

УДК 621.391

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА СЕТЯМИ LTE И LTE ADVANCED

**В. О. Тихвинский**, заместитель генерального директора ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» по инновационным технологиям, д. э. н., проф.; vtiiir@mail.ru  
**С. В. Терентьев**, руководитель Центра инновационных технологий и услуг ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ», к. т. н.

**Ключевые слова:** радиочастотный спектр, сеть мобильной связи, сеть беспроводного доступа, диапазон частот, частотный канал.

Разработка спецификаций 3GPP Release 8 дала старт работам над техническим обликом сетей мобильной связи новых поколений, следующих за поколением 3G, и призванных революционно изменить привычные технологии. Как известно, разработчики отказались от технологии радиointерфейса W-CDMA и перешли к более прогрессивной технологии OFDMA. Основные требования к новым сетям, которые отражены в спецификациях 3GPP Release 8, — это значительное повышение спектральной эффективности (доведение ее до 5 бит/с/Гц); повышение пропускной способности до 100 Мбит/с по линии «вниз» (DL) и 50 Мбит/с по линии «вверх» (UL) при масштабируемой ширине одного частотного канала от 1,4 МГц до 20 МГц, а также сокращение задержки передачи пакетов данных до 10 мс, по сравнению с 80 мс при технологии HSDPA (Release 5), и упрощение архитектуры сети.

**Особенности использования диапазонов частот.** В целях внедрения решений ВКР-07 [1] для систем мобильной связи семейства IMT Advanced (LTE и LTE Advanced) рабочими группами Партнерского проекта 3GPP и ETSI в технических спецификациях определены 17 полос радиочастот для режима частотного дуплекса FDD и 8 полос для режима временного дуплекса TDD, показанных в табл. 1 [2]. Диапазоны частот, специфицированные 3GPP для сети радиодоступа E-UTRA сети LTE (табл. 1), также входят в число диапазонов, определенных в Рекомендациях МСЭ для развития сетей мобильно-го беспроводного доступа 3-го и 4-го поколений.

Большинство частотных каналов режима FDD по линии «вверх» (приема базовых станций (БС) и передачи абонентской станции (АС)), как правило, используют более низкие частоты, чем по линии «вниз», за исключением диапазонов 13 и 14.

Как видно из таблицы, диапазоны, предназначенные для развития сетей LTE, уже освоены или осваиваются в России для работы сетей мобильной связи и беспроводного доступа различных технологий:

- 790—862 МГц (воздушная радионавигация РСБН, первые сотовые сети DAMPS-800 и CDMA-800);
- 880—915 МГц/925—960 МГц (GSM-900);
- 1710—1785 МГц/1805—1880 МГц (GSM-1800);
- 1900—1980 МГц/2010—2025 МГц/2110—2170 МГц (3 G/UMTS);
- 2300—2400 МГц (WiMAX)
- 2500—2690 МГц (WiMAX).

Таким образом, будущее внедрения сетей LTE в России связано с необходимостью реформирования использования радиочастотного спектра (РЧС) на основе национальных процедур его высвобождения и перепланирования.

Анализ спецификаций 3GPP и стандартов ETSI для LTE показывает, что для обеспечения требований МСЭ в отношении скорости передачи к IMT Advanced (табл. 2)

Таблица 1

Номера рабочих диапазонов	Диапазон частот, МГц		Вид дуплекса	
	Линия «вверх» (UL) Приемник БС/ Передатчик АС	Линия «вниз» (DL) Передатчик БС/ Приемник АС		
1	1920—1980	2110—2170	FDD	
2	1850—1910	1930—1990		
3	1710—1785	1805—1880		
4	1710—1755	2110—2155		
5	824—849	869—894		
6 <sup>1</sup>	830—840	875—885		
7	2500—2570	2620—2690		
8	880—915	925—960		
9	1749,9—1784,9	1844,9—1879,9		
10	1710—1770	2110—2170		
11	1427,9—1452,9	1475,9—1500,9		
12	698—716	728—746		
13	777—787	746—756		
14	788—798	758—768		
15	Зарезервирован	Зарезервирован		—
16	Зарезервирован	Зарезервирован		—
17	704—716	734—746		
18	815—830	860—875		FDD
19	830—845	875—890		
...				
33		1900—1920	TDD	
34		2010—2025		
35		1850—1910		
36		1930—1990		
37		1910—1930		
38		2570—2620		
39		1880—1920		
40		2300—2400		

Примечание 1: Диапазон 6 пока не применяется

диапазонов, специфицированных для сетей LTE (табл. 1), может не хватить для справедливого распределения ресурса между национальными операторами.

Поэтому для развития IMT Advanced в варианте LTE Advanced были специфицированы дополнительные полосы частот, увеличившие их общее число — до 22 полос (для режима частотного дуплекса FDD) и до 9 полос (для режима временного дуплекса TDD), показанные в табл. 3 [3]. Для си-

Таблица 2

Оцениваемые параметры систем	Значения параметров, Мбит/с		
	LTE Релиз 8	LTE-Advanced	IMT-Advanced
Максимальная скорость передачи данных	$\frac{300}{75}$	$\frac{1000}{500}$	1000
Максимальная спектральная эффективность (бит/Гц)	$\frac{15}{3,75}$	$\frac{30}{15}$	$\frac{15}{6,75}$

*Примечание:* В числителе указаны скорости для DL; в знаменателе — для UL

Таблица 3

Номера рабочих диапазонов	Диапазон частот, МГц		Вид дуплекса	
	Линия «вверх» (UL) Приемник БС/ Передачик АС	Линия «вниз» (DL) Передачик БС/ Приемник АС		
1	1920—1980	2110—2170	FDD	
2	1850—1910	1930—1990		
3	1710—1785	1805—1880		
4	1710—1755	2110—2155		
5	824—849	869—894		
6	830—840	865—875		
7	2500—2570	2620—2690		
8	880—915	925—960		
9	1749,9—1784,9	1844,9—1879,9		
10	1710—1770	2110—2170		
11	1427,9—1447,9	1475,9—1495,9		
12	698—716	728—746		
13	777—787	746—756		
14	788—798	758—768		
15	Зарезервирован	Зарезервирован	—	
16	Зарезервирован	Зарезервирован	—	
17	704—716	734—746	FDD	
18	815—830	860—875		
19	830—845	875—890		
20	832—862	791—821		
21	1447,9—1462,9	1495,9—1510,9		
22	3410—3500	3510—3600		
...				
33	1900—1920			TDD
34	2010—2025			
35	1850—1910			
36	1930—1990			
37	1910—1930			
38	2570—2620			
39	1880—1920			
40	2300—2400			
41	3400—3600			

*Примечание:* Частотные диапазоны в таблице могут быть изменены по результатам проводимых исследований 3GPP и ITU-R

стем IMT Advanced было выделено дополнительно 200 МГц в диапазоне 3,4—3,6 ГГц (диапазоны 22 и 41), а также применено инверсное использование полос частот еще для одного специфицированного диапазона — диапазона «цифрового дивиденда» 790—862 МГц (диапазон 20). К еще одной особенности использования РЧС системами LTE Advanced в диапазоне 3,4—3,6 ГГц следует отнести возможность одновременного использования полос 3410—3500 МГц и 3510—3600 МГц как для режима FDD, так и для режима TDD без разделения на непересекающиеся полосы FDD и TDD, как это сделано для диапазона 2500—2690 МГц. Это свидетельствует о намерении внедрения разработчиками системы LTE Advanced концепции «гибкого» использования спектра в диапазоне 3,4—3,6 ГГц [4].

Из табл. 3 видно, что выделенные LTE Advanced дополнительные диапазоны 3400—3600 МГц для режимов TDD и FDD в России уже осваиваются сетями WiMAX (диапазон 3,5 ГГц).

**Использование частотных каналов сетями LTE.** Для исследования возможных сценариев применения специфицированных диапазонов частот проанализируем требования к ширине частотных каналов, используемых абонентскими и базовыми станциями сети LTE, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Ширина канала, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Конфигурация передающих каналов — число ресурсных блоков системы LTE	6	15	25	50	75	100

В отличие от стандартного частотного канала систем UMTS шириной 5 МГц частотные каналы LTE имеют возможность и механизмы масштабирования по ширине в пределах от 1,4 до 20 МГц в зависимости от профиля услуг абоненту.

На рис. 1 показана взаимосвязь между шириной частотного канала (Channel bandwidth —  $BW_{\text{Channel}}$ ) и конфигурацией полосы передаваемого сигнала (Transmission bandwidth configuration — NRB). Принятая в системах LTE ширина одного ресурсного блока RB, из которого формируется OFDM-сигнал, составляет 180 кГц. Границы каналов определяются как значение нижней и верхней несущих частот, разнесенных на половину ширины используемого частотного канала [например,  $(F_{\text{ниж}} + BW_{\text{Channel}}/2) \div (F_{\text{верх}} - BW_{\text{Channel}}/2)$ ].

Возможности использования частотного ресурса для сетей LTE можно получить, проанализировав ресурсные возможности диапазонов частот, предназначенных для их внедрения:

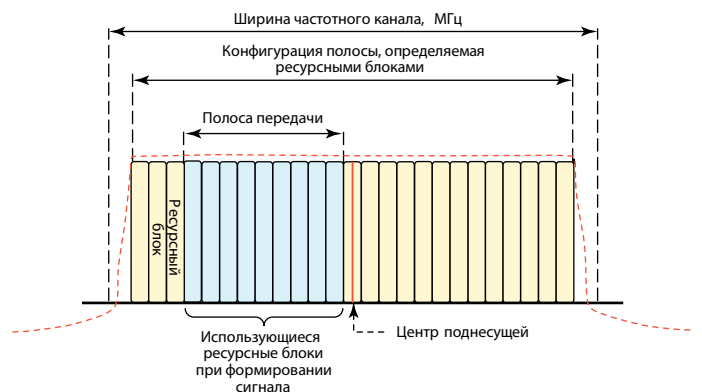


Рис. 1

Таблица 5

Номер диапазона LTE	Возможность применения каналов с шириной спектра, МГц					
	1,4 МГц	3 МГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц
1	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да
2	Да	Да	->-	->-	->-	->-
3	->-	->-	->-	->-	->-	->-
4	->-	->-	->-	->-	->-	->-
5	->-	->-	->-	->-	Нет	Нет
6	Нет	Нет	->-	->-	->-	->-
7	->-	->-	->-	->-	Да	Да
8	Да	Да	->-	->-	Нет	Нет
9	Нет	Нет	->-	->-	Да	Да
10	->-	->-	->-	->-	->-	->-
11	->-	->-	->-	->-	->-	->-
12	Да	Да	->-	->-	Нет	Нет
13	Нет	Нет	->-	->-	->-	->-
14	->-	->-	->-	->-	->-	->-
...						
17	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет
18	->-	->-	->-	->-	Да	->-
19	->-	->-	->-	->-	->-	->-
...						
33	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да
34	->-	->-	->-	->-	->-	Нет
35	Да	Да	->-	->-	->-	Да
36	->-	->-	->-	->-	->-	->-
37	Нет	Нет	->-	->-	->-	->-
38	->-	->-	->-	->-	->-	->-
39	->-	->-	->-	->-	->-	->-
40	->-	->-	->-	->-	->-	->-

Диапазон 900 МГц (доступный ресурс 35 МГц) используется, как правило, двумя-четырьмя операторами с полосами шириной менее 10 МГц. Типовой сценарий возможного использования — каналы LTE шириной 1,25—5 МГц.

Диапазон 1800 МГц (доступный ресурс 75 МГц) используется, как правило, двумя-четырьмя операторами «второй волны GSM» с полосами более 10 МГц. Типовой сценарий возможного использования — каналы LTE шириной 5—10 МГц.

Диапазон 2100 МГц (доступный ресурс 60 МГц) используется, как правило, операторами UMTS с выделенными полосами частот более 10 МГц. Типовой сценарий возможного использования — каналы LTE с шириной 5—10 МГц.

Диапазон 2600 МГц (доступный ресурс 70 МГц) для LTE/FDD определен как диапазон WARECS и допускает использование других технологий. Типовой сценарий возможного использования — каналы LTE шириной 5, 10, 15, 20 МГц.

Ввиду различной емкости диапазонов частот, которые предполагается использовать в будущем в сетях LTE и показанных в табл. 1, часть возможных частотных каналов не может быть использована, так как ширина спектра канала превышает ширину полосы выделенных частот для конкретного диапазона LTE. Соотношение применимости каналов с различной шириной спектра в сетях LTE иллюстрирует табл. 5. Возможность применения канала

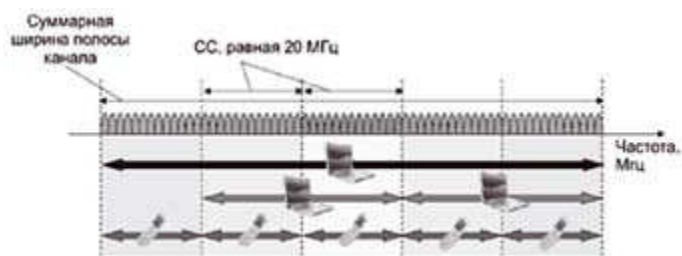


Рис. 2

с определенной шириной спектра в таблице отмечена словом «да», невозможность — словом «нет». Анализ табл. 5 показывает, что в диапазоне 2500—2690 МГц будут применяться каналы с шириной спектра 5, 10, 15 и 20 МГц.

Кроме того, проблемы с использованием диапазонов GSM-900/1800 для сетей LTE в России будут иметь не только технологические, но и регуляторные причины:

Прежде всего, это — противоречия в принципе выдачи лицензий на развертывание сетей для технологии UMTS (WCDMA-HSPA) и LTE и для сетей GSM в диапазоне 900/1800 (так как операторы GSM-900/1800 имеют региональные лицензии, а операторы 3G — национальные). Кроме того, до настоящего времени лицензии на услуги высокоскоростного доступа в сетях мобильной связи выдаются на услуги подвижной радиотелефонной связи (сети стандарта IMT/UMTS).

Таким образом, для обеспечения эффективного использования диапазона LTE необходимо совершенствовать регуляторную базу не только в области использования РЧС, но и лицензирования.

Использование в сети LTE различающихся по ширине (асимметричных) полос частот для каналов передачи и приема базовых и абонентских станций в одном сеансе связи в будущем не должно вызывать каких-либо проблем и будет рекомендовано в последующих Release 9—10.

В отличие от системы LTE для передачи и формирования широкополосных частотных каналов в системе LTE Advanced используется принцип агрегации частотных блоков для передачи группового сигнала в системе. Агрегированная ширина полосы канала до 100 МГц, включающая в себя множество базовых частотных блоков, называемых компонентными несущими (Component carriers — CC), формируется на основе агрегации (суммирования) этих частотных блоков в передающих устройствах абонентских и базовых станций LTE. Каждая компонентная несущая совместима с требованиями Release 8 к ширине частотного канала системы LTE (табл. 4). Пример агрегации показан на рис. 2.

Это позволяет удовлетворить требованиям МСЭ и 3GPP к максимальной скорости передачи данных до 1 Гбит/с для системы LTE Advanced, а также обеспечить:

- совместимость системы LTE с частотными каналами Релиза 8;
- агрегацию несущих для случаев как прилегающих, так и неприлегающих друг к другу частотных каналов, и использование асимметричных частотных каналов в режиме FDD;
- гибкое использование спектра при работе системы LTE Advanced.

Возможные сценарии, имеющие высший приоритет в рамках исследований 3GPP по использованию компонентных несущих в сетях LTE Advanced, показаны в табл. 6.

Анализ табл. 6 показывает, что рассматриваемые сценарии 3GPP включают сценарии, обеспечивающие как максимальные возможности системы LTE Advanced в режиме TDD

Таблица 6

Ширина полосы передатчика, МГц	Число и особенности использования компонентных несущих	Диапазон, ГГц	Вид дуплекса
UL: 40 DL: 80	UL: прилегающие 2 × 20 МГц CC DL: прилегающие 4 × 20 МГц CC	3,5	FDD
100	прилегающие 5 × 20 МГц CC	40 (2,3)	TDD
100	прилегающие 5 × 20 МГц CC	3,5	TDD
UL: 40 DL: 80	UL: не прилегающие 20 + 20 МГц DL: не прилегающие 2 × 20 + 2 × 20 МГц	3,5	FDD
UL: 10 DL: 10	UL/DL: не прилегающие 5 + 5 МГц	8 (900)	FDD
80	не прилегающие 2 × 20 + 2 × 20 МГц	38 (2,6)	TDD

с полосой агрегированного канала 100 МГц, так и минимальные — с частотными каналами 10 МГц в режиме FDD.

**Заключение.** Проведенный в статье анализ показывает, что использование диапазонов частот в сетях LTE и LTE Advanced будет осуществляться на принципах мультидиапазонности, связанных с видом услуги и географической зоной обслуживания.

Основным диапазоном первого этапа развития сетей LTE станет диапазон 2500—2690 МГц (со стратегией ис-

пользования парной полосы UL: 2,500—2,570 ГГц, DL: 2,620—2,690 ГГц для режима FDD и непарной полосы 2,570—2,620 ГГц для режима TDD).

Диапазоны частот GSM-900/1800 МГц будут использоваться в сетях LTE и LTE Advance как дополнительные, с приоритетом диапазона GSM-900 МГц, с учетом позиций регуляторов и вендоров.

Критерием при выборе величины необходимого частотного ресурса в процессе планирования использования систем LTE и LTE Advance может служить условие достижения эффективности их внедрения по сравнению с действующими системами IMT/UMTS последних модификаций (Release 6 и 7).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Влияние результатов ВРК-07 на дальнейшее развитие мобильной связи//Мобильные телекоммуникации. — 2008. — № 3. Стр. 30—34
2. 3GPP TS 36.104. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8).
3. 3GPP TR 36.912. Technical Specification Group Radio Access Network; Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (Release 9).
4. Тихвинский В.О. Применение сервисной и технологической нейтральности для повышения эффективности использования спектра в сетях LTE/UMTS/WiMAX//«Т-Comm» (Телекоммуникации и транспорт), Специальный выпуск. 2009. Стр. 11—18.

Получено 20.04.10

**ГИПРОСВЯЗЬ**  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГ КОНСАЛТИНГ

с 1932 г.

ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» - ведущий российский институт в области проектирования объектов связи. За 78 лет существования компании специалистами ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» были спроектированы практически все сети связи и важнейшие объекты связной инфраструктуры России и большинства стран СНГ. Особое внимание всегда уделяется качеству проектирования. ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» ориентируется на интересы своих заказчиков, решает задачи проектирования и внедрения новых технологий: беспроводного широкополосного доступа, включая LTE и WiMAX, магистральной связи MPLS, DWDM, фиксированного доступа GPON, FTTx, теле и радиовещания DVB, DAB.

ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» (Москва)  
123298 Москва,  
ул. 3-я Хорошевская, д. 11  
Тел.: +7(499) 197 12 31  
+7(499) 197 10 84  
факс: +7(499) 197 10 74  
e-mail: mail@giprosvyaz.ru

Северо-Западный филиал  
ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ»  
197110, Санкт-Петербург,  
ул. Красного Курсанта, д. 25-В  
Тел.: 812 333-3696,  
факс: 812 333-3690  
E-mail: mail@giprosvyaz-sz.ru

Южный филиал  
ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ»  
350062, г. Краснодар,  
ул. Гагарина, д. 67  
тел.: (861) 253-39-00,  
тел./факс: (861) 221-36-06  
E-mail: mail@ug-giprosvyaz.ru

Сибирский филиал  
ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ»  
630108, г. Новосибирск,  
проезд Энергетиков, 11  
e-mail: mail@giprosib.ru  
тел./факс: (383) 301-21-04

www.giprosvyaz.ru