами.

На рисунке 2.6 приведена структура кадра LTE в режиме *FDD* и обозначены физические каналы LTE.

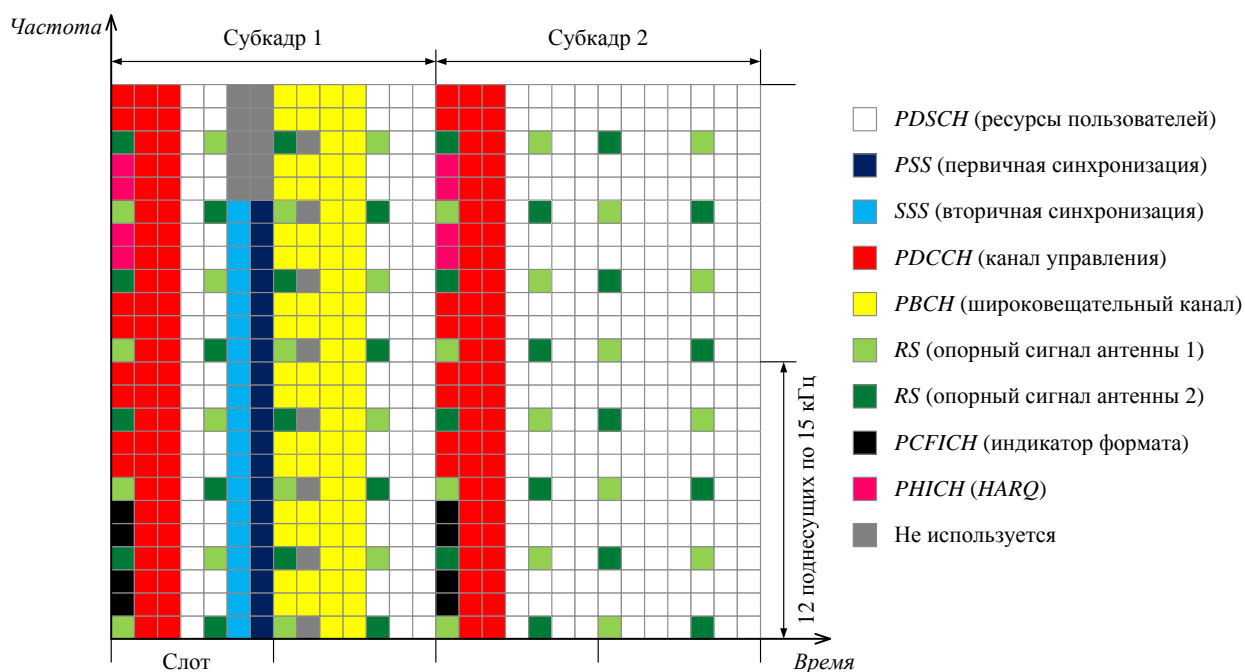


Рисунок 2.6 – Структура кадра LTE в режиме *FDD*

FDD-кадр LTE состоит из десяти субкадров по 1 мс ($NSRF = 10$). Каждый субкадр состоит из двух слотов, внутри которых может быть в зависимости от времени распространения (радиуса соты) либо 6, либо 7 *OFDM*-символов или ресурсных элементов (РЭ).

Для синхронизации абонентов с сетью в первом субкадре каждого кадра по каналам первичной и вторичной синхронизации (*PSS* и *SSS*) передаются спе-

циальные последовательности. Они занимают 72 поднесущих (с учётом неиспользуемых ресурсных элементов по краям диапазона) – 72 OFDM-символа.

В таблице 2.4 приведено описание физических каналов управления с указанием объёма затрачиваемых на них частотно-временных ресурсов. NRB – количество ресурсных блоков (элементов).

Таблица 2.4 – Назначение основных каналов управления

Физические каналы в нисходящем направлении	Назначение	Объём затрачиваемых частотно-временных ресурсов, РЭ/кадр
<i>PSS – Primary Synchronization Channel</i>	Определение физического идентификатора соты	72
<i>SSS – Secondary Synchronization Channel</i>	Определение номера группы идентификатора соты	72
<i>PBCH – Physical Broadcast Channel</i>	В этом канале передаётся информация о ширине занимаемой полосы, номер кадра, а также конфигурация <i>PHICH</i>	$72 \cdot 4 = 288$
<i>PDCCH – Physical Downlink Control Channel</i>	Основной канал служебной информации. По нему передаётся основная часть системной информации, данные о распределении ресурсов нисходящего и восходящего каналов между абонентами и т. д.	От $NSRF \cdot NRB \cdot 12$ (min) – <i>NPCFICH – NPHICH</i> до $NSRF \cdot NRB \cdot 12 \cdot 3$ (max) – <i>NPCFICH – NPHICH</i>
<i>RS – Reference Signal</i>	Пилот-сигнал. При использовании <i>MIMO</i> каждая антенна передаёт свои пилот-сигналы	$NSFR \cdot NRB \cdot 4 \cdot NMIMO$
<i>PCFICH – Physical Control Format Indicator Channel</i>	Указывает, сколько OFDM-символов занимает <i>PDCCH</i> (от 1 до 3)	12
<i>PHICH – Physical HARQ Indicator Channel</i>	Передаёт информацию <i>HARQ</i>	12

2.5 Структура кадра LTE

Кадр (*Frame*) – фрагмент данных протокола канального уровня модели OSI, передаваемый по линии связи. Канальный уровень (*Data Link Layer*), или уровень передачи данных, – второй уровень сетевой модели OSI, предназначенный для передачи данных узлам, находящимся в том же сегменте сети. Также может использоваться для обнаружения и, возможно, исправления ошибок, возникших на физическом уровне.

Каждый радиокадр имеет длительность 10 мс и состоит из 10 субкадров длительностью 1 мс. Каждый субкадр имеет индивидуальный номер, представляющий сумму $10n_f + i$, где n_f – номер текущего кадра, i – номер субкадра в текущем кадре. В свою очередь субкадр с номером i состоит из чётного и нечётного временного слота с номерами $2i$ и $2i + 1$.

Таким образом, каждый интервал времени, равный 10 мс, представляется 10 субкадрами и 20 временными слотами (рисунок 2.7).

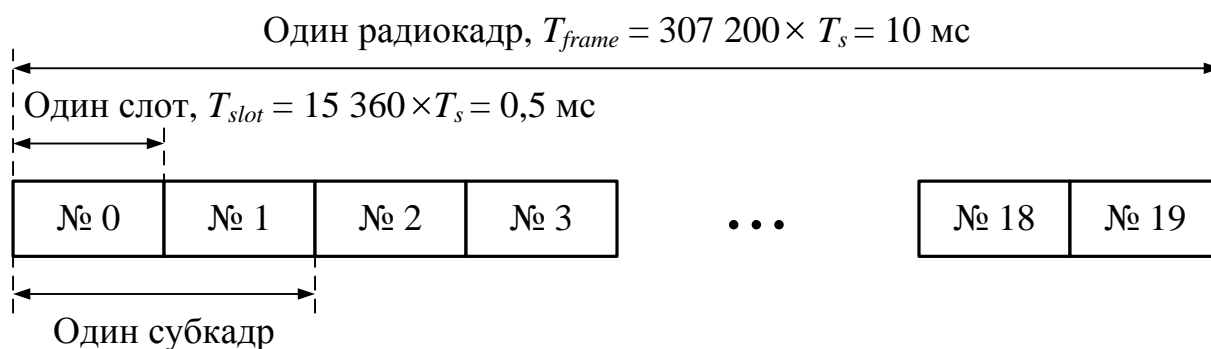


Рисунок 2.7 – Структура кадра в сети подвижной связи четвёртого поколения (T_s – базовый (опорный) временной интервал)

Передаваемый сигнал в каждом временном слоте распределяется по элементам ресурсной сетки (ресурсными элементами), имеющей следующий размер:

количество ресурсных блоков × количество поднесущих частот, составляющих один ресурсный блок × количество OFDM-символов, используемых для передачи одного временного слота.

Схематически ресурсная сетка представлена на рисунке 2.8.

Разрешённые параметры физического ресурсного блока приведены в таблице 2.5. Распределение OFDM-символов в структуре кадра представлено на рисунке 2.9.

Один временной слот нисходящего канала

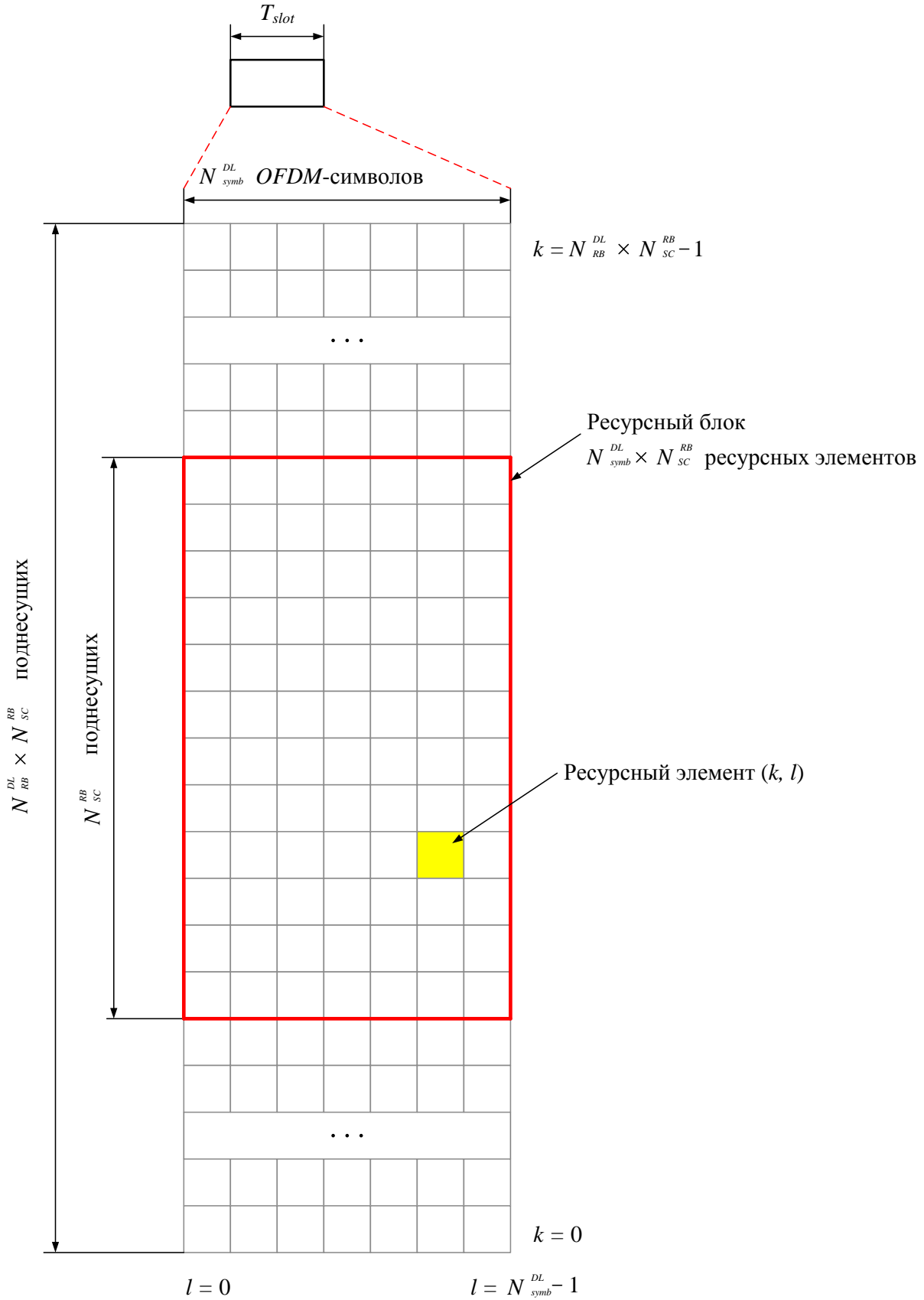


Рисунок 2.8 – Ресурсная сетка, используемая при формировании радиоканала сетей подвижной связи четвёртого поколения

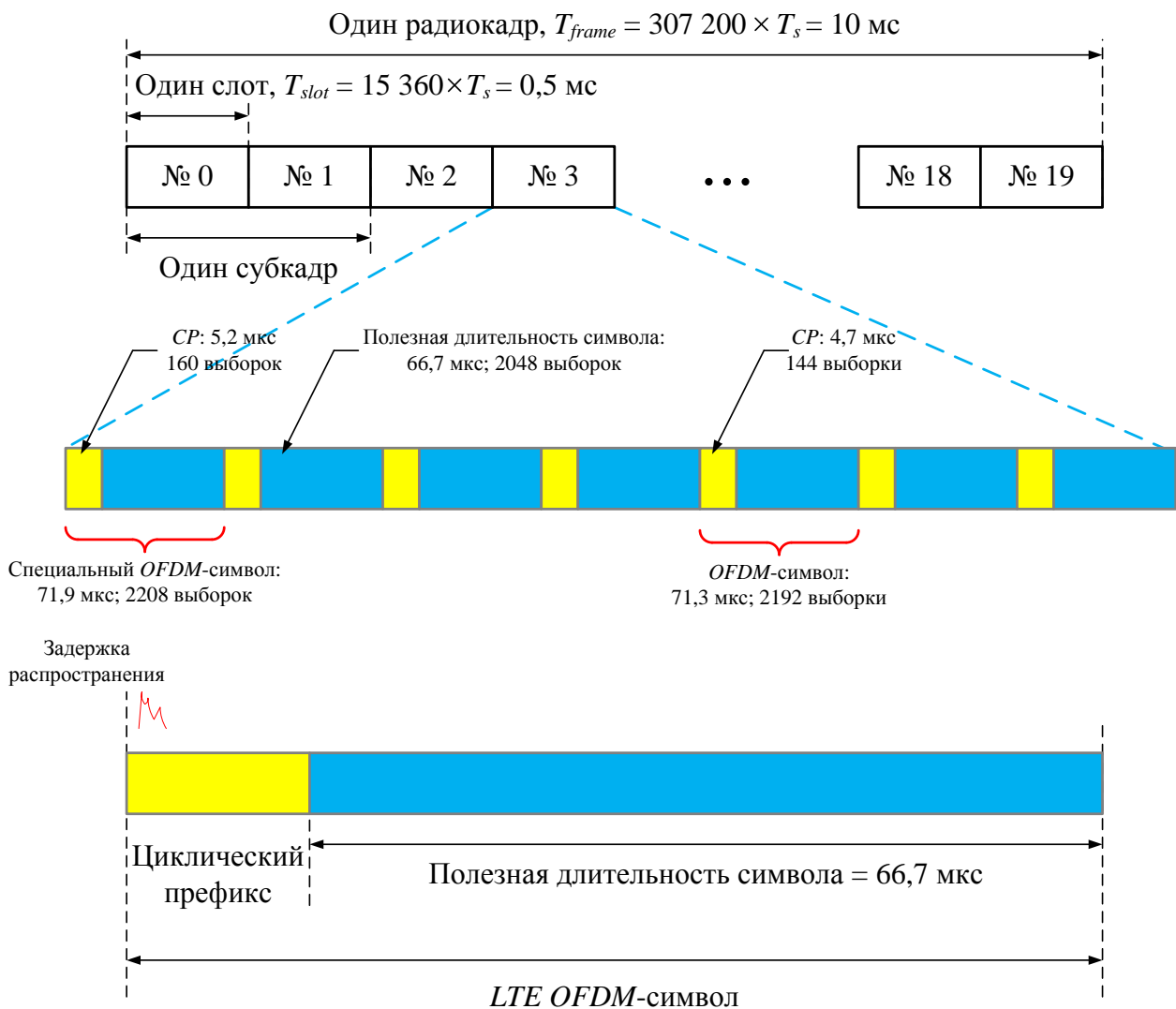


Рисунок 2.9 – Распределение OFDM-символов в структуре кадра (значения приведены для нормального циклического префикса и $\Delta f = 15 \text{ кГц}$)

Длительность основной части OFDM-символа составляет $1/\Delta f = 66,7 \text{ мкс}$. В каждом слоте (0,5 мс) передают шесть или семь OFDM-символов в зависимости от длительности циклического префикса (*Cyclic Prefix*, CP). Длительность циклического префикса равна $T_{CP} = 160 \cdot T_s = 5,2 \text{ мкс}$ перед первым символом и $T_{CP} = 144 \cdot T_s = 4,7 \text{ мкс}$ перед остальными символами. Также есть возможность использования расширенного циклического префикса длительностью $T_{CP} = 512 \cdot T_s = 16,7 \text{ мкс}$. В этом случае в одном слоте передаются шесть OFDM-символов.

Таблица 2.5 – Параметры ресурсного блока

Конфигурация ресурсного блока	Расстояние между поднесущими Δf , кГц	Число поднесущих в ресурсном блоке	Число <i>OFDM</i> -символов в ресурсном блоке
Нормальный циклический префикс	15	12	7
Расширенный циклический префикс	15	12	6
	7,5	24	3
	2,5	72	1
	1,25	144	1
	$\approx 0,37$	486	1

Циклический префикс – необходимый элемент при организации *OFDM*, обеспечивающий ортогональность поднесущих при наличии ошибки временной синхронизации *OFDM*-символов при их демодуляции. Циклический префикс представляет собой последовательность информационных символов определённой длины, скопированную из конца всей совокупности информационных символов, приходящихся на данный *OFDM*-символ, и вставленную в её начало. Данная процедура ввиду периодичности дискретного преобразования Фурье позволяет нивелировать неточность начала данного преобразования относительно *OFDM*-символа при его демодуляции. Длительность циклического префикса должна превосходить возможные ошибки временной синхронизации.

Чтобы обеспечить когерентную демодуляцию, опорные символы (или пилотные символы) вставляются в частотно-временную сетку *OFDM* для обеспечения оценки канала. Опорные символы нисходящей линии связи вставляются в первый и пятый символ *OFDM* каждого слота с интервалом в частотной области в шесть поднесущих (это соответствует пятому и четвёртому *OFDM*-символам слота в случае обычного и расширенного циклического префикса соответственно). Кроме того, существует смещение в частотной области на три поднесущих между первым и вторым опорными символами. Таким образом, в каждом блоке ресурсов имеется четыре опорных символа (рисунок 2.10). Приёмное оборудование будет выполнять интерполяцию по нескольким опорным символам для оценки канала.

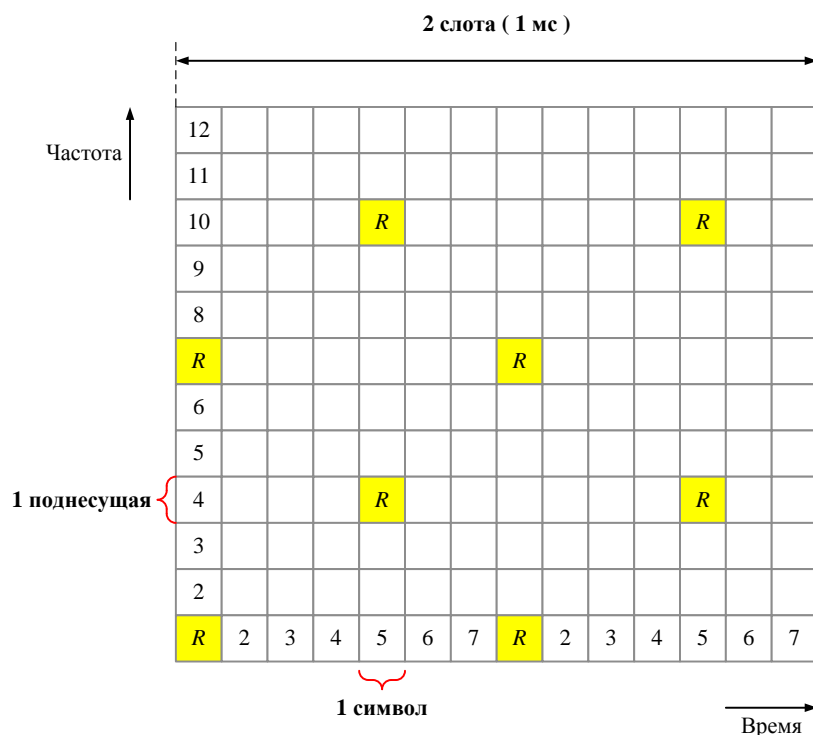


Рисунок 2.10 – Распределение опорных символов в субкадре

Основные параметры физического уровня систем подвижной связи четвёртого поколения приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные параметры физического уровня

Параметр	Ширина полосы частот радиоканала, МГц					
	1,25	2,5	5	10	15	20
Длительность кадра, мс	10					
Длительность субкадра, мс	1					
Длительность временного слота, мс	0,5					
Расстояние между поднесущими, кГц	15					
Частота дискретизации ДПФ, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72
Объём ДПФ, точек	128	256	512	1024	1536	2048
Количество поднесущих, используемых для модуляции	76	151	301	601	901	1201
Количество поднесущих, формирующих защитный интервал	52	105	211	423	635	847
Количество ресурсных блоков	6	12	25	50	75	100
Занимаемая полоса частот, МГц	1,14	2,265	4,515	9,015	13,515	18,015

Продолжение таблицы 2.6

Параметр	Ширина полосы частот радиоканала, МГц					
	1,25	2,5	5	10	15	20
Спектральная эффективность нисходящего канала, %	77,1	90	90	90	90	90
Количество <i>OFDM</i> -символов во временном слоте	7/6 (короткий/длинный циклический префикс)					
Длительность короткого циклического префикса, мкс	5,2/4,69 (первый/последующие <i>OFDM</i> -символы во временном слоте)					
Длительность длинного циклического префикса, мкс	16,67					

2.6 Схема модуляции поднесущих

Спецификациями *3GPP* предусмотрено множество схем модуляции поднесущих частот, составляющих *OFDM*-символ:

- *BPSK* – бинарная фазовая манипуляция;
- *QPSK* – квадратурная фазовая манипуляция;
- *16QAM* – 16-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция (модуляция);
- *64QAM* – 64-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция;
- *256QAM* – 256-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция;
- *1024QAM* – 1024-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция.

Вне зависимости от используемой схемы модуляции набор двоичных символов преобразуется в комплексное число, которое затем используется в качестве комплексной амплитуды конкретной поднесущей частоты *OFDM*-символа. Схемы кодирования комплексных амплитуд для различных типов модуляции поднесущих приведены в таблицах 2.7–2.11.

Таблица 2.7 – Кодирование комплексных амплитуд при *BPSK*-модуляции

Передаваемый бит $b(i)$	Канал I	Канал Q
0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
1	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$

Таблица 2.8 – Кодирование комплексных амплитуд при QPSK-модуляции

Передаваемые биты $b(i), b(i+1)$	Канал I	Канал Q
00	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
11	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$
10	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
01	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$

Таблица 2.9 – Кодирование комплексных амплитуд при 16QAM-модуляции

Передаваемые биты $b(i), b(i+1), b(i+2), b(i+3)$	Канал I	Канал Q
0000	$1/\sqrt{10}$	$1/\sqrt{10}$
0001	$1/\sqrt{10}$	$3/\sqrt{10}$
0010	$3/\sqrt{10}$	$1/\sqrt{10}$
0011	$3/\sqrt{10}$	$3/\sqrt{10}$
0100	$1/\sqrt{10}$	$-1/\sqrt{10}$
0101	$1/\sqrt{10}$	$-3/\sqrt{10}$
0110	$3/\sqrt{10}$	$-1/\sqrt{10}$
0111	$3/\sqrt{10}$	$-3/\sqrt{10}$
1000	$-1/\sqrt{10}$	$1/\sqrt{10}$
1001	$-1/\sqrt{10}$	$3/\sqrt{10}$
1010	$-3/\sqrt{10}$	$1/\sqrt{10}$
1011	$-3/\sqrt{10}$	$3/\sqrt{10}$
1100	$-1/\sqrt{10}$	$-1/\sqrt{10}$
1101	$-1/\sqrt{10}$	$-3/\sqrt{10}$
1110	$-3/\sqrt{10}$	$-1/\sqrt{10}$
1111	$-3/\sqrt{10}$	$-3/\sqrt{10}$

Таблица 2.10 – Кодирование комплексных амплитуд при 64QAM-модуляции

Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+5)$	Канал I	Канал Q	Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+5)$	Канал I	Канал Q
000000	$3/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$	100000	$-3/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$
000001	$3/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$	100001	$-3/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$
000010	$1/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$	100010	$-1/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$
000011	$1/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$	100011	$-1/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$
000100	$3/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$	100100	$-3/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$
000101	$3/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$	100101	$-3/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$
000110	$1/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$	100110	$-1/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$
000111	$1/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$	100111	$-1/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$
001000	$5/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$	101000	$-5/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$
001001	$5/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$	101001	$-5/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$
001010	$7/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$	101010	$-7/\sqrt{42}$	$3/\sqrt{42}$
001011	$7/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$	101011	$-7/\sqrt{42}$	$1/\sqrt{42}$
001100	$5/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$	101100	$-5/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$
001101	$5/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$	101101	$-5/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$
001110	$7/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$	101110	$-7/\sqrt{42}$	$5/\sqrt{42}$
001111	$7/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$	101111	$-7/\sqrt{42}$	$7/\sqrt{42}$
010000	$3/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$	110000	$-3/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$
010001	$3/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$	110001	$-3/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$
010010	$1/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$	110010	$-1/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$
010011	$1/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$	110011	$-1/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$
010100	$3/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$	110100	$-3/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$
010101	$3/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$	110101	$-3/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$
010110	$1/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$	110110	$-1/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$
010111	$1/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$	110111	$-1/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$
011000	$5/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$	111000	$-5/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$
011001	$5/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$	111001	$-5/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$
011010	$7/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$	111010	$-7/\sqrt{42}$	$-3/\sqrt{42}$
011011	$7/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$	111011	$-7/\sqrt{42}$	$-1/\sqrt{42}$
011100	$5/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$	111100	$-5/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$
011101	$5/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$	111101	$-5/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$
011110	$7/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$	111110	$-7/\sqrt{42}$	$-5/\sqrt{42}$
011111	$7/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$	111111	$-7/\sqrt{42}$	$-7/\sqrt{42}$

Таблица 2.11 – Кодирование комплексных амплитуд при 256QAM-модуляции

Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q	Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q
00000000	5	5	10000000	-5	5
00000001	5	7	10000001	-5	7
00000010	7	5	10000010	-7	5
00000011	7	7	10000011	-7	7
00000100	5	3	10000100	-5	3
00000101	5	1	10000101	-5	1
00000110	7	3	10000110	-7	3
00000111	7	1	10000111	-7	1
00001000	3	5	10001000	-3	5
00001001	3	7	10001001	-3	7
00001010	1	5	10001010	-1	5
00001011	1	7	10001011	-1	7
00001100	3	3	10001100	-3	3
00001101	3	1	10001101	-3	1
00001110	1	3	10001110	-1	3
00001111	1	1	10001111	-1	1
00010000	5	11	10010000	-5	11
00010001	5	9	10010001	-5	9
00010010	7	11	10010010	-7	11
00010011	7	9	10010011	-7	9
00010100	5	13	10010100	-5	13
00010101	5	15	10010101	-5	15
00010110	7	13	10010110	-7	13
00010111	7	15	10010111	-7	15
00011000	3	11	10011000	-3	11
00011001	3	9	10011001	-3	9
00011010	1	11	10011010	-1	11
00011011	1	9	10011011	-1	9
00011100	3	13	10011100	-3	13
00011101	3	15	10011101	-3	15
00011110	1	13	10011110	-1	13
00011111	1	15	10011111	-1	15
00100000	11	5	10100000	-11	5
00100001	11	7	10100001	-11	7
00100010	9	5	10100010	-9	5
00100011	9	7	10100011	-9	7
00100100	11	3	10100100	-11	3
00100101	11	1	10100101	-11	1

Продолжение таблицы 2.11

Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q	Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q
00100110	9	3	10100110	-9	3
00100111	9	1	10100111	-9	1
00101000	13	5	10101000	-13	5
00101001	13	7	10101001	-13	7
00101010	15	5	10101010	-15	5
00101011	15	7	10101011	-15	7
00101100	13	3	10101100	-13	3
00101101	13	1	10101101	-13	1
00101110	15	3	10101110	-15	3
00101111	15	1	10101111	-15	1
00110000	11	11	10110000	-11	11
00110001	11	9	10110001	-11	9
00110010	9	11	10110010	-9	11
00110011	9	9	10110011	-9	9
00110100	11	13	10110100	-11	13
00110101	11	15	10110101	-11	15
00110110	9	13	10110110	-9	13
00110111	9	15	10110111	-9	15
00111000	13	11	10111000	-13	11
00111001	13	9	10111001	-13	9
00111010	15	11	10111010	-15	11
00111011	15	9	10111011	-15	9
00111100	13	13	10111100	-13	13
00111101	13	15	10111101	-13	15
00111110	15	13	10111110	-15	13
00111111	15	15	10111111	-15	15
01000000	5	-5	11000000	-5	-5
01000001	5	-7	11000001	-5	-7
01000010	7	-5	11000010	-7	-5
01000011	7	-7	11000011	-7	-7
01000100	5	-3	11000100	-5	-3
01000101	5	-1	11000101	-5	-1
01000110	7	-3	11000110	-7	-3
01000111	7	-1	11000111	-7	-1
01001000	3	-5	11001000	-3	-5
01001001	3	-7	11001001	-3	-7
01001010	1	-5	11001010	-1	-5
01001011	1	-7	11001011	-1	-7

Продолжение таблицы 2.11

Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q	Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q
01001100	3	-3	11001100	-3	-3
01001101	3	-1	11001101	-3	-1
01001110	1	-3	11001110	-1	-3
01001111	1	-1	11001111	-1	-1
01010000	5	-11	11010000	-5	-11
01010001	5	-9	11010001	-5	-9
01010010	7	-11	11010010	-7	-11
01010011	7	-9	11010011	-7	-9
01010100	5	-13	11010100	-5	-13
01010101	5	-15	11010101	-5	-15
01010110	7	-13	11010110	-7	-13
01010111	7	-15	11010111	-7	-15
01011000	3	-11	11011000	-3	-11
01011001	3	-9	11011001	-3	-9
01011010	1	-11	11011010	-1	-11
01011011	1	-9	11011011	-1	-9
01011100	3	-13	11011100	-3	-13
01011101	3	-15	11011101	-3	-15
01011110	1	-13	11011110	-1	-13
01011111	1	-15	11011111	-1	-15
01100000	11	-5	11100000	-11	-5
01100001	11	-7	11100001	-11	-7
01100010	9	-5	11100010	-9	-5
01100011	9	-7	11100011	-9	-7
01100100	11	-3	11100100	-11	-3
01100101	11	-1	11100101	-11	-1
01100110	9	-3	11100110	-9	-3
01100111	9	-1	11100111	-9	-1
01101000	13	-5	11101000	-13	-5
01101001	13	-7	11101001	-13	-7
01101010	15	-5	11101010	-15	-5
01101011	15	-7	11101011	-15	-7
01101100	13	-3	11101100	-13	-3
01101101	13	-1	11101101	-13	-1
01101110	15	-3	11101110	-15	-3
01101111	15	-1	11101111	-15	-1
01110000	11	-11	11110000	-11	-11
01110001	11	-9	11110001	-11	-9

Продолжение таблицы 2.11

Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q	Передаваемые биты $b(i), b(i+1), \dots, b(i+7)$	Канал I	Канал Q
01110010	9	-11	11110010	-9	-11
01110011	9	-9	11110011	-9	-9
01110100	11	-13	11110100	-11	-13
01110101	11	-15	11110101	-11	-15
01110110	9	-13	11110110	-9	-13
01110111	9	-15	11110111	-9	-15
01111000	13	-11	11111000	-13	-11
01111001	13	-9	11111001	-13	-9
01111010	15	-11	11111010	-15	-11
01111011	15	-9	11111011	-15	-9
01111100	13	-13	11111100	-13	-13
01111101	13	-15	11111101	-13	-15
01111110	15	-13	11111110	-15	-13
01111111	15	-15	11111111	-15	-15

В случае 1024QAM-модуляции 10 двоичных символов $b(i), b(i+1), \dots, b(i+9)$ преобразуются в комплексный символ модуляции следующим образом:

$$x = \frac{1}{\sqrt{682}} \left\{ (1 - 2b(i)) [16 - (1 - 2b(i+2)) \times \right. \\ \times [8 - (1 - 2b(i+4)) [4 - (1 - 2b(i+6)) [2 - (1 - 2b(i+8))]]]] + \\ \left. + j(1 - 2b(i+1)) [16 - (1 - 2b(i+3)) \times \right. \\ \left. \times [8 - (1 - 2b(i+5)) [4 - (1 - 2b(i+7)) [2 - (1 - 2b(i+9))]]]] \right\}.$$

3 Архитектура базовых станций *eNodeB* сетей подвижной связи четвёртого поколения

Ключевыми элементами сети радиодоступа являются узлы, обеспечивающие радиодоступ подвижных пользователей к услугам электросвязи. Архитектура современных узлов сети радиодоступа предложена и защищена серией патентов ведущих стран мира, первым из которых является патент Китайской Народной Республики № CN100426897C *Separated base station system and its networking method and baseband unit* (Huawei Technologies Co Ltd 2005).

В соответствии с данным патентом базовая станция разделяется на две самостоятельные части: блок базовой (основной) полосы частот *BBU* (*Base Band Unit*) и выносной радиоблок *RRU* (*Remote Radio Unit*).

Основные функции *BBU*:

- организация портов общего радиointерфейса общего пользования (*CPRI*) или оптических линий связи для связи с *RRUs* и обработка сигналов основной полосы восходящей и нисходящей линий связи;
- организация портов по протоколам *S1* для связи между узлом *E-UTRAN* (*eNodeB*) и *MME/S-GW*, а также портов *X2* для связи между *eNodeB*;
- организация портов синхронизации для синхронизации часов, портов мониторинга аварийных сигналов и портов универсальной последовательной шины (*USB*) для ввода в эксплуатацию с помощью флеш-накопителя *USB*;
- управление *eNodeB* в процессе эксплуатации и технического обслуживания при помощи сигнальных сообщений.

Внешний вид телекоммуникационного шкафа базовой станции *HUAWEI APM30H BTS3900* сотовой связи стандарта *LTE* с расположенным блоком *BBU* показан на рисунке 3.1.

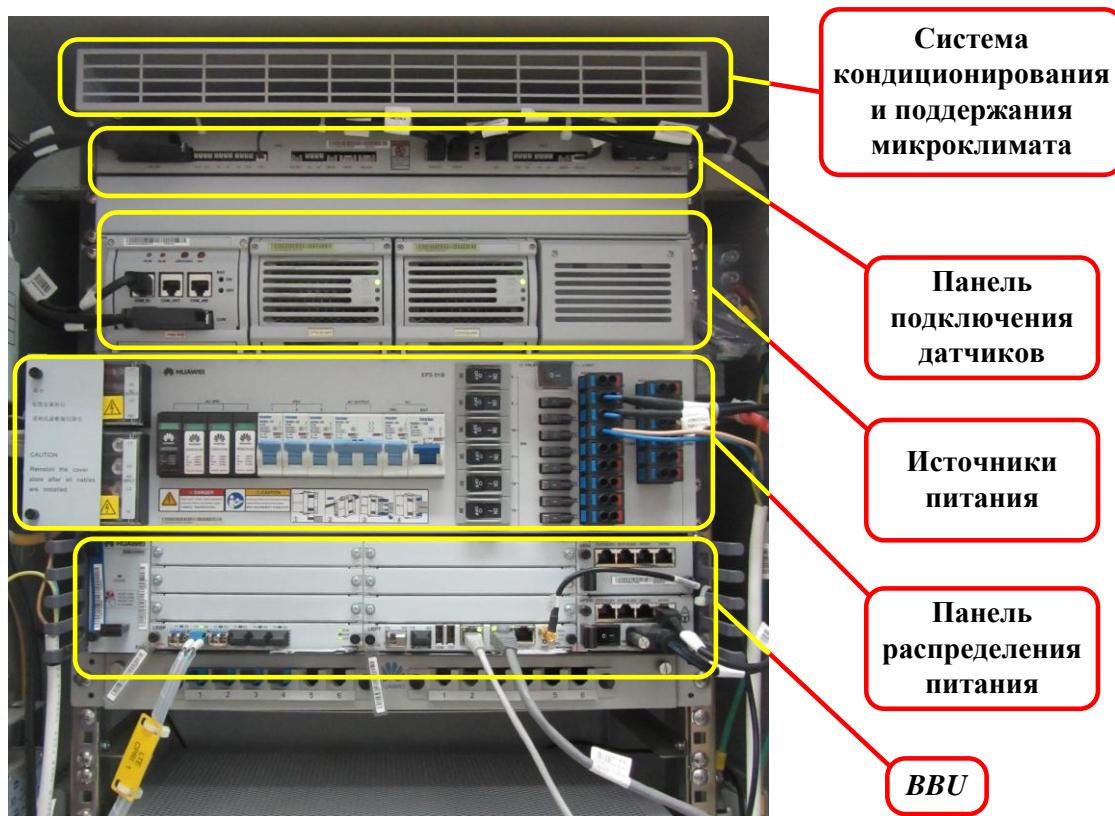


Рисунок 3.1 – Внешний вид телекоммуникационного шкафа базовой станции с расположением блоков

Более детальное изображение блока *BBU* показано на рисунке 3.2.

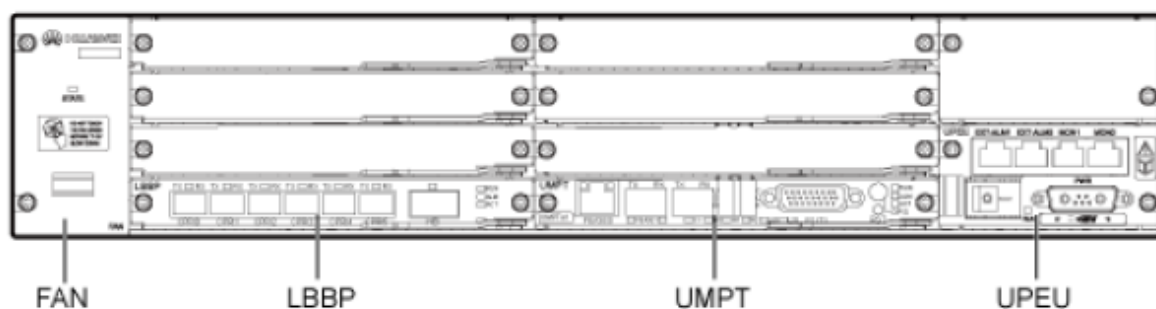


Рисунок 3.2 – Блок *BBU*

Таким образом, *BBU* представляет собой модульный блок, в состав которого могут входить различные субмодули, выполняющие определённый спектр задач. В минимальном составе в *BBU* входят следующие модули: *FAN*, *LBBP*, *UMPT*, *UPEU*, которые установлены в слоты расширения.

FAN – блок охлаждения, отвечает за поддержание заданного температурного режима элементов *BBU*. Он контролирует температуру, управляет скоростью вращения вентиляторов и сообщает о состоянии вентиляторов в модули *LMPT* или *UMPT*.

Блок *LBBP* служит для обработки базовой полосы *LTE*. Он предназначен для организации портов *CPRI* для связи с радиочастотными (*RF*) модулями и обработки сигналов основной полосы восходящей и нисходящей линий связи.

Блок *UMPT* – универсальный основной блок обработки и передачи данных. Его функции заключаются в следующем: обеспечение мониторинга и управления, включая управление конфигурацией; управление оборудованием; мониторинг производительности; обработка сигналов; переключение в активный/резервный режим и обеспечение тактовой привязки к сигналам опорной частоты (к системе глобального позиционирования *GPS*).

UPEU – универсальный блок интерфейса питания.

В свободные слоты могут быть установлены другие модули для обеспечения работы в заданных условиях.

Существует множество моделей *BBU*, выпускаемых различными производителями. В топ-5 производителей телекоммуникационного оборудования входят *Ericsson*, *Alcatel*, *Huawei Technologies*, *Cisco Systems* и *ZTE Corporation*.

Для непосредственной передачи данных от базовой станции к пользовательским терминалам и устройствам и приёма ответных сигналов используется *RRU*. *RRU* является выносным элементом распределённой базовой станции,

устанавливаемым в непосредственной близости от антенны. Внешний вид блока показан на рисунке 3.3.

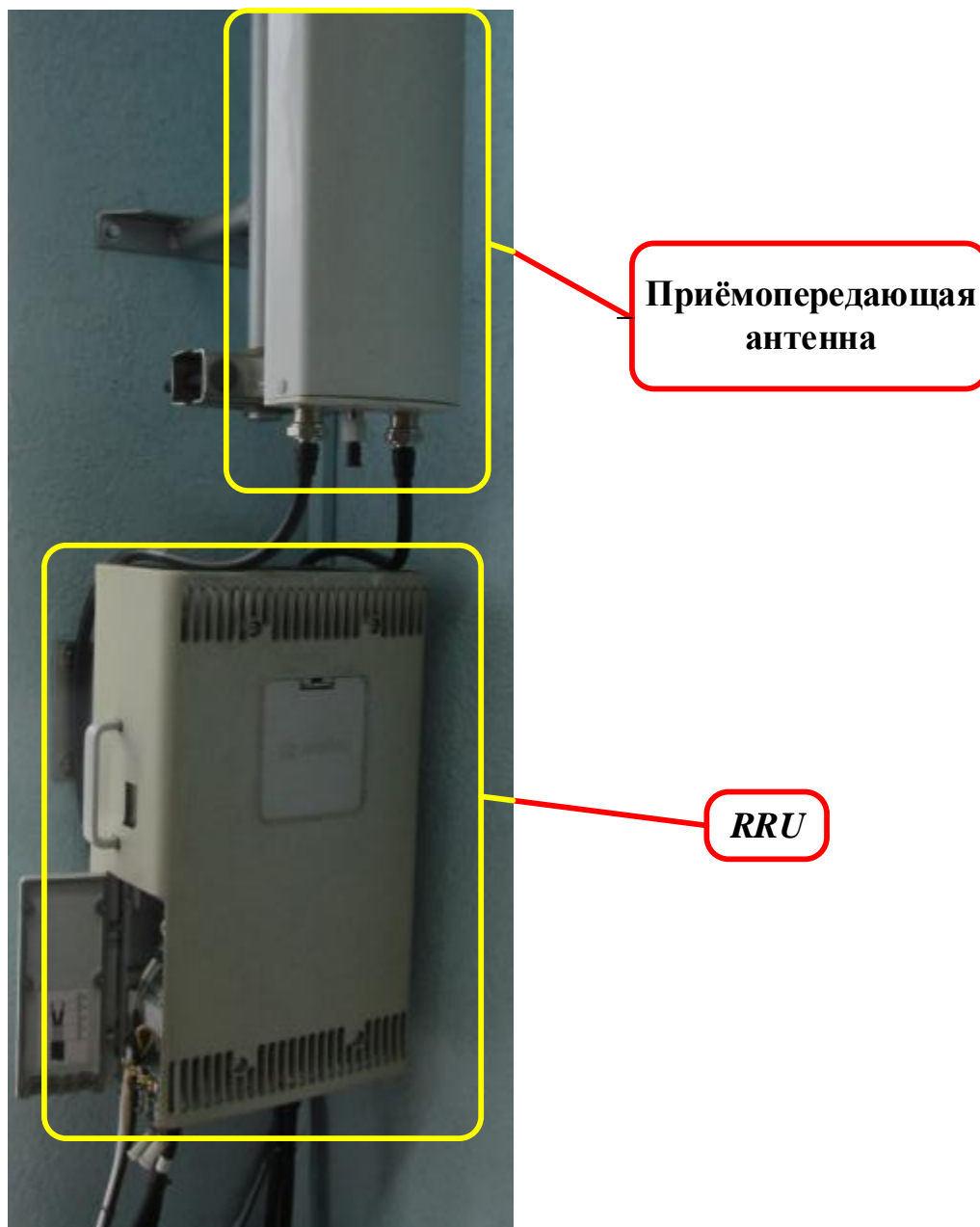


Рисунок 3.3 – Внешний вид блока *RRU* и приёмопередающей антенны

RRU представляет собой набор приёмопередатчиков радиointерфейса между сетью связи и пользовательскими терминалами. На вход *RRU* поступает цифровой поток данных от блока *BBU*, представляющий собой комплексную огибающую радиосигнала, который должен быть передан в эфир. *RRU* осуществляет преобразование данного потока в аналоговые квадратурные компоненты, их перенос в область рабочей частоты с последующим усилением и из-

лучение при помощи антенны. Также *RRU* осуществляет приём и преобразование сигналов пользовательских терминалов, принятых антенной, и формирует цифровой поток данных, который обрабатывается в дальнейшем *BBU*.

Взаимодействие между блоками *BBU* и *RRU* производится при помощи оптоволоконной линии связи. К блоку *RRU* также подводится кабель питания. Установка блока *RRU* в непосредственной близости с приёмопередающей антенной позволяет существенно снизить потери уровня сигнала за счёт более коротких высокочастотных коаксиальных линий, связывающих блок с антенной.

Подключение блока *BBU* к ядру системы сотовой связи осуществляется при помощи высокоскоростных оптоволоконных линий связи либо с использованием радиорелейных линий, организованных между базовыми станциями сети.

Кроме показанных блоков в состав базовой станции могут входить и другие блоки и системы, отвечающие за осуществление выполнения каких-либо функций, например, обеспечение бесперебойного питания.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1

КОНФИГУРАЦИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА *LTE*. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС, КОМАНДЫ

Цели работы:

1 Ознакомиться с принципами устройства и функционирования оборудования базовых станций сотовой связи четвёртого поколения стандарта *LTE*.

2 Изучить базовые команды для осуществления процедур контроля и конфигурирования параметров базовой станции.

3 Рассчитать параметры зоны покрытия и определить полосы рабочих частот базовой станции.

4 Закрепить навыки работы с контрольно-измерительным оборудованием.

Теоретические сведения

Развитие систем подвижной связи происходило на протяжении длительного периода времени. Эволюция систем сотовой связи включает в себя несколько поколений (таблица 1.1). Поколение сотовой связи – это набор функциональных возможностей работы сети: регистрация абонента, установление вызова, передача информации между мобильным телефоном и базовой станцией, установление вызова между абонентами, шифрование, роуминг в других сетях, а также набор иных услуг, предоставляемых абоненту.

Таблица 1.1 – Поколения мобильных сетей

Поколение	Особенности	Скорость передачи данных на приём
0G	Используются мобильные радиотелефоны с системами «нажми и говори» и др.	–
1G	Цифровая установка соединения и другие сетевые коммуникации, но аудиосигнал аналоговый	2,4 кбит/с
2G	Полностью цифровое поколение, появились службы коротких и мультимедийных сообщений, а также графические сообщения	40 кбит/с
3G	Появились аутентификация сети и метод многостанционного доступа с кодовым разделением каналов, при котором каналы передачи имеют общие полосы частот	2 Мбит/с

Продолжение таблицы 1.1

Поколение	Особенности	Скорость передачи данных на приём
4G	Для удовлетворения требований стандарта по скорости передачи данных используется технология «несколько входов, несколько выходов»: 8×8 в нисходящем канале и 4×4 в восходящем	300 Мбит/с

Каждому поколению соответствуют свои стандарты сотовой связи.

LTE (Long Term Evolution) – является одним из стандартов беспроводной передачи данных. Целью данного стандарта было увеличение пропускной способности и скорости передачи данных с использованием новых методов цифровой обработки сигналов и модуляции. Технология *LTE* была официально признана беспроводным стандартом связи четвёртого поколения 4G Международным союзом электросвязи на конференции в Женеве в 2012 году.

В настоящее время идет работа над разработкой и разворачиванием систем связи пятого и шестого поколений.

Современная базовая станция системы сотовой связи четвёртого и последующих поколений представляет собой сложный аппаратно-программный комплекс, позволяющий решать широкий спектр задач. Основными задачами являются обеспечение взаимодействия между абонентами сотовой сети и внешними сервисами, обеспечение функционирования непосредственно самой сети оператора мобильной радиосвязи.

Управление базовой станцией производится дистанционно при помощи взаимодействия оператора с оборудованием посредством графического веб-интерфейса и языка *MML* (от англ. *Man-Mashine Language* – человеко-машинный язык).

С помощью *MML*-команд реализуется управление:

- системой;
- оборудованием;
- аварийным оповещением;
- ресурсами переносчика;
- передачей.

Наиболее часто используемые команды языка *MML* приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Наиболее часто используемые команды *MML*

Команда	Действие
<i>ACT</i>	Активировать
<i>ADD</i>	Добавить
<i>BLK</i>	Блокировать
<i>DSP</i>	Отобразить динамическую информацию
<i>LST</i>	Отобразить статическую информацию
<i>MOD</i>	Изменить
<i>RMV</i>	Удалить
<i>RST</i>	Перезапустить
<i>SET</i>	Задать

Рассмотрим работу с веб-интерфейсом управления базовой станцией. Доступ к веб-интерфейсу осуществляется посредством подключения к базовой станции по заданному *IP*-адресу. Для этого в адресной строке браузера следует ввести локальный *IP*-адрес. В частности, в лаборатории доступ осуществляется по локальному адресу 192.168.0.49.

После ввода *IP*-адреса базовой станции в адресной строке появится окно авторизации (рисунок 1.1).

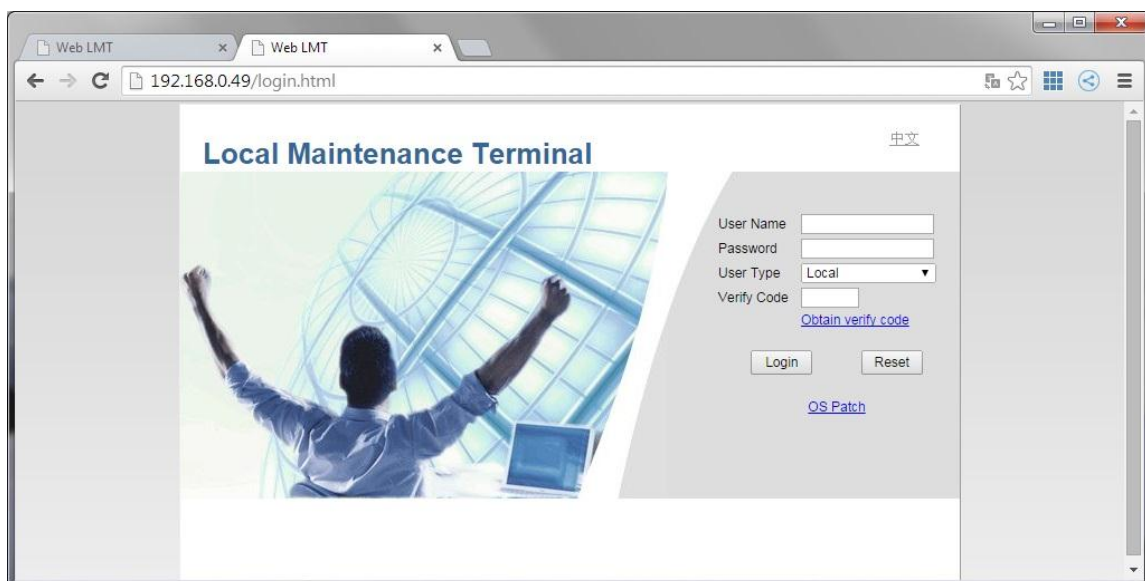


Рисунок 1.1 – Окно авторизации локального терминала технического обслуживания базовой станции

Для продолжения работы следует ввести имя пользователя и пароль, а также код верификации (рисунок 1.2).

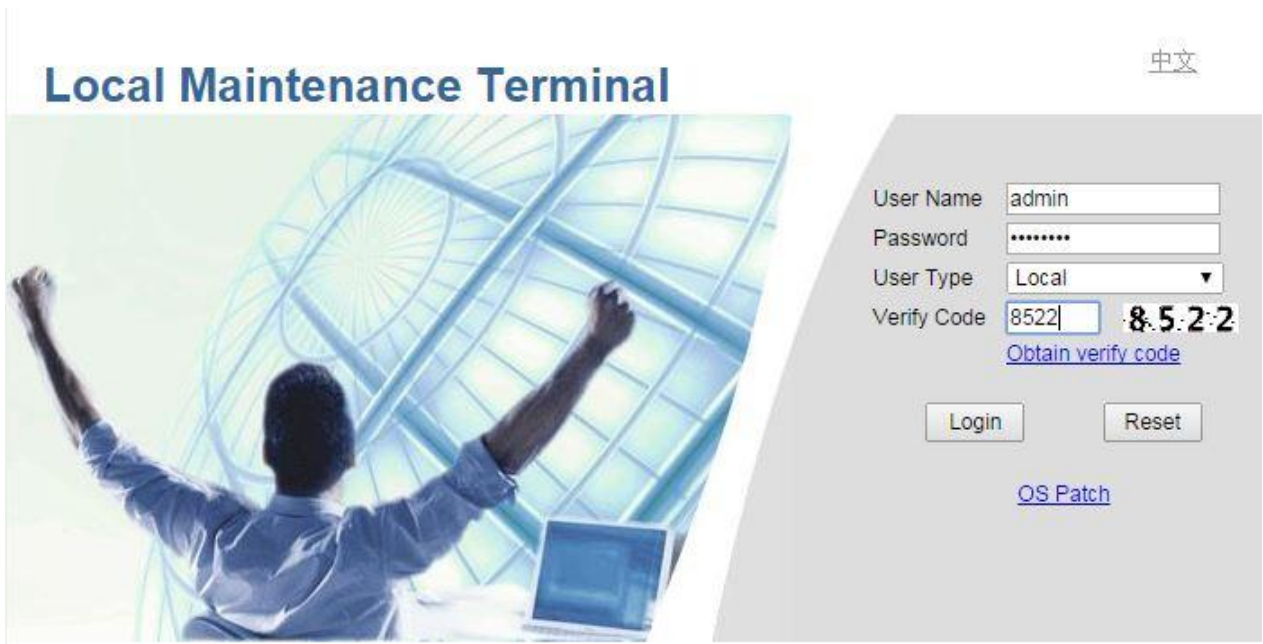


Рисунок 1.2 – Ввод учётных данных пользователя и верификационного кода

После прохождения процедуры авторизации появится основное окно управления параметрами базовой станции (рисунок 1.3).

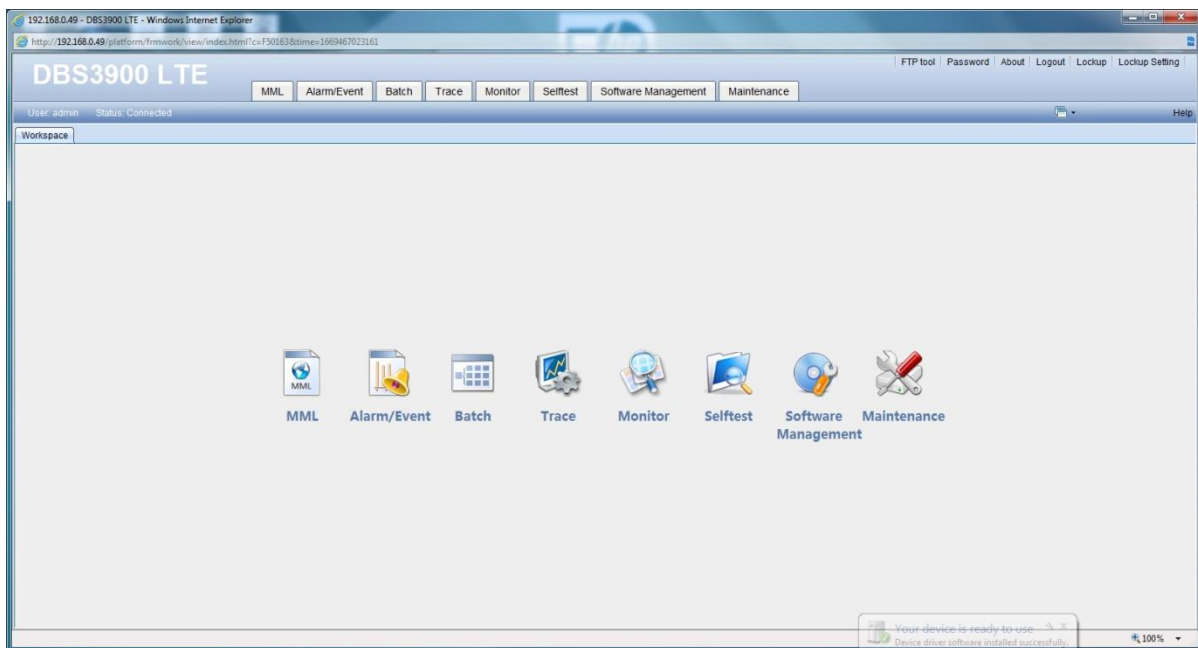


Рисунок 1.3 – Основное окно управления базовой станцией

Доступны следующие вкладки, в которых можно выполнять определённые группы действий:

- «MML» – управление базовой станцией путём ввода команд;

- «Alarm/Event» – окно оповещений и событий;
 - «Batch» – окно сценариев действий (скриптов);
 - «Trace» – окно трассировки сообщений;
 - «Monitor» – окно мониторинга параметров работы базовой станции;
 - «Selftest» – окно проведения самодиагностики станции;
 - «Software Management» – загрузки и обновления программного обеспечения станции;
 - «Maintenance» – окно управления техническим обслуживанием станции.
- В ходе выполнения лабораторных работ будут использоваться только окна «MML», «Alarm/Event», «Trace» и «Selftest».

Внешний вид окна «MML» представлен на рисунке 1.4.

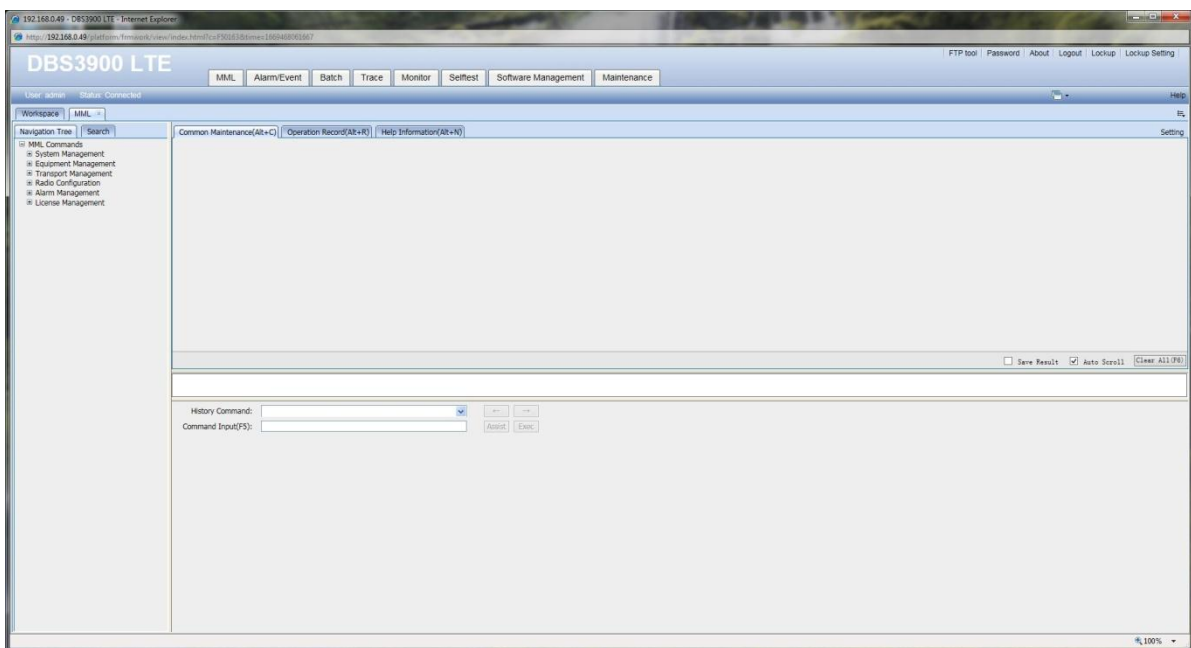


Рисунок 1.4 – Окно ввода команд «MML»

В данном окне производится ввод и контроль выполнения команд управления. В левой части окна расположено навигационное дерево команд «Navigation Tree», в котором находятся все команды управления, сгруппированные по принципу выполняемых действий с определёнными системами базовой станции. В верхней части окна располагается окно консоли «Common Maintenance». В ней отображаются результаты выполнения команд, вводимых пользователем, если ответ для выполняемой команды предусмотрен. В нижней части окна производится ввод команды. Поддерживается история введённых команд. Также в окне «MML» имеется вкладка «Help Information» (справочная информация), на которой приводится описание функций команды, её входных и выходных параметров, а также условий, необходимых для успешного выполнения действий.

В навигационном дереве команд все команды разделены на следующие разделы:

- «*System Management*» – управление системой;
- «*Equipment Management*» – управление оборудованием;
- «*Transport Management*» – управление передачей;
- «*Radio Configuration*» – настройка радиочастотной части системы;
- «*Alarm Management*» – управление оповещениями;
- «*License Management*» – управление лицензиями.

Эти пункты также делятся на подпункты, относящиеся уже к оборудованию, интерфейсу, иногда варианты имеют уровень детальности отображения информации, из которых можно выбрать базовую информацию или более детализированную.

Окно «*Alarm/Event*» (рисунок 1.5) содержит перечень текущих предупреждений и событий, представленных в виде таблицы. В данном окне можно производить отслеживание изменений в составе системы.

Serial No.	Name	Severity	Raised Time	Cleared Time	Event Type	Type	Cleared Type	Location Info	Changed Time	ID	Root CBN	Common	Special Flag	Syn
3397	System Clock Failure	Major	2021-10-01 07:40:59		Hardware	Alarm				26260			NORMAL	
3391	Time Synchronization Fail	Minor	2021-08-22 01:04:18		Communication	Alarm		Time Source Type=GPS		26266			NORMAL	
3396	GPS Antenna Fault	Minor	2021-08-22 00:46:44		Hardware	Alarm		Cabinet No =0, Subrack No =0, Slot No =7, Board Specific Problem=Clock Reference Unavailable		26121			NORMAL	
3389	External Clock Reference	Minor	2021-08-22 00:46:44		Hardware	Alarm				26262			NORMAL	
3395	BBU Optical Module Tran	Major	2021-08-22 00:46:44		Hardware	Alarm		Cabinet No =0, Subrack No =0, Slot No =3, Port No =		26232			NORMAL	
3383	Remote Maintenance Lini	Major	2021-08-22 00:46:44		Trunk	Alarm		Cabinet No =0, Subrack No =0, Slot No =7		25901			NORMAL	
3382	Burglar Alarm	Critical	2021-08-22 00:46:44		Environment	Alarm		Cabinet No =0, Subrack No =0, Slot No =7, Board		25972			NORMAL	
3381	Data Configuration Excee	Warning	2021-08-22 00:46:44		Running	Alarm		Cabinet No =0, Subrack No =7, Slot No =0, Board		26919			NORMAL	
3380	No License Running in S	Critical	2021-08-22 00:46:44		Running	Alarm				26918			NORMAL	

Рисунок 1.5 – Окно «*Alarm/Event*»

В окне «*Trace*» (рисунок 1.6) производится управление трассировкой информационных сообщений по различным интерфейсам передачи данных базовой станции. Поддерживается работа со следующими интерфейсами: *S1, X2, UU, SCTP, IFTS, CMPV2*.

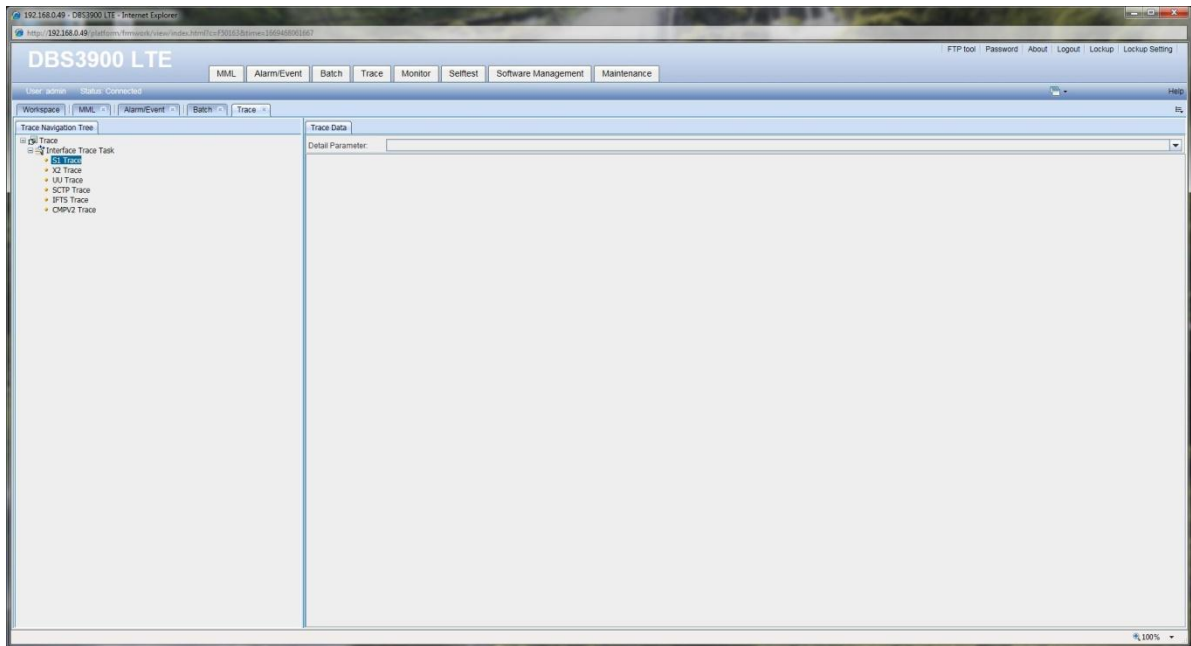


Рисунок 1.6 – Внешний вид окна трассировки сообщений «Trace»

Окно «Selftest» предназначено для выполнения самостоятельного тестирования системы и используется для тестирования оборудования базовой станции путём выполнения группы команд. Это выполнение множества команд последовательно друг за другом. Все они относятся к получению данных о текущем состоянии базовой станции (рисунок 1.7).

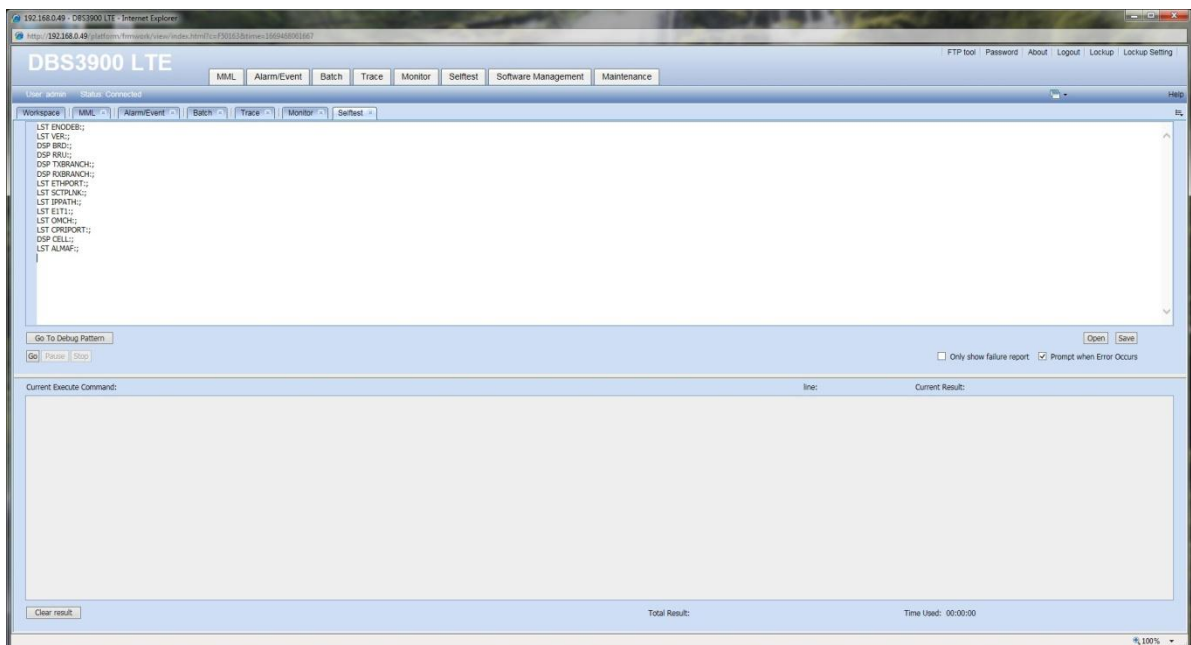


Рисунок 1.7 – Окно самотестирования базовой станции «Selftest»

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получите у преподавателя вариант для проведения расчётов зоны покрытия базовой станции.

2 Включите питание базовой станции и анализатора спектра. Включение питания базовой станции осуществляется на панели распределения питания путём перевода всех автоматических выключателей в верхнее положение.

3 Включите персональный компьютер. Запустите на персональном компьютере браузер и в адресной строке укажите IP-адрес 192.168.0.49 для подключения к веб-консоли управления базовой станцией.

После появления окна авторизации заполните поля логина и пароля и укажите верификационный код. Далее появится основное окно управления базовой станцией (см. рисунок 1.3).

4 Откройте вкладку «Alarm/Event» и ознакомьтесь с актуальными ошибками. Приведите их в отчёте в следующей форме: название на английском языке – название на русском языке – статус ошибки.

5 Перейдите на вкладку «MML» в окно ввода команд. Произведите чтение текущей конфигурации базовой станции, т. е. произведите выгрузку текущих параметров. Для этого в строке команд введите команду «LST CELL» (*List Cell Configuration*). Данная команда отображает список существующих ячеек и значение атрибутов при их наличии, в случае отсутствия созданных ячеек – не отображает ничего. После введения команды нажмите «Assist», в поле идентификатора введите номер соты (например, 0) и нажмите «Exec». Внесите в отчёт получившиеся данные.

Внимание! Список полученных параметров работы базовой станции будет использован в процессе выполнения лабораторной работы. Сохраните в текстовом редакторе полученные параметры для восстановления изначальной конфигурации базовой станции в конце работы.

6 Повторите те же действия для команды «DSP CELL» (*Display Cell*), которая укажет на состояние актуальной на данный момент соты. Убедитесь, что поля «Cell instance state» и «Cell latest avail state» имеют ответы «Normal» и «succeed in activating cell» соответственно. Выпишите данные в отчёт. В случае неактивных ячеек или если команда выдает ошибку, обратитесь к преподавателю.

Если ответ сервера выдает сбой в стеке SI, введите команду «RMV SIINTERFACE (0)», далее введите команду «ADD SIINTERFACE (0)» и введите значения в поля, выделенные красным цветом, «0», «0», «0» и нажмите кнопку «Exec». Ещё раз введите команду «DSP CELL (0)». Ответ должен стать положительным.

7 Введите команду «*DSP SECTOR*» (*Display Sector*) и получите параметры частотного диапазона и мощности, на которой работает базовая станция. Произведите расчёт реальных значений путём умножения полученных значений на шаг, указанный в скобках для каждого из параметров. По таблице 1.3 определите номер частотного диапазона, в котором работает базовая станция.

Таблица 1.3 – Частотные диапазоны стандарта *LTE*

Номер частотного диапазона	Частотный диапазон нисходящего канала, МГц	<i>Earfcn</i> нисходящего канала
1	2110–2170	0–599
2	1930–1990	600–1199
3	1805–1880	1200–1949
4	2110–2155	1950–2399
5	869–894	2400–2649
6	875–885	2650–2749
7	2620–2690	2750–3449
8	925–960	3450–3799
9	1844,9–1879,9	3800–4149
10	2110–2170	4150–4749

Сравните данные с полученной информацией в пункте 5 (поле «*Frequency band*»). Внесите полученные данные в отчёт.

8 Произведите расчёт частоты нисходящего канала базовой станции, используя данные, полученные в пункте 5 (поле «*Downlink earfcn*»):

$$F_{DL} = F_{DL_low} + 0,1 \cdot (N_{DL} - N_{DL_offset}), \quad (1.1)$$

где F_{DL_low} – нижняя граница частотного диапазона нисходящего канала (см. таблицу 1.3, второй столбец);

N_{DL} – *Earfcn* нисходящей линии связи (параметр «*Downlink earfcn*»);

N_{DL_offset} – нижняя граница диапазона *Earfcn* нисходящей линии связи (см. таблицу 1.3, третий столбец).

Данные расчёты также можно выполнить, используя специальные калькуляторы для расчёта параметров базовых станций.

Внесите полученные данные в отчёт.

9 Рассчитайте исходя из полученных параметров в пункте 5 площадь зоны покрытия для базовой станции по формуле

$$S = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot R^2, \quad (1.2)$$

где R – радиус сектора (параметр «*Cell radius(m)*» в характеристиках базовой станции).

Рассчитайте требуемое количество базовых станций для обеспечения необходимой зоны покрытия для своего варианта:

$$N_{BS} = \frac{S_{LTE}}{3 \cdot S}, \quad (1.3)$$

где S_{LTE} – площадь, которую требуется покрыть (по вариантам).

В таблице 1.4 приведены площади областей и областных центров Республики Беларусь.

Таблица 1.4 – Площади областей и областных центров

Область	Площадь области, км ²	Город	Площадь города, км ²
Минская	39 854	Минск	348
Брестская	32 777	Брест	145
Гомельская	40 372	Гомель	139
Гродненская	25 127	Гродно	142
Витебская	40 051	Витебск	134
Могилёвская	29 068	Могилёв	118

Внесите полученные данные в отчёт.

10 С помощью анализатора спектра получите спектр сигнала базовой станции. Для этого установите центральную частоту равной середине диапазона нисходящего канала в меню «*FREQUENCY*» → «*Central Frequency*» анализатора спектра. В меню «*SPAN*» установить полосу отображаемых частот, равную полосе занимаемых частот базовой станции плюс 10–20 %.

11 Определите полосу занимаемых частот сигналом базовой станции. Для этого в меню «*BW/Avg*» → «*Average*» анализатора включите усреднение и установите количество выборок 150.

Используя меню «*MARKER*» («Маркеры»), включите отображение маркера и, вращая энкодер, установите сначала его у левой границы сигнала и зафиксируйте нижнюю частоту, а затем установите у правой границы сигнала и получить значение верхней границы полосы занимаемых частот. Вычислите значение полосы занимаемых частот.

Эти же действия с автоматическим вычислением полосы можно произвести, используя дельта-маркер. Для этого в меню «*MARKER*» необходимо вы-

брать «Normal» и вначале установить маркер нижней границы, а затем выбрать «Delta» и, вращая энкодер, установить второй маркер (например, 1R) у верхней границы. На экране анализатора спектра будет показана разница по частоте и уровню сигнала между установленными маркерами.

Сравните полученное значение с данными поля «Downlink bandwidth» и зафиксируйте результаты в отчёте.

12 Измерьте мощность сигнала базовой станции в исследуемой полосе частот. Для этого на анализаторе спектра выполните следующие действия: нажмите кнопку «MEASURE» и выберите пункт «Channel Power».

Установите усреднение в меню «BW/Avg» → «Average» – 150 выборков.

Нажмите кнопку «Meas Setup» и в поле «Integ BW» введите значения ширины полосы частот, для которой производится вычисление мощности (например, 1,44 МГц).

Перейдите в меню «Meas Control» и установите однократный режим измерения «Single» в поле «Measure».

Нажимая кнопку «Restart», зафиксируйте минимум пять значений спектральной плотности мощности (*Power Spectral Density*) на экране анализатора спектра и мощность сигнала в заданной полосе частот (*Channel Power*).

Используя полученные значения спектральной плотности мощности, рассчитайте мощность канала в полосе частот. Для этого спектральную плотность мощности необходимо перевести в милливатты (мВт), затем умножить на полосу частот анализа и снова перевести значение в децибелы на метр (дБм). Сравните полученные данные с зафиксированными ранее результатами мощности канала (на экране анализатора спектра параметр «Channel Power»).

13 Установите значение ширины полосы частот на альтернативную (например, если установлена полоса частот 1,4 МГц, установите поле «Integ BW» равным 3, 5 или 10 МГц) и проведите аналогичные измерения и расчёты как в пункте 12. Сравните полученные результаты 12 и 13 пунктов.

Оформите полученные значения в пунктах 12 и 13 в виде таблицы (таблица 1.5) и приведите в отчёте совместно с несколькими изображениями экрана анализатора спектра.

Таблица 1.5 – Пример таблицы

Полоса частот	Спектральная плотность мощности	Мощность канала
1,4 МГц	–102 дБм (пример)	–21,21 дБм (пример)
3 МГц

14 В окне управления «*MML*» базовой станцией введите команду «*DEA CELL*» (*Deactivate cell*) и проверьте работоспособность базовой станции. Удостоверьтесь в результатах, используя анализатор спектра (сигнал нисходящего канала базовой станции должен исчезнуть). Зафиксируйте результаты выполненных действий.

15 С помощью команды «*ACT CELL*» (*Activation cell*) активируйте соту. Введите номер соты «0». Проверьте работоспособность базовой станции, добавьте результаты в отчёт.

16 Сделайте выводы на основе полученных результатов.

17 Выключите базовую станцию и анализатор спектра.

Содержание отчёта

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Исходные данные варианта для проведения расчётов.
- 4 Актуальные ошибки и предупреждения базовой станции.
- 5 Основные параметры базовой станции.
- 6 Расчёты параметров частоты нисходящего канала и зоны покрытия базовой станции.
- 7 Результаты работы с анализатором спектра и расчёты мощности канала.
- 8 Выводы.

Лабораторная работа № 2

КОНФИГУРАЦИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА *LTE*. АКТИВАЦИЯ, ДЕАКТИВАЦИЯ СОТ. БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ *HUAWEI ARM30H*. СОЗДАНИЕ, УДАЛЕНИЕ, ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОТ

Цели работы:

- 1 Ознакомиться с принципами устройства и функционирования оборудования базовых станций сотовой связи четвёртого поколения стандарта *LTE*.
- 2 Изучить базовые команды для осуществления процедур контроля и конфигурирования параметров базовой станции.
- 3 Рассчитать энергетический бюджет для различных частотных разделений канала связи, пропускную способность и мощность опорного сигнала базовой станции.
- 4 Научиться создавать и удалять соты, а также изменять их параметры.

Теоретические сведения

Стандарты сетей четвёртого поколения устанавливают требуемую скорость передачи данных. В то же время множество различных факторов влияют на эту характеристику, из них можно выделить следующие: использование технологии «несколько входов, несколько выходов» – *MIMO*, используемый диапазон частот, трафик управления, метод дуплекса и др.

Существуют два основных варианта планирования сетей: с целью формирования максимальной площади покрытия или с целью обеспечения требуемой ёмкости. Эти задачи порой противоречат друг другу. Например, в городских условиях при высокой плотности абонентов зоны обслуживания базовых станций по площади гораздо меньше максимально возможной, но оптимизированы по пропускной способности. В сельской местности зачастую ситуация противоположная: плотность абонентов невысокая, базовые станции устанавливаются на максимальном удалении друг от друга, так чтобы закрыть каждой базовой станцией максимальную территорию. Но и в том и другом случае оценивают как радиопокрытие, так и ёмкость сети, для того чтобы выявить в проекте сети факторы, ограничивающие её характеристики.

Анализ радиопокрытия начинают с вычисления энергетического бюджета, или максимально допустимых потерь (МДП) на линии. МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приёмника сопряжённой стороны, при которой с учётом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приёмнике.

В таблице 2.1 приведены параметры для вычисления энергетического бюджета линии радиосвязи для различных вариантов организации мультиплексирования.

Таблица 2.1 – Параметры радиоканала для средней городской застройки

Параметр	FDMA 20 МГц		TDMA 20 МГц (кадр 1)		TDMA 20 МГц (кадр 2)	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Антенная система	2×2	1×2	2×2	1×2	2×2	1×2
Соотношение DL/UL T%	100 %	100 %	54 %	42 %	74 %	23 %
Передатчик						
Выходная мощность передатчика P_{Tx} , дБм	43	23	43	23	43	23
Выигрыш от сложения мощностей передатчиков G_{TxDiv} , дБм	3	–	3	–	3	–
Коэффициент усиления антенны G_{TxA} , дБ	18	0	18	0	18	0
Потери в фидерном тракте L_{TxF} , дБ	0,4	–	0,4	–	0,4	–
Приёмник						
Скорость передачи данных на краю соты, кбит/с	4210	128	4510	128	5910	128
Число ресурсных блоков N_{PRB}	45	2	86	4	98	20
Схема модуляции и кодирования	6-QPSK	5-QPSK	6-QPSK	6-QPSK	5-QPSK	1-QPSK
Эффективная скорость кодирования	0,45	0,28	0,46	0,38	0,38	0,14
Мощность теплового шума P_N , дБм	–104,4	–118,4	–101,4	–115,4	–101,4	–108,4
Требуемое ОСШ M_{SNR} , дБ	–0,24	0,61	–0,23	0,01	0,03	–4,35
Коэффициент шума приёмника L_N , дБ	7	2,5	7	2,5	7	2,5
Коэффициент усиления антенны G_{RxA} , дБи	0	18	0	18	0	18
Потери в фидерном тракте L_{RxF} , дБ	–	0,4	–	0,4	–	0,4
Прочие запасы/выигрыши						
Запас на помехи M_{Int} , дБ	8,51	3,8	8,53	3,8	10,65	3,8
Запас на проникновение в помещение M_{Build} , дБ	17		17		17	
Запас на затенение M_{Shade} , дБ	8,7		8,7		8,7	
Выигрыш от <i>handover</i> G_{HO} , дБ	2,5		2,5		2,5	
МДП L_{MAPL} , дБ	129,5	128,9	126,5	126,5	124,2	123,9

Эквивалентную изотропную излучаемую мощность можно определить по формуле

$$P_{EIRP} = P_{Tx} + G_{TxDiv} + G_{TxA} - L_{TxF}. \quad (2.1)$$

Чувствительность приёмника определяется выражением

$$S_{Rx} = P_N + M_{SNR} + L_N. \quad (2.2)$$

Исходя из данных ЭИИМ и чувствительности приёмника, а также учитывая наличие потерь в канале, можно оценить максимально допустимые потери:

$$L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}. \quad (2.3)$$

Ёмкость, или пропускную способность, сети оценивают, базирясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определённых условиях. В таблице 2.2 приведены значения средней спектральной эффективности соты *LTE* с частотным разделением каналов (*FDMA*) в макросети для двух случаев, специфицированных *3GPP* как сценарий 1 и сценарий 2.

Таблица 2.2 – Средняя спектральная эффективность в макросети

Канал	Схема <i>MIMO</i>	Средняя спектральная эффективность $S_{FDDaverage}$, бит/с/Гц	
		сценарий 1	сценарий 2
<i>Uplink (UL)</i>	1×2	0,735	0,681
	1×4	1,103	1,038
<i>Downlink (DL)</i>	2×2	1,69	1,56
	4×2	1,87	1,85
	4×4	2,67	2,41

Для системы *FDMA* и *TDMA* средняя пропускная способность соты может быть получена путём прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность:

$$R_{TDD} = S_{FDDaverage} \cdot W \cdot T_{\%}, \quad (2.4)$$

где $S_{FDDaverage}$ – средняя спектральная эффективность;
 W – ширина канала (20 МГц);

$T_{\%}$ – доля длительности кадра на восходящем или нисходящем канале (считается не в процентах, а в долях).

Каждая базовая станция в радиосети *LTE* излучает опорный сигнал. Мощность передачи ресурсного блока, несущего такой опорный сигнал, может быть установлена равной, большей или меньшей, чем мощность передачи ресурсного блока, несущего физический совместно используемый канал нисходящей линии связи (*PDSCH*).

Относительные уровни мощности передачи опорного сигнала и канала *PDSCH* влияют на оценку канала и количество помех нисходящей линии связи, а также интерпретацию и использование индикатора качества канала (*CQI*). Например, с увеличением мощности опорного сигнала пользовательский терминал может выполнять измерения опорного сигнала более быстро и точно определять условия канала. Однако общие помехи на ресурсных блоках опорного сигнала для данной соты будут увеличиваться из-за того, что несколько соседних сот передают большую мощность по своим собственным ресурсным блокам. Если отношение сигнал/шум, оцененное для *PDSCH*, значительно ухудшится, *CQI*, о котором сообщает пользовательский терминал, будет ниже. Чем ниже *CQI*, тем больше базовая станция будет стремиться к более низкой пропускной способности, предпринимая такие действия, как увеличение объёма турбокодирования в передачах *PDSCH*. Таким образом, воспринимаемая пользователем пропускная способность может уменьшиться при повышении мощности опорного сигнала. Однако, если улучшенная оценка канала и повышенная надёжность приёма *PDSCH* приведут к меньшему количеству повторных передач *HARQ*, то пропускная способность может увеличиться с увеличением мощности опорного сигнала.

Мощность опорного сигнала может быть получена из формулы

$$P_{\text{ос}} = (10 \log(P_{RRU \text{ max}}) - 10 \log(N_{\text{подн}})) \cdot 10, \quad (2.5)$$

где $P_{RRU \text{ max}}$ – максимальная мощность выносного радиоблока *RRU* (равна 40 000);

$N_{\text{подн}}$ – число поднесущих.

В таблице 2.3 приведены диапазоны значений параметров уровня мощности в зависимости от выбранной ширины канала.

Таблица 2.3 – Диапазон мощности опорного сигнала для различных значений полосы частот

<i>PВ</i>	Допустимое значение параметра мощности опорного сигнала P_{oc} (<i>Reference signal power</i>) в зависимости от занимаемой полосы частот		
	1,4 МГц	3 МГц	5 МГц
0	94–14	54–174	32–152
1	124–244	84–204	62–182
2	141–261	102–222	80–200
3	154–274	114–234	92–212

Для выбора оптимального значения мощности опорного сигнала соты рекомендуется производить полевые испытания с различными уровнями мощности опорного сигнала и различными уровнями нагрузки.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получите у преподавателя вариант для проведения расчётов параметров максимальных допустимых потерь и пропускной способности базовой станции.

2 Включите питание базовой станции и анализатора спектра. Включение питания базовой станции осуществляется на панели распределения питания путём перевода всех автоматических выключателей в верхнее положение.

3 Включите персональный компьютер. Запустите на персональном компьютере браузер и в адресной строке укажите *IP*-адрес 192.168.0.49 для подключения к веб-консоли управления базовой станцией.

После появления окна авторизации заполните поля логина и пароля, укажите верификационный код. Далее появится основное окно управления базовой станцией (см. рисунок 1.3).

4 Перейдите на вкладку «*MML*» в окно ввода команд. Сделайте выгрузку параметров работы базовой станции при помощи команды «*LST CELL*» (номер соты – 0). Приведите изначальные параметры настроек базовой станции в отчёте.

5 При помощи анализатора спектра убедитесь в наличии сигнала от базовой станции. Для этого, используя данные, полученные в предыдущем пункте, определите среднюю частоту рабочего диапазона и установите в меню анализатора спектра «*FREQUENCY*» → «*Central Frequency*». Полосу обзора укажите в меню «*SPAN*» равной полосе рабочих, занимаемых базовой станцией, плюс 10–20 %.

6 Удалите соту с помощью команды «*RMV CELL*» (номер соты – 0 – указывается в поле «*Local cell identity*») (рисунок 2.1). При удалении соты удаляет-

ся также связанный с ней оператор сотовой связи. Пропадает связь у абонентов, если они использовали сеть с помощью данной базовой станции и находятся вне зоны досягаемости для других базовых станций этого оператора.

Удаление соты является достаточно критичной операцией и может привести к неприятным последствиям с потерей конфигурации, потому перед выполнением данной команды появится всплывающее окно с предупреждением.

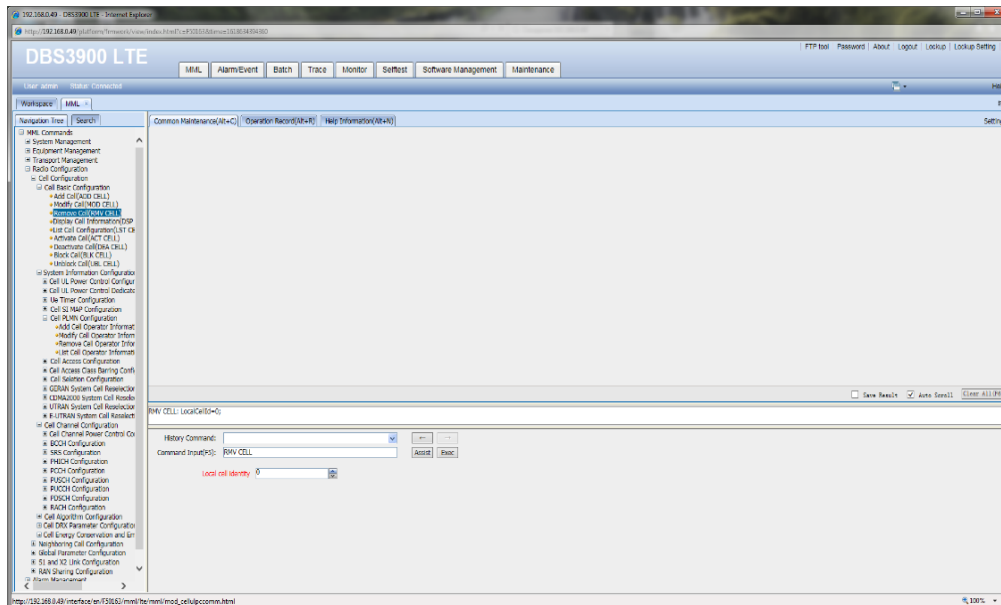


Рисунок 2.1 – Удаление соты

7 Проверьте правильность выполненных действий путём выгрузки параметров соты при помощи команды «*LST CELL*», а также при помощи анализатора спектра – сигнал базовой станции должен отсутствовать.

8 Создайте новую соту.

Для добавления новой соты в систему необходимо ввести команду «*ADD CELL*». В результате появится следующий список атрибутов, которые определяют параметры: «*Local cell identity*», «*Cell name*», «*Sector No*», «*Csg indicator*», «*Uplink cyclic prefix length*», «*Downlink cyclic prefix length*», «*Frequency band*», «*Uplink earfcn indication*», «*Uplink earfcn*», «*Downlink earfcn*», «*Uplink bandwidth*», «*Downlink bandwidth*», «*Cell identity*», «*Physical cell identity*», «*Additional spectrum emission*», «*Cell FDD TDD indication*», «*Cell specific offset*», «*Intra frequency offset*», «*Root sequence index*», «*High speed flag*», «*Preamble format*», «*Cell radius*» и «*Customization bandwidth configure*».

Задайте указанные параметры исходя из данных, полученных в пункте 4.

Проверить, выполнена ли была команда, можно с помощью команды «*LST CELL*», которая покажет, что сота находится в неактивном состоянии.

9 Ввиду того что при удалении соты происходит и удаление связанного с ней оператора, необходимо его задать в параметрах базовой станции.

Рассмотрим связанные с оператором понятия:

1 *Access Control* – это настройка допустимого лимита доступов от оборудования пользователей. Есть два типа такой настройки, первый – принимает начальный запрос от пользователей, но сеть отвечает сообщением с отказом, второй – предотвращает попытки оборудования сделать начальный запрос (*barring*).

2 *Access Class (AC)* – второй тип настройки; имеет множество параметров, из различных комбинаций которых рождаются классы доступа. Принадлежность пользователя к определённому классу определяется в поле *USIM* (расширенный стандарт *SIM*-карт) под названием *EC_ACC*.

3 *Resource Blocks (RB)* – ресурсный блок. Из ресурсных блоков состоит весь канальный ресурс при использовании *OFDM* передачи данных.

4 *EHPLMN* – система, в которой, находясь в зоне, где ваш текущий оператор не имеет покрытия, вы можете использовать другого оператора без роуминга, если есть соответствующая договорённость у операторов.

5 *HPLMN* – идентификатор пользователя; получен из международного идентификатора мобильного абонента – *IMSI*, который никогда не меняется при роуминге.

6 *PUSCH* – физический канал в *LTE* для передачи пользовательского трафика и сигнализации *Uplink Control Information (UCI)*.

7 *PDSCH* – физический канал в *LTE* для передачи информации в нисходящем направлении с разделением пользовательского оборудования. По этому каналу передаются данные каналов *DL-SCH* и *PCH*.

8 *RAN Sharing* – система, в которой одна сеть оборудования может использоваться несколькими операторами одновременно. Такая сеть является оптимальной, т. к. зачастую ресурсы оборудования используются лишь на 20–30 %, что неэффективно для дорогостоящего в покупке и обслуживании оборудования.

Как и любой иной объект в системе базовой станции, оператор соты имеет атрибуты, значения которых могут быть настроены пользователем. Далее приведены параметры оператора, которые задаются при настройке:

1 «*LocalCellId*» – данное значение определяет, к какой соте будет прикреплён оператор.

2 «*TrackingAreaId*» – определяет, к какому номеру территории принадлежит сота.

3 «*CellReservedForOp*» – определяет то, зарезервирована ли эта сота для использования оператором. Значение *CELL_RESERVED_FOR_OP* означает, что

сота зарезервирована для использования оператором. Значение *CELL_NOT_RESERVED_FOR_OP* означает, что сота не зарезервирована для использования оператором. Любое оборудование пользователя может рассматривать эту соту как один из вариантов (*Candidate Cell*) для выбора или переыбора соты.

Оборудование пользователей из AC11 или AC15 в их *EHPLMN* или *HPLMN* может рассмотреть эту соту как один из вариантов для выбора или переыбора. Оборудование пользователей из AC11 или AC15 вне их *EHPLMN* или *HPLMN* и оборудование из AC0–9/AC12–14 рассматривает эту соту как «*Barred Cell*» для выбора или переыбора.

4 «*OpUIRbUsedRatio*» – задаёт процент от числа ресурсных блоков, занятых оператором канала *PUSCH*, когда включена раздача *RAN* на базовой станции. Когда объём данных имеет значительный размер, то процент от числа ресурсных блоков, занятый оператором, может достигнуть максимума, указанного здесь. Изменения значения этого параметра влияют на процент использования возможностей оборудования конкретным оператором.

5 «*OpDIRbUsedRatio*» – задаёт процент от числа ресурсных блоков, занятый оператором канала *PDSCH*, когда включена раздача *RAN* на базовой станции.

Параметры выше показывают, что глубокая настройка оператора необходима в условиях высокой нагрузки и с согласованием с другими базовыми станциями. Настройка же оператора соты на единственной базовой станции может быть выполнена с помощью стандартных параметров.

Для добавления нового оператора соты в командной строке введите команду «*ADD CELLOP*» и нажмите ввод для появления полей атрибутов (рисунок 2.2). В поле «*Local cell identify*» и «*Tracking area identify*» введите значение «0», все остальные параметры укажите равными 100.

После добавления оператора соты пользователь имеет возможность изменить атрибут соты «*Cell active state*» на «*Active*». Для этого пользователь использует такую команду, как «*MOD CELL*». Атрибуты этой команды такие же, как и при отображении с помощью «*LST CELL*». Ввод команды и последующее нажатие *Enter* выведет список атрибутов. Необходимо заполнить лишь обязательные атрибуты, отвечающие за выбор соты для редактирования, и те, которые нужно изменить от их изначального значения. Таким образом, заполнив значения атрибутов «*Local cell identity*» и «*Cell active state*» как «0» и «*Active*» соответственно, пользователь запустит работу соты.

10 Активируйте созданную ранее соту с помощью команды «*ACT CELL (0)*». На экране должен появиться ответ, что сота создана успешно («*Configuration data activating failed: Configuration activation fail by license, please look for alarm information*»).

Если в поле экрана имеются строки, выделенные **КРАСНЫМ** цветом, значит, команда выполнена некорректно и необходимо повторить действия.

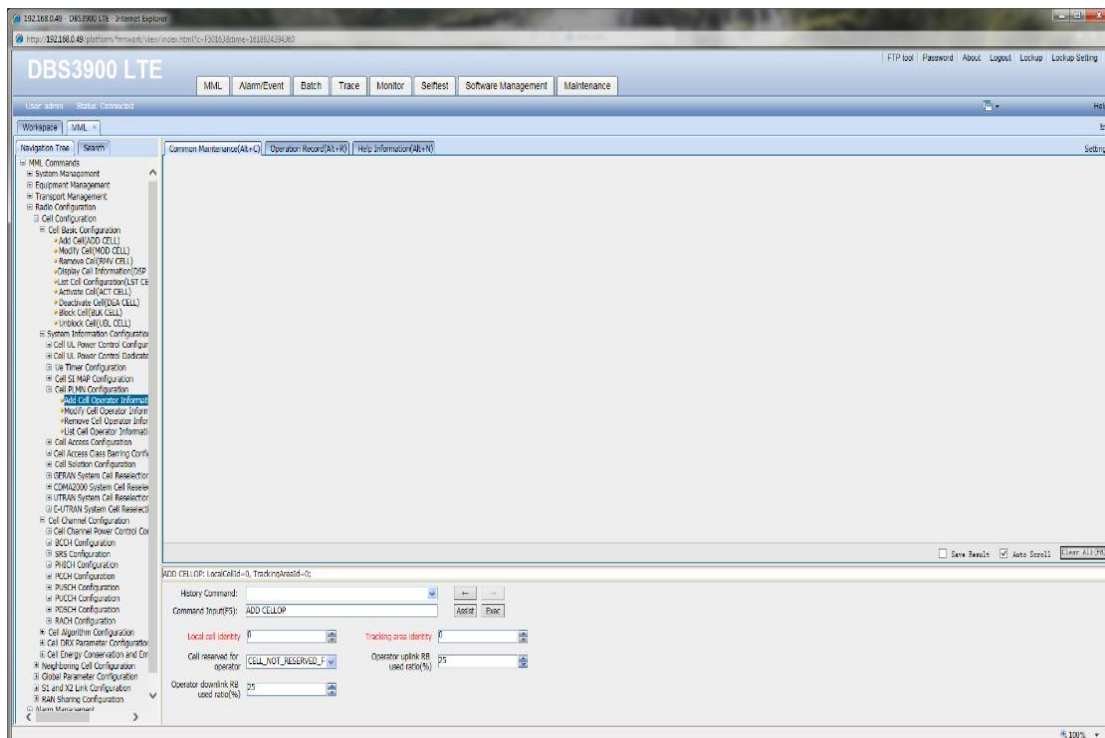


Рисунок 2.2 – Добавление оператора соты

11 Проверьте правильность выполненных действий путём выполнения команды «*LST CELL*» и убедитесь в появлении сигнала базовой станции при помощи анализатора спектра.

12 Создайте новые соты с другими полосами частот. Повторите последовательность действий (пункты 6–11), используя ширину полосы частот равной 3, 5 и 10 МГц. Приведите данные в отчёте.

Важно! Перед созданием новой соты необходимо удалить старую соту.

13 Вычислите эквивалентную изотропную излучаемую мощность для выданного вам варианта, а также получите значения чувствительности приёмника и определите максимально допустимые потери в тракте (формулы (2.1)–(2.3)).

Определите среднюю пропускную способность соты исходя из вашего варианта (формула (2.4)).

Рассчитайте мощность опорного сигнала для полос 1,4, 3 и 5 МГц по формуле (2.5).

Приведите полученные расчёты в отчёте и сделайте выводы.

14 Исходя из полученных значений мощности опорного сигнала (*Reference signal power*) в пункте 13 для ширины полосы частот 1,4 МГц определите значение параметра *P_B* с помощью таблицы 2.3.

15 Проверьте текущее значение ширины полосы частот при помощи команды «*LST CELL (0)*», если значение не равно 1,4 МГц, установите его командой «*MOD CELL (0)*». Для этого в поле «*Downlink bandwidth*» выберите значение полосы частот, равное 1,4 МГц, остальные параметры не изменяйте.

2.16 В настройках анализатора спектра перейдите в раздел «*Channel Power*», нажав кнопку «*Measure*». Установите центральную частоту равной 2670 МГц, для этого нажмите кнопку «*FREQUENCY*», перейдите в поле «*Center Freq*» и введите значение центральной частоты. Перейдите в меню «*Meas Control*» и установите однократный режим измерения «*Single*» в поле «*Measure*».

Нажмите кнопку «*Meas Setup*» и в поле «*Integ BW*» введите значения ширины полосы частот 1,44 МГц, для которой производится вычисление мощности.

Введите команду «*MOD PDSCHCFG*», в открывшемся окне введите полученные параметры в поле «*PB*» и «*Reference signal power*».

Результат изменения мощности можно наблюдать на анализаторе спектра или можно воспользоваться командой «*LST PDSCHCFG*».

Нажимая кнопку «*Restart*», зафиксируйте несколько значений спектральной плотности мощности (*Power Spectral Density*) на экране анализатора спектра и мощность сигнала в заданной полосе частот (*Channel Power*).

17 По таблице 2.3 определите нижний предел мощности опорного сигнала для полосы частот 1,4 МГц и введите значения параметров «*PB*» и «*Reference signal power*» командой «*MOD PDSCHCFG*». Зафиксируйте полученный результат измерений на анализаторе спектра.

18 По таблице 2.3 определите верхний предел мощности опорного сигнала базовой станции для полосы частот 1,4 МГц и введите значения параметров «*PB*» и «*Reference signal power*» командой «*MOD PDSCHCFG*». Зафиксируйте полученный результат измерений на анализаторе спектра.

19 Повторите действия пунктов 14–18 для ширины полосы частот канала 3 и 5 МГц.

*Важно! При изменении ширины полосы канала изменяйте параметры настройки полосы интегрирования анализатора спектра на соответствующие, нажимая кнопку «*Meas Setup*» и вводя в поле «*Integ BW*» значения ширины полосы частот.*

Зафиксируйте получаемые результаты.

20 Сделайте выводы на основе полученных результатов.

21 Установите в настройках базовой станции исходные параметры (см. пункт 4). Проверьте работоспособность базовой станции и выключите питание используемого оборудования.

3 Содержание отчёта

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Исходные данные варианта для проведения расчётов.
- 4 Основные параметры базовой станции.
- 5 Расчёт энергетического бюджета для различных частотных разделений канала связи; расчёт пропускной способности, мощности опорного сигнала базовой станции.
- 6 Результаты работы с анализатором спектра.
- 7 Выводы.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В НИСХОДЯЩЕМ И ВОСХОДЯЩЕМ КАНАЛАХ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ HUAWEI ARМ30Н

Цели работы:

- 1 Ознакомиться с принципами устройства и функционирования оборудования базовых станций сотовой связи четвёртого поколения стандарта *LTE*.
- 2 Изучить базовые команды для осуществления процедур контроля и конфигурирования параметров базовой станции.
- 3 Рассчитать частотные параметры каналов связи оборудования.
- 4 Закрепить навыки работы с контрольно-измерительным оборудованием.

Теоретические сведения

В сетях стандарта *LTE* определены каналы трёх уровней: логические, транспортные и физические. Взаимосвязь каналов изображена на рисунке 3.1.

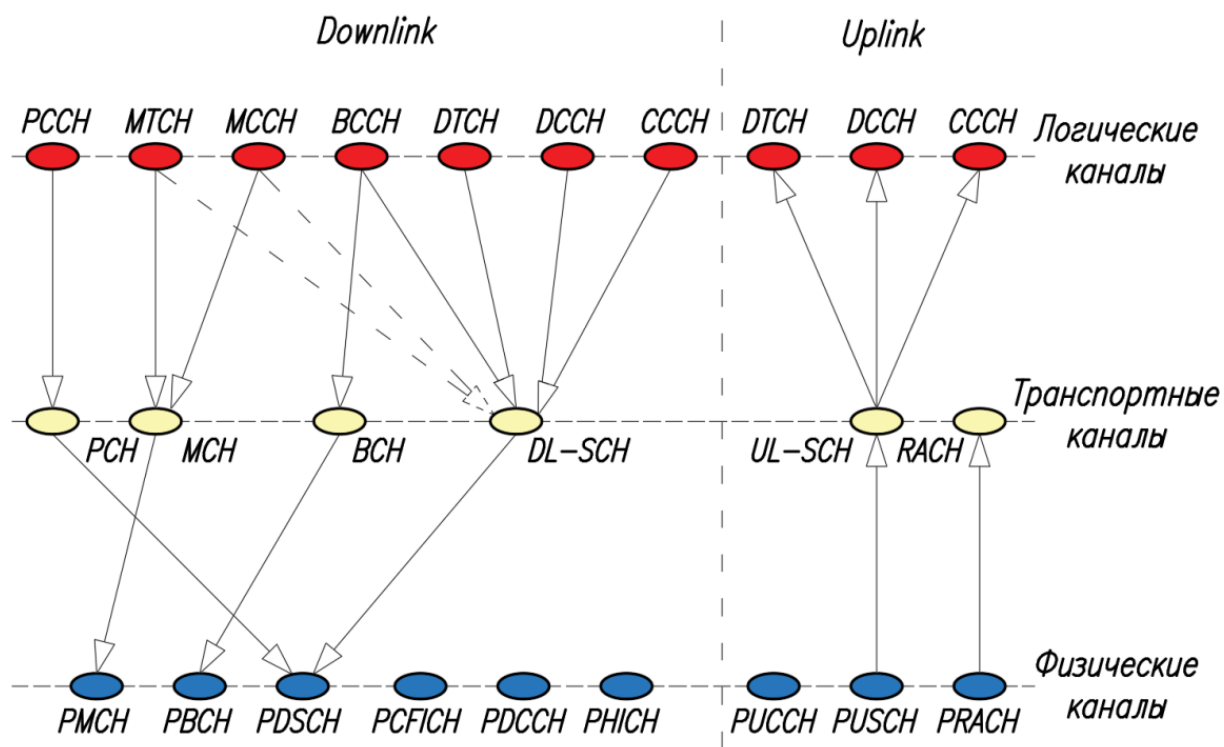


Рисунок 3.1 – Организация каналов в сети *LTE*

Логические каналы делятся на каналы управления и каналы трафика. Логические каналы управления необходимы для передачи сигнальных и информационных сообщений, к ним относятся:

1 *Broadcast Control Channel (BCCH)* – канал, для передачи системной информации всем пользовательским терминалам.

2 *Paging Control Channel (PCCH)* – канал передачи пейджинговых сообщений пользовательским терминалам без точно известного местоположения.

3 *Common Control Channel (CCCH)* – общий канал управления.

4 *Dedicated Control Channel (DCCH)* – канал для обмена командными сообщениями с пользовательским терминалом.

5 *Multicast Control Channel (MCCH)* – канал передачи групповой служебной информации.

Логические каналы трафика служат для передачи пользовательских данных. К этим каналам относятся:

1 *Multicast Traffic Channel (MTCH)* – канал передачи трафика для выделенной группы пользовательских терминалов.

2 *Dedicated Traffic Channel (DTCH)* – выделенный канал типа «точка – точка» для передачи пользовательских данных.

Информацию с логических каналов после обработки на *RLC/MAC*-уровнях размещают в транспортных для дальнейшей передачи по радиointерфейсу в физических каналах. На этом уровне происходит разбиение сообщений на транспортные блоки. К транспортным каналам относятся:

1 *Broadcast Channel (BCH)* – канал передачи информации логического канала *BCCH*.

2 *Paging Channel (PCH)* – канал передачи информации логического канала *PCCH*. Данный канал поддерживает приём с перерывами (режим *DRX*), что позволяет пользовательскому терминалу потреблять меньше энергии.

3 *Downlink Shared Channel (DL-SCH)* – канал с разделением пользователей, используемый для передачи в нисходящем направлении. Канал поддерживает адаптацию скорости передачи, планирование передач во временной и частотной области, модифицированный автоматический запрос на повторную передачу неприятых пакетов (*HARQ*), а также режим *DRX*.

4 *Multicast Channel (MCH)* – канал групповой передачи для поддержки услуг мультимедийного вещания *MBMS*.

5 *Uplink Shared Channel (UL-SCH)* – канал с разделением для передачи информации в восходящем направлении, аналогичен каналу *DL-SCH*.

6 *Random Access Channel (RACH)* – канал случайного доступа.

К физическим каналам относятся:

1 *Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)* – канал с разделением пользователей для передачи информации каналов *DL-SCH* и *PCH*.

2 *Physical Downlink Control Channel (PDCCH)* – канал управления в нисходящем направлении. Используется для передачи информации о назначении канального ресурса для передачи информации транспортных блоков каналов

PCH, DL-SCH, UL-SCH и *HARQ*, относящейся к каналу *DL-SCH*. Также по этому каналу передаются ответы на запросы на доступ к сети.

3 *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH)* – канал для передачи *HARQ* в ответ при передаче информации в восходящем направлении.

4 *Physical Broadcast Channel (PBCH)* – канал передачи вещательной информации.

5 *Physical Multicast Channel (PMCH)* – канал групповой передачи пакетов мультимедийного вещания.

6 *Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)* – канал передачи формата, который используется для канала *PDCCH*.

7 *Physical Random Access Channel (PRACH)* – канал передачи запросов случайного доступа.

8 *Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)* – канал передачи пользовательского трафика и сигнализации *Uplink Control Information (UCI)*.

9 *Physical Uplink Control Channel (PUCCH)* – физический канал передачи сигнализации *UCI* в отсутствие канала *PUSCH*.

В сетях сотовой связи восходящий канал (*Uplink*) – это канал передачи от пользовательского терминала (мобильного телефона) к базовой станции (соте). Нисходящий канал (*Downlink*) – это канал передачи от базовой станции (соты) к пользовательскому терминалу (мобильному телефону).

В сетях стандарта *LTE* для нисходящего канала используется технология радиодоступа *OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* – множественный доступ с ортогональным частотным разделением), а для восходящего канала – технология *SC-FDMA (Single Carrier Frequency-Division Multiple Access* – множественный доступ с разделением по частоте на одной несущей).

При использовании технологии *OFDMA* весь имеющийся спектр разбивается на ортогональные друг другу поднесущие шириной 15 кГц. На одного абонента выделяется минимум 12 поднесущих, которые составляют один ресурсный блок, занимающий полосу в 180 кГц.

В таблице 3.1 приведены сведения о соотношении числа поднесущих и ресурсных блоков в зависимости от занимаемой полосы частот.

Таблица 3.1 – Число поднесущих и ресурсных блоков для каждого значения ширины канала

Ширина канала, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Число ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100

Для двунаправленной передачи между абонентами и базовой станцией может использоваться как частотный дуплекс *FDD* (*Frequency Division Duplex*), так и временной *TDD* (*Time Division Duplex*).

LTE FDD подразумевает наличие двух разных частотных диапазонов для приёма и передачи данных. Например, в диапазоне 7 (*Band 7*) приём данных производится на частотах 2620–2690 МГц, а передача – на частотах 2500–2570 МГц. Благодаря использованию отдельных частотных диапазонов, загрузка и отправка данных происходит параллельно и независимо друг от друга.

LTE TDD использует один и тот же частотный диапазон и для приёма, и для передачи данных. Вместо разных частотных диапазонов здесь используются временные интервалы: сначала мобильное устройство передаёт данные базовой станции, а затем принимает. Поскольку отрезки (слоты) приёма и отправки сменяют друг друга с высокой скоростью, абонентские устройства воспринимают передачу данных как непрерывную, хотя на самом деле она дискретная.

В таблице 3.2 приведено распределение частотных диапазонов сотовых систем подвижной связи четвёртого поколения стандарта *LTE* для нисходящего и восходящего каналов при использовании механизма *FDD*.

Таблица 3.2 – Частотные диапазоны стандарта *LTE*

Номер частотного диапазона	Частотный диапазон нисходящего канала, МГц	<i>E_{arfcn}</i> нисходящего канала	Частотный диапазон восходящего канала, МГц	<i>E_{arfcn}</i> восходящего канала
1	2110–2170	0–599	2110–2170	18000–18599
2	1930–1990	600–1199	1930–1990	18600–19199
3	1805–1880	1200–1949	1805–1880	19200–19949
4	2110–2155	1950–2399	2110–2155	19950–20399
5	869–894	2400–2649	869–894	20400–20649
6	875–885	2650–2749	875–885	20650–20749
7	2620–2690	2750–3449	2620–2690	20750–21449
8	925–960	3450–3799	925–960	21450–21799
9	1844,9–1879,9	3800–4149	1844,9–1879,9	21800–22149
10	2110–2170	4150–4749	2110–2170	22150–22749

Исходя из номера радиочастотного канала *E_{arfcn}* можно определить частоту для нисходящего и восходящего каналов:

$$F_{DL} = F_{DL_low} + 0,1 \cdot (N_{DL} - N_{DL_Offset}), \quad (3.1)$$

$$F_{UL} = F_{UL_low} + 0,1 \cdot (N_{UL} - N_{UL_offset}), \quad (3.2)$$

где F_{DL_low} – нижняя граница частотного диапазона нисходящего канала;
 F_{UL_low} – нижняя граница частотного диапазона восходящего канала;
 $N_{DL} - Earfcn$ нисходящей линии связи (параметр «*Downlink earfcn*»);
 $N_{UL} - Earfcn$ восходящей линии связи (параметр «*Uplink earfcn*»);
 N_{DL_offset} – нижняя граница диапазона *Earfcn* нисходящей линии связи;
 N_{UL_offset} – нижняя граница диапазона *Earfcn* восходящей линии связи.

Используя данные о параметрах радиоканала, можно осуществлять настройку параметров базовой станции для каждого конкретного случая.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Включите питание базовой станции и анализатора спектра. Включение питания базовой станции осуществляется на панели распределения питания путём перевода всех автоматических выключателей в верхнее положение.

2 Включите персональный компьютер. Запустите на персональном компьютере браузер и в адресной строке укажите IP-адрес 192.168.0.49 для подключения к веб-консоли управления базовой станцией.

После появления окна авторизации заполните поля логина и пароля, укажите верификационный код. Далее появится основное окно управления базовой станцией (см. рисунок 1.3).

3 Перейдите на вкладку «*MML*» в окно ввода команд. Сделайте выгрузку параметров работы базовой станции при помощи команды «*LST CELL*» (номер соты – 0). Приведите изначальные параметры настроек базовой станции в отчёте.

4 При помощи анализатора спектра убедитесь в наличии сигнала от базовой станции. Для этого установите в меню анализатора спектра «*FREQUENCY*» → «*Central Frequency*» частоту 2670 МГц. Полосу обзора укажите в меню «*SPAN*» равной полосе рабочих частот, занимаемых базовой станцией, плюс 10–20 %.

5 Измените параметр «*Uplink earfcn*» соты для восходящего канала.

При изменении параметров соты необходимо в окне «*MML*» в поле «*Command Input*» (*F5*) ввести команду «*MOD CELL*», в результате откроется окно (рисунок 3.2) с аналогичными атрибутами, что и при создании новой соты (команда «*ADD CELL*»).

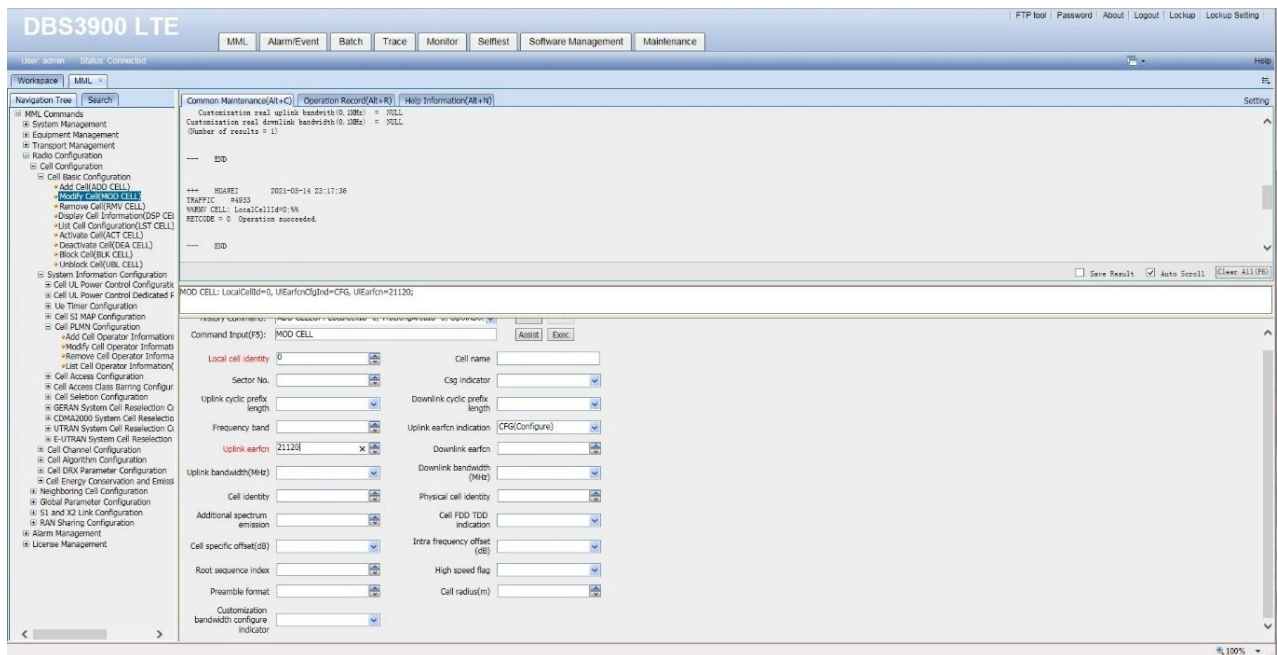


Рисунок 3.2 – Изменение параметров соты

Для изменения параметров соты нужно ввести идентификатор изменяемой соты («*Local cell identity*»), а также сам изменяемый параметр, такой как «*Uplink earfcn*», «*Downlink earfcn*», «*Uplink bandwidth*», «*Downlink bandwidth*» или другой. Незаполненные поля параметров можно оставить пустыми.

В поле «*Uplink earfcn indication*» выберите значение «*CFG*» (*Configure*), что активирует работу восходящего канала базовой станции.

В поле «*Uplink earfcn*» введите значение крайнего нижнего предела параметра «*Earfcn*» восходящего канала указанного диапазона (для нахождения диапазона смотрите таблицу 3.1, номер диапазона («*Band*») смотрите в характеристиках базовой станции из пункта 3).

После заполнения нужных полей и нажатия кнопки «*Exec*» появится предупреждение: «*This command modifies important parameters: "Uplink earfcn indication", "Uplink earfcn", This may have a certain effect on the system, do not perform this operation if unnecessary. For details about the parameters, see the online help*». В данном предупреждении говорится, что изменяется важный параметр (в данном случае «*Uplink earfcn indication*» и «*Uplink earfcn*») и что не стоит изменять его без необходимости. Для вступления в силу изменений параметров в окне предупреждения необходимо нажать «*OK*».

ВАЖНО! Если вы видите ответ «*Configuration data activating failed: Cell frequency is invalid*», то значение параметра «*Earfcn*» не подходит для нижнего предела – команда выполнена неверно.

После изменения параметров соты добавлять оператора соты (команда «*ADD CELLOP*») и активировать соту (команда «*ACT CELL*») не нужно. При

помощи команды «*LST CELL*» можно проверить верность изменения параметров соты.

6 Повторите команду «*MOD CELL*» для смены параметра «*Uplink earfcn*». Определите пределы значения параметра «*Uplink earfcn*» с шагом 50 (например, $Earfcn = 21\ 100$, следующий шаг будет 21 050). Как только вы нашли значение, при котором базовая станция функционирует с шагом 50, уменьшите шаг до 15, 5, 3, 1, чтобы определить максимально точное значение предела.

7 Введите крайнее верхнее (максимальное) значение диапазона и повторите действия, как в пунктах 5 и 6. Если значение не подходит, методом подбора спускайтесь на один шаг вниз (значение верхнего предела *Earfcn* снижайте на 50, далее уменьшайте шаг до 15, 10, 5, 1).

Определите допустимый диапазон этого параметра для ширины полосы частот 1,4, 3 и 5 МГц (по вариантам). Представьте данные в виде таблицы (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Пример таблицы

Полоса частот	<i>Uplink earfcn</i> _{min}	<i>Uplink earfcn</i> _{max}
1,4 МГц		
...		

8 Выполните аналогичные действия для нисходящего канала «*Downlink*», меняя параметр «*Downlink earfcn*». Параметры для нисходящего канала приведены в таблице 3.2.

Определите крайнее левое (минимальное) и крайнее правое (максимальное) значение параметра, допустимое для заданной полосы канала (1,4; 3; 5; 10; 20 МГц по вариантам). Представьте данные в виде таблицы (таблица 3.4).

Проверку работоспособности базовой станции в данном случае можно производить, используя анализатор спектра.

Таблица 3.4 – Пример таблицы

Полоса частот	<i>Downlink earfcn</i> _{min}	<i>Downlink earfcn</i> _{max}
1,4 МГц		
...		

9 Сделайте выводы на основе полученных результатов.

10 Установите в настройках базовой станции исходные параметры (см. пункт 3). Проверьте работоспособность базовой станции и выключите питание используемого оборудования.

3 Содержание отчёта

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Исходные данные варианта для проведения расчётов.
- 4 Основные параметры базовой станции.
- 5 Расчёт параметров «*Uplink earfcn*» и «*Downlink earfcn*» базовой станции.
- 6 Результаты работы с анализатором спектра и результаты выполнения действий по настройке параметров нисходящего и восходящего каналов базовой станции.
- 7 Выводы.

Лабораторная работа № 4

ТРАССИРОВКА СООБЩЕНИЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ СТАНДАРТА *LTE*

Цели работы:

- 1 Ознакомиться с принципами устройства и функционирования оборудования базовых станций сотовой связи четвёртого поколения стандарта *LTE*.
- 2 Изучить базовые команды для осуществления процедур контроля и конфигурирования параметров базовой станции.
- 3 Изучить процесс трассировки сообщений в базовой станции.
- 4 Закрепить навыки работы с контрольно-измерительным оборудованием.

Теоретические сведения

Трассировка – это процесс, с помощью которого возможно отслеживание сообщений, проверка данных, просмотр значений переменных (адреса, имени и т. д.) и выявление ошибок.

Трассировка сообщений отслеживает интерфейсы, каналы сигнализации и оборудование пользователя. Это относится к обычному оборудованию, техническому обслуживанию и локализации неисправностей. Трассировка может выполняться на локальном техническом терминале (*LMT*) и удалённо. На локальном терминале технического обслуживания могут выполняться как общие задачи отслеживания, так и задачи отслеживания, специфичные для стандартов *GSM*, *UMTS* и *LTE*.

Существуют следующие типы задач трассировки:

– общие задачи трассировки (*PTP Trace*, *MAC Trace*, *LACP Trace*, *PPP Trace*, *MP Trace*, *IP Layer Protocol Trace*, *SCTP Trace*, *CMPv2 Trace*, *IKE Trace*, *PNP Trace*, *Proxy PNP Trace*, *ICP Trace*, *SAAL Trace*, *HDLC Trace*, *IUANT Trace*, *485 Trace*, *IPMI Trace*, *RF Link Trace*, *Process Messages Trace*, *RF Message Trace*);

– задачи трассировки, специфичные для *GSM* (*Abis Interface CS Trace (RSL)*, *Abis Interface CS Trace (CSL)*, *TRX RF Sampling Trace*);

– задачи трассировки, специфичные для *UMTS* (*DSP Trace*, *Cell Trace*, *User Trace*, *Iub Trace*);

– задачи трассировки, специфичные для *LTE* (*S1 Interface Trace*, *X2 Interface Trace*, *Uu Interface Trace*, *IFTS Trace*, *M2 Interface Trace*, *Se Interface Trace*).

Внутренний процесс трассировки сообщений включает в себя создание задачи трассировки и представление отчётов результатов на локальном техническом терминале.

Создание задачи трассировки на локальном техническом терминале происходит в несколько этапов:

- после того как была создана задача трассировки на локальном техническом терминале, *LMT* отправляет бинарную команду на базовую станцию для создания задачи;

- базовая станция присваивает задаче идентификатор и пересылает команду на трассировку на специальный модуль управления указанной платой;

- после получения команды модуль управления трассировкой записывает параметры для трассировки, содержащейся в команде, в таблицу фильтров и отправляет сообщения в модуль обработки услуг;

- модуль обработки услуг обновляет локальную таблицу фильтров на основе сообщений из модуля управления трассировкой.

Отправка отчёта в локальный технический терминал производится следующим образом:

- после получения сообщений от модуля управления модуль обработки проверяет, обновлены ли параметры в локальной таблице фильтров, затем он формирует сообщения, соответствующие критериям фильтрации, в *LMT* на основе идентификаторов задач, содержащихся в сообщениях;

- локальный технический терминал анализирует сообщения и отображает результаты трассировки.

При трассировке используются два вида простых процедур:

- класс 1 – элементарные процедуры с ответом (успех и/или неудача);

- класс 2 – элементарные процедуры без ответа.

Для процедур класса 1 типы ответов могут быть следующими:

- успешный – сигнальное сообщение явно указывает, что элементарная процедура успешно завершена с получением ответа;

- неудачный – сигнальное сообщение явно указывает, что процедура не прошла;

- успешные и неуспешные – одно сигнальное сообщение сообщает как об успешном, так и о неуспешном результате для различных включённых запросов, используемое ответное сообщение определено для успешного исхода.

Для процедур класса 2 результат всегда успешен.

Структура сообщения *S1AP* состоит из кода операции (*Procedure Code*), который имеет диапазон от 0 до 255, и критичности (*Criticality*), имеющей три состояния (отклонить, игнорировать и игнорировать и уведомить отправителя).

В таблице 4.1 приведены основные типы сообщений интерфейса *S1AP*.

Таблица 4.1 – Коды основных процедур

Код процедуры (<i>Procedure Code</i>)	Название (<i>Name</i>)	Класс
0	<i>id-HandoverPreparation</i>	1
1	<i>id-HandoverResourceAllocation</i>	1
2	<i>id-HandoverNotification</i>	2
3	<i>id-PathSwitchRequest</i>	1
4	<i>id-HandoverCancel</i>	1
5	<i>id-E-RABSetup</i>	1
6	<i>id-E-RABModify</i>	1
7	<i>id-E-RABRelease</i>	1
8	<i>id-E-RABReleaseIndication</i>	2
9	<i>id-InitialContextSetup</i>	1
10	<i>id-Paging</i>	2
11	<i>id-downlinkNasTransport</i>	2
12	<i>id-initialUEMessage</i>	2
13	<i>id-uplinkNasTransport</i>	2
14	<i>id-Reset</i>	1
15	<i>id-ErrorIndiction</i>	2
16	<i>id-NASNoneDeliveryIndication</i>	2
17	<i>id-S1 Setup</i>	1
18	<i>id-UEContextReleaseRequest</i>	2
19	<i>id-DownlinkS1cdma2000tunelling</i>	2
20	<i>id-UplinkS1cdma2000tunelling</i>	2
21	<i>id-UEContexModification</i>	1
22	<i>id-UECapabilityInfoIndication</i>	2
23	<i>id-UEContextRelease</i>	1
24	<i>id-eNBStatusTransfer</i>	2
25	<i>id-MMEStatusTransfer</i>	2
26	<i>id-DeactivateTrace</i>	2
27	<i>id-TraceStart</i>	2
28	<i>id-TraceFailureIndication</i>	2
29	<i>id-ENBConfigurationUpdate</i>	1
30	<i>id-MMEConfigurationUpdate</i>	1
31	<i>id-LocationReportingControl</i>	2
32	<i>id-LocationReportingFailureIndication</i>	2
33	<i>id-LocationReport</i>	2
34	<i>id-OverloadStart</i>	2
35	<i>id-OverloadStop</i>	2
36	<i>id-WriteReplaceWarning</i>	1
37	<i>id-eNBDirectInformationTransfer</i>	2
38	<i>id-MMEDirectInformationTransfer</i>	2

Продолжение таблицы 4.1

Код процедуры (<i>Procedure Code</i>)	Название (<i>Name</i>)	Класс
39	<i>id-PrivateMessage</i>	2
40	<i>id-eNBConfigurationTransfer</i>	2
41	<i>id-MMEConfigurationTransfer</i>	2
42	<i>id-CellTrafficTrace</i>	2
43	<i>id-Kill</i>	1
44	<i>id-downlinkUEAssociatedLPPaTransport</i>	2
45	<i>id-uplinkUEAssociatedLPPaTransport</i>	2
46	<i>id-downlinkNonUEAssociatedLPPaTransport</i>	2
47	<i>id-uplinkNonUEAssociatedLPPaTransport</i>	2
48	<i>id-UERadioCapabilityMatch</i>	1
49	<i>id-PWSRestartIndication</i>	2
50	<i>id-E-RABModificationIndication</i>	1
51	<i>id-PWSFailureIndication</i>	2
52	<i>id-RerouteNASRequest</i>	2
53	<i>id-UEContextModificationIndication</i>	1
54	<i>id-ConnectionEstablishmentIndication</i>	2
55	<i>id-UEContextSuspend</i>	1
56	<i>id-UEContextResume</i>	1
57	<i>id-NASDeliveryIndication</i>	2
58	<i>id-RetrieveUEInformation</i>	2
59	<i>id-UEInformationTransfer</i>	2
60	<i>id-eNBCPRelocationIndication</i>	2
61	<i>id-MMECPRelocationIndication</i>	2

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Включите питание базовой станции и анализатора спектра. Включение питания базовой станции осуществляется на панели распределения питания путём перевода всех автоматических выключателей в верхнее положение.

2 Включите персональный компьютер. Запустите на персональном компьютере браузер и в адресной строке укажите IP-адрес 192.168.0.49 для подключения к веб-консоли управления базовой станцией.

После появления окна авторизации заполните поля логина и пароля, укажите верификационный код. Далее появится основное окно управления базовой станцией (см. рисунок 1.3).

3 Перейдите на вкладку «Trace» (рисунок 4.1). В данном окне производится отслеживание конкретных интерфейсов и сообщений, относящихся к

этим интерфейсам. Интерфейсы, за которыми возможно слежение: *S1*, *X2*, *UU*, *SCTP*, *IFTS*, *CMPV2*.

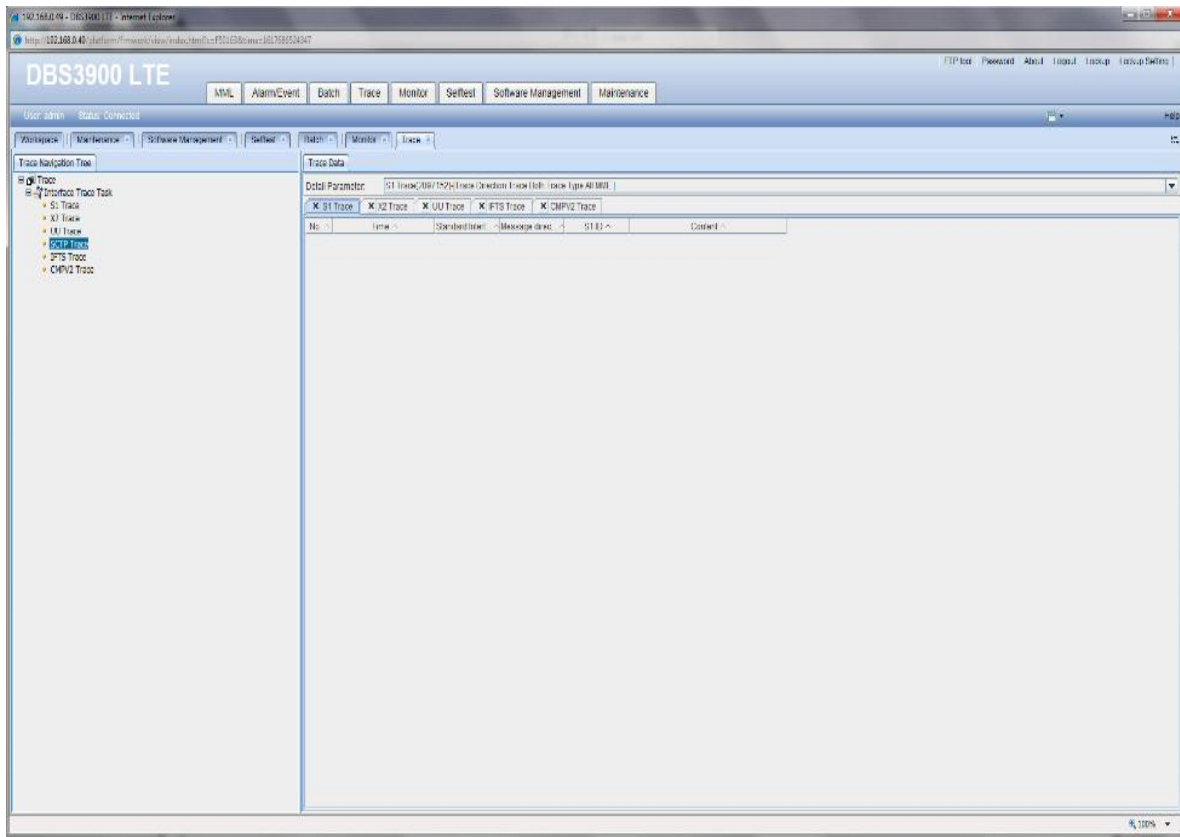


Рисунок 4.1 – Окно трассировки сообщений

4 Перейдите на вкладку «MML», где выберите в навигационном дереве («Navigation Tree») раздел «Radio Configuration» и щёлкните по ней левой кнопкой мыши.

5 Выберите вкладку «S1 and X2 Link Configuration» и выполните команду «Remove S1 interface», которая производит сброс и удаление существующего интерфейса S1. После введения команды нажмите «Assist», в поле идентификатора введите номер «0» и нажмите «Exec». В случае успешного ввода команды появится сообщение (рисунок 4.2) Оформите в отчёт получившиеся данные.

6 Введите команду «ADD S1INTERFACE», которая создаст новый интерфейс. В поле с идентификатором введите «0» и нажмите «Exec».

7 Повторите действия для команды «UNBL S1INTERFACE» (*Unblock S1 interface*), которая разблокирует доступ к S1 интерфейсу.

8 Далее необходимо вызвать команду «DSP S1INTERFACE» (*Display S1 interface*) для отображения параметров конфигурации интерфейса S1. Следует убедиться, что они соответствуют данным, показанным на рисунке 4.3.

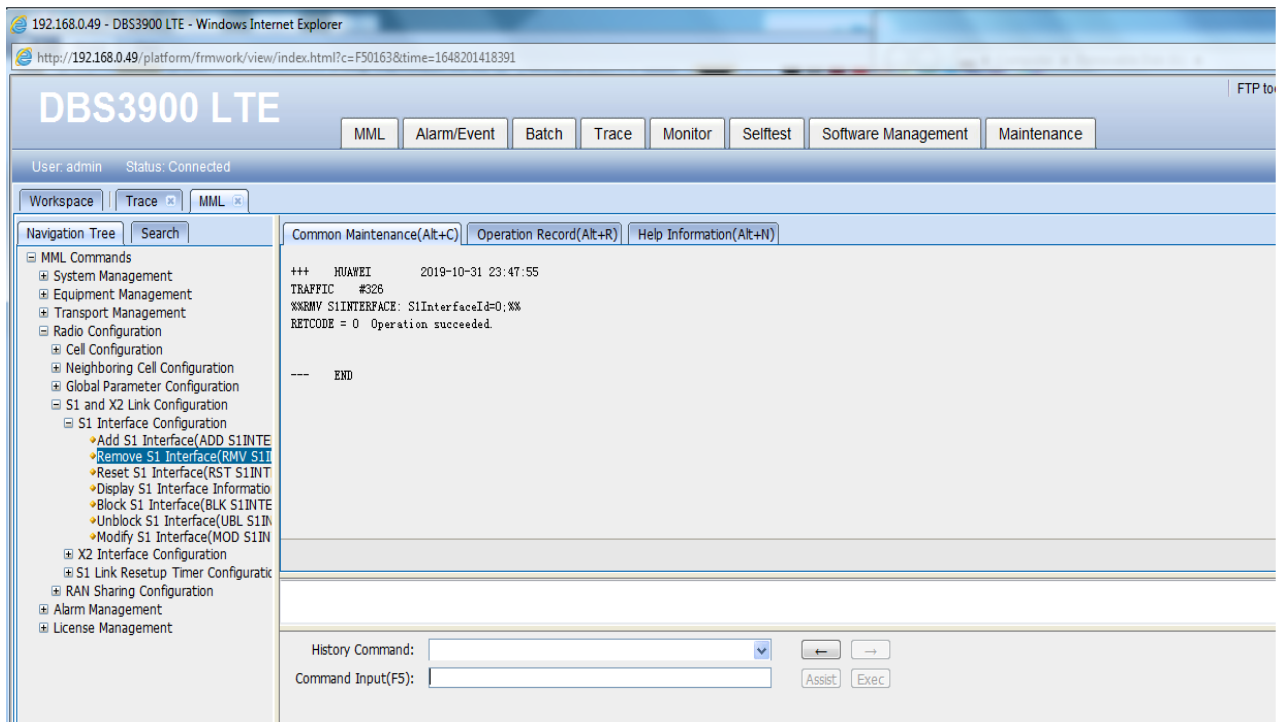


Рисунок 4.2 – Удаление интерфейса S1

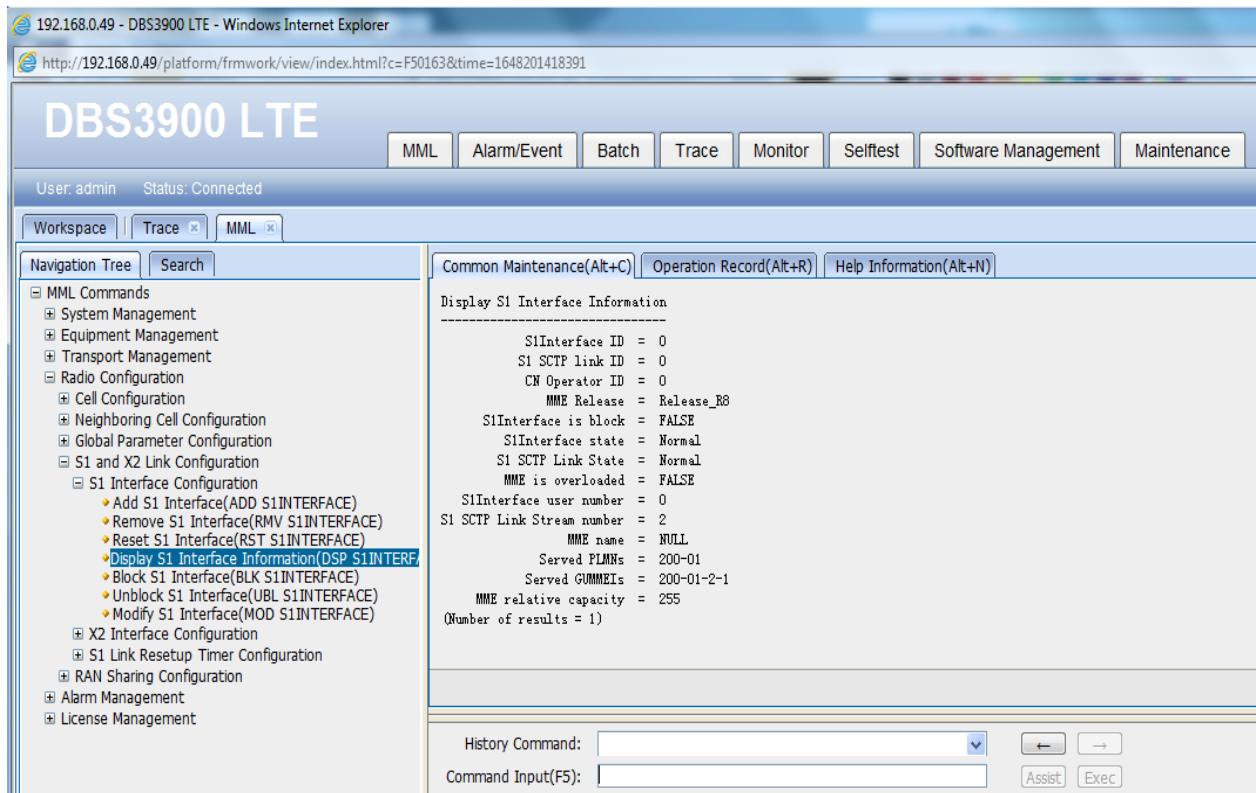


Рисунок 4.3 – Отображение состояния интерфейса S1

9 Перейдите на вкладку «Trace».

Важно! В появившемся окне «Security warning» (предупреждение) необходимо поставить внизу галочку и нажать кнопку «Run» (рисунки 4.4 и 4.5).

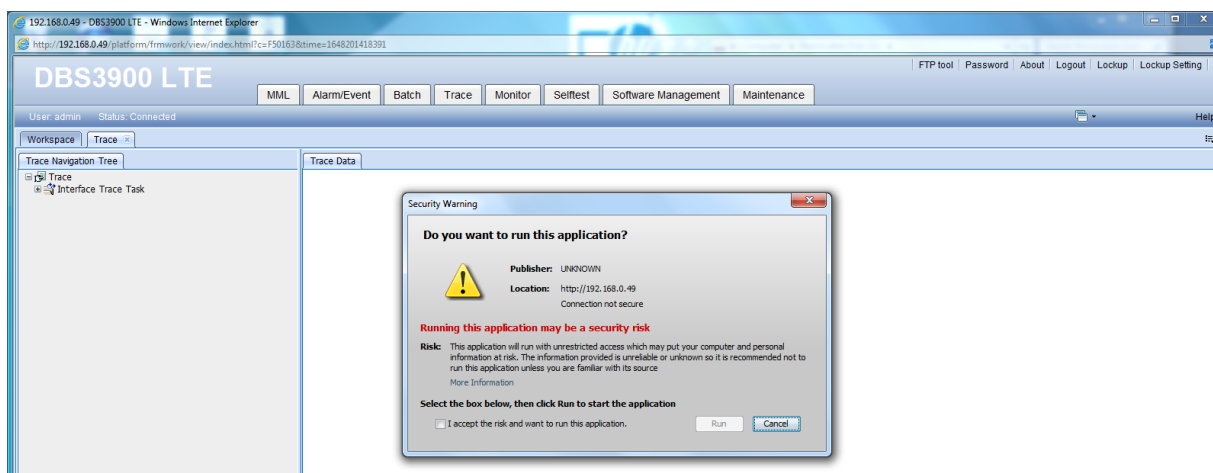


Рисунок 4.4 – Предупреждение при запуске трассировки

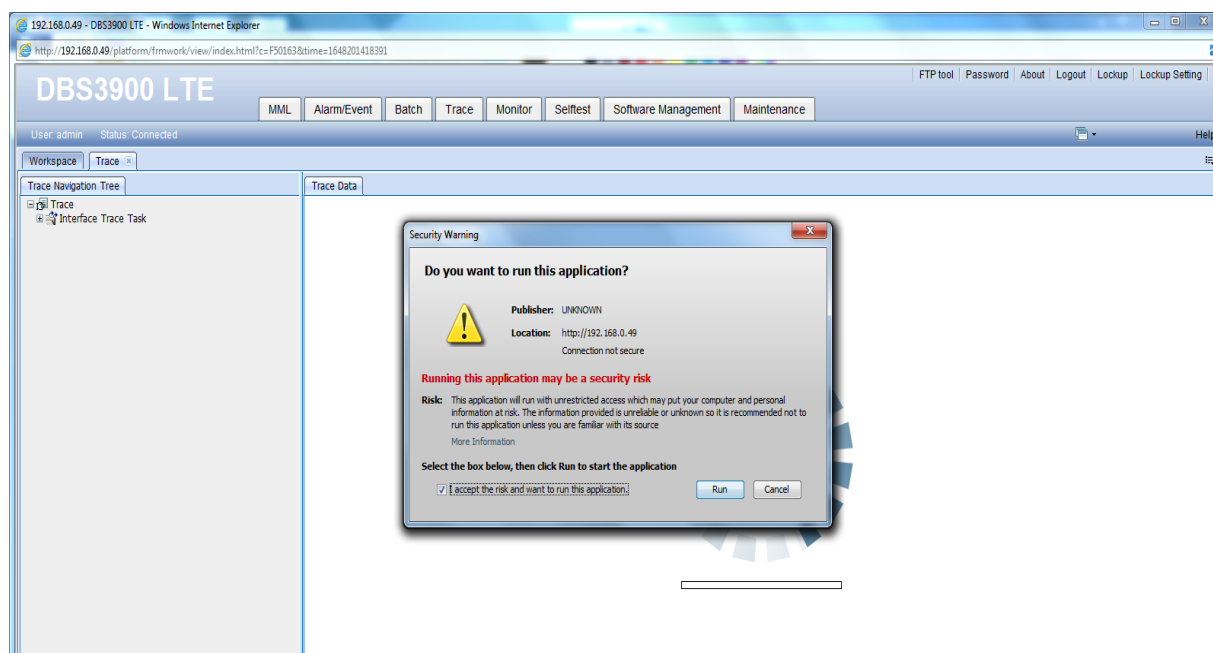


Рисунок 4.5 – Подтверждение согласия на запуск

10 В папке «Trace Navigation Tree» выберите раздел «Interface Trace Task», щёлкните по ней левой кнопкой мыши. Далее перейдите в раздел «S1 Trace». В появившемся окне необходимо удостовериться, что в поле «Trace Direction» установлен статус «Trace Both», напротив поля «Trace Type» выбрано «All MME», а в поле «Message Type» выбрано «Select All» и стоит галочка в поле «Autosave to file» (рисунок 4.6).

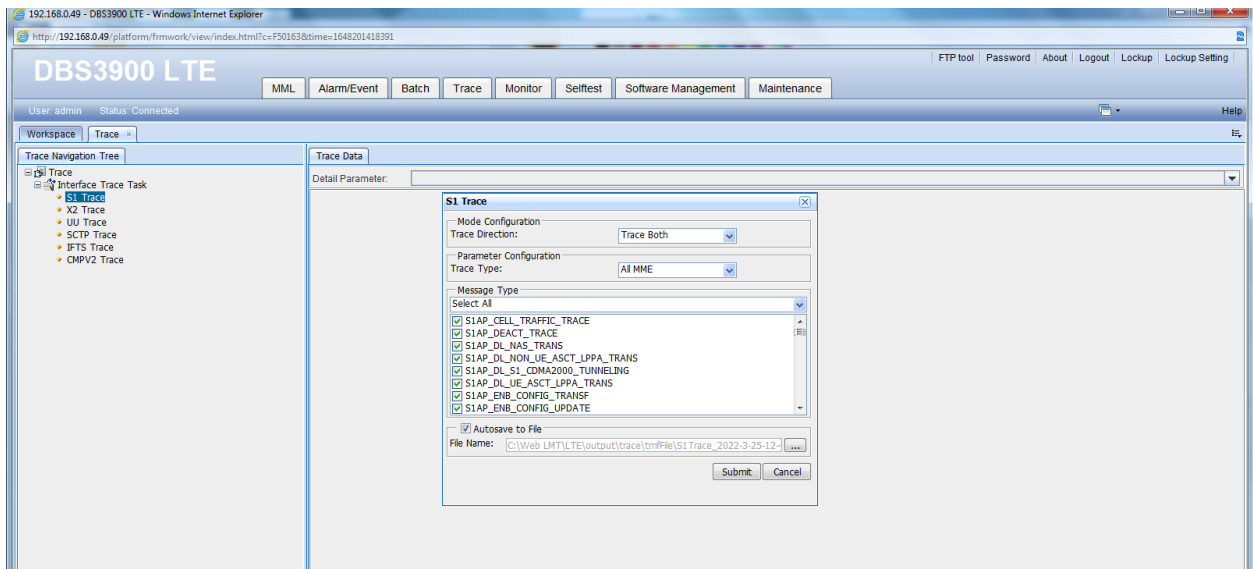


Рисунок 4.6 – Запуск трассировки интерфейса S1

11 Выполнив все указанные действия, щёлкните левой кнопкой мыши «Submit» внизу окна «S1 Trace».

12 Подождите 2–5 мин, пока появятся сообщения (рисунок 4.7).

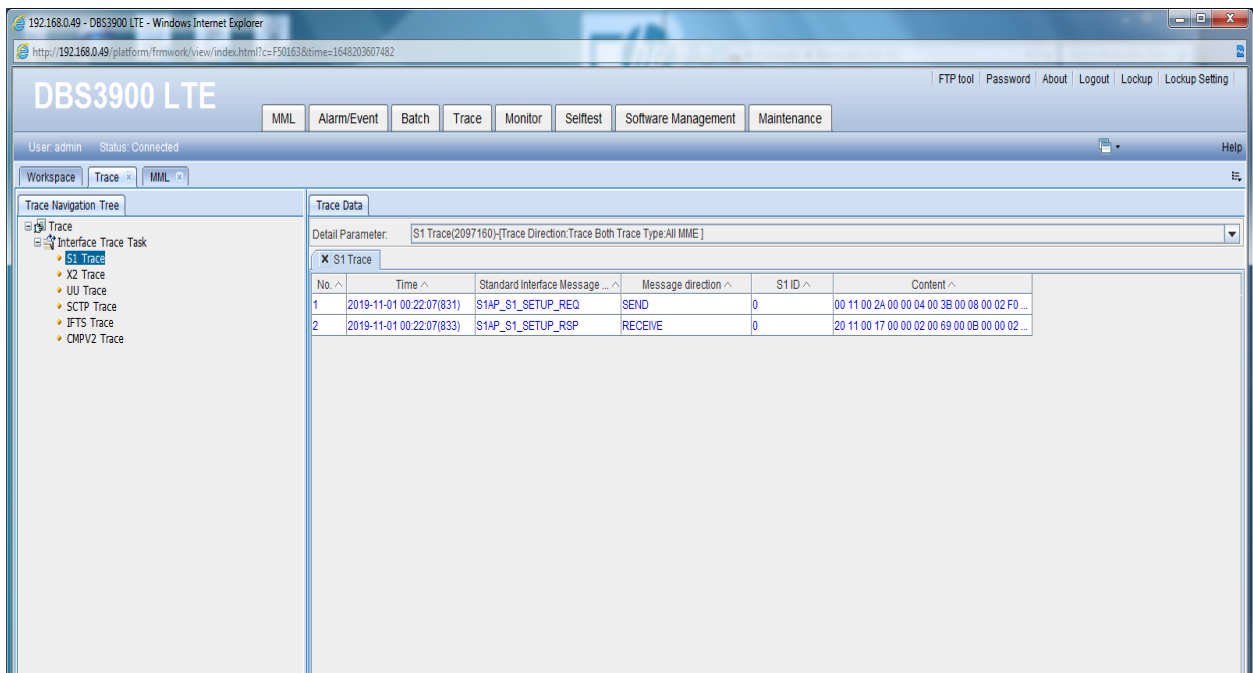


Рисунок 4.7 – Сообщения трассировки

13 Дважды щёлкните левой кнопкой мыши по сообщению для получения его содержания (рисунок 4.8).

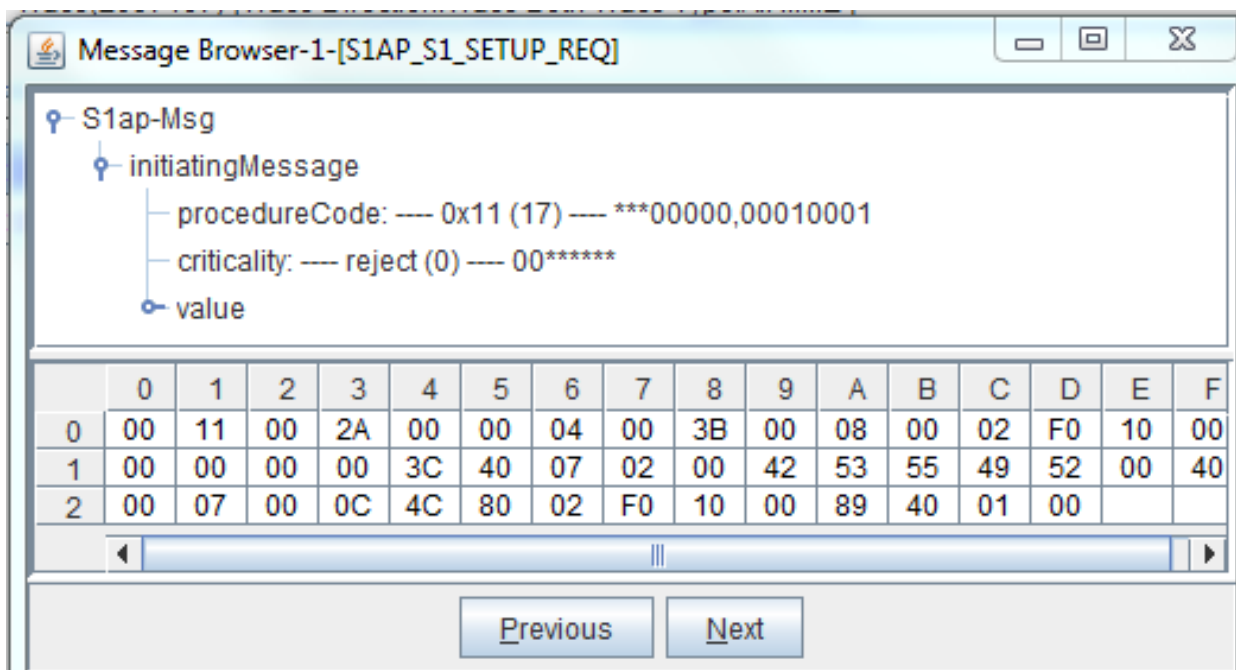


Рисунок 4.8 – Содержание сообщения

14 Перенесите таблицу внизу окна сообщения в ваш отчёт. Выделите поля, которые несут в себе полезную информацию. Пример выделения показан на рисунке 4.9.

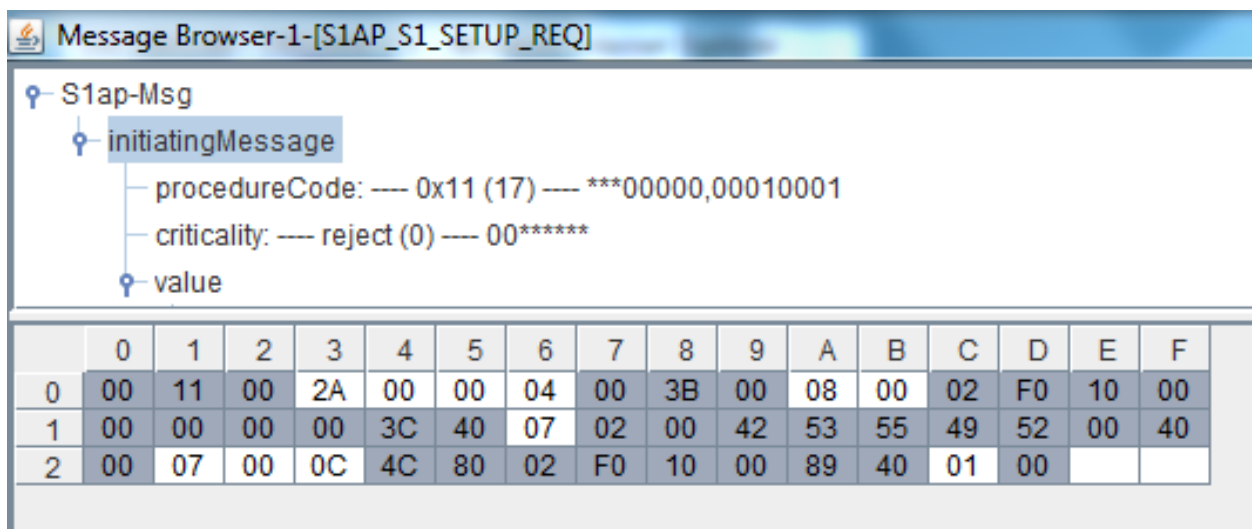


Рисунок 4.9 – Выделение команды

15 Определите код операции и значение критичности для каждого сообщения.

16 Используя полученные данные, а также таблицу 4.1, заполните результаты в виде таблиц 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Результат работы

Сообщение	Значения в сообщении	Расшифровка	Описание
Имя сообщения			
Класс сообщения			
Код процедуры			
Критичность			

Таблица 4.3 – Содержание сообщения

17 Сделайте выводы на основе полученных результатов.

18 Установите в настройках базовой станции исходные параметры. Проверьте работоспособность базовой станции и выключите питание используемого оборудования.

Содержание отчёта

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Исходные данные варианта для проведения расчётов.
- 4 Основные параметры базовой станции.
- 5 Результаты работы и результаты выполнения действий по настройке трассировки интерфейса S1 базовой станции.
- 6 Выводы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Тихвинский, В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук – М. : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.

2 Бабков, В. Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи : учеб. пособие / В. Ю. Бабков, И. А. Цикин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 432 с.

3 Варгаузин, В. А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи : учеб. пособие / В. А. Варгаузин, И. А. Цикин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 352 с.

4 Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 960 с.

5 Основная серия спецификаций на радиоподсистему LTE [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36-series.htm>. – Дата доступа : 10.10.2022.

6 3900 Series Base Station Maintenance Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа : 3900 Series Base Station Maintenance Guide(02)(PDF)-EN.pdf. – Дата доступа : 11.11.2022.

7 3900 Series Base Station LMT User Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа : 3900 Series Base Station LMT User Guide(V100R009C00_11)(PDF)-EN.pdf. – Дата доступа : 11.11.2022.

8 3900 Series Base Station Initial Configuration Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа : 3900 Series Base Station Initial Configuration Guide(V100R009C00_11)(CHM)-EN.chm. – Дата доступа : 11.11.2022.

Учебное издание

Листопад Николай Измайлович
Козел Виктор Михайлович
Каленкович Евгений Николаевич
Лобан Мария Андреевна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ И СЕТЕЙ
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Юрец*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *О. И. Толкач*

Подписано в печать 26.07.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 30 экз. Заказ 42.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск