

Анализ планов размещения частотных каналов сотовой связи

1. Полосы частот GSM

Для сетей сотовой связи стандарта GSM в мире используются полосы частот в диапазонах 900, 1800 и 1900 MHz. Изначально для GSM были выделены полосы частот в диапазоне 900 MHz. В некоторых странах для предоставления большей пропускной способности сети используются расширенные диапазоны частот E-GSM и R-GSM. В контексте расширенных диапазонов частот, обычный диапазон носит название P-GSM (primary).

Таблица 1 - Диапазоны частот GSM.

Передача	P-GSM 900	E-GSM 900	R-GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Uplink	890 – 915 MHz	880 - 915 MHz	890 – 925 MHz	1710 – 1785 MHz	1850 – 1910 MHz
Downlink	935 – 960 MHz	925 - 960 MHz	935 – 970 MHz	1805 – 1880 MHz	1930 – 1990 MHz
Длина волны, см.	~33	~33	~33	~17	~16
Выделяемая полоса в одну сторону, MHz	25	35	35	75	60
Дуплексный разнос, MHz	45	45	45	95	80
Канальный разнос, kHz	200	200	200	200	200

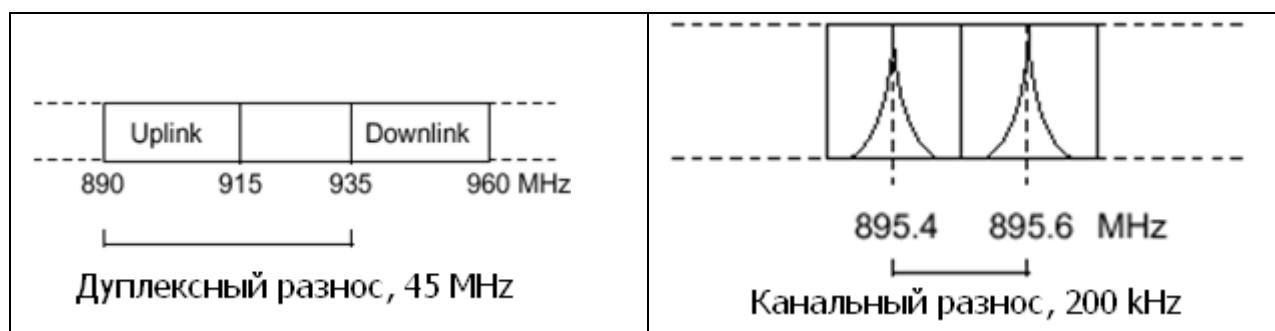


Рис. 1. Пояснение дуплексного и канального разноса.

2 Планы размещения частот для наземного сегмента ИМТ-2000

Технические спецификации систем 3G утверждены МСЭ под обозначением ИМТ-2000 (Международная подвижная электросвязь-2000). В Регламенте радиосвязи (РР) определены полосы частот, предназначенные для использования на всемирной основе администрациями, желающими внедрить ИМТ-2000 как указано в пп. 5.388, 5.384А и 5.317А Регламента радиосвязи и в Резолюциях 212 (Пересм. ВКР-07), 223 (Пересм. ВКР-12), 224 (Пересм. ВКР-12), 225 (Пересм. ВКР-12), а именно:

- 806–960 МГц; (полоса 790-960 МГц в Районе 1)

- 1710–1885 МГц;
- 1885–2025 МГц;
- 2110–2200 МГц;
- 2300–2400 МГц
- 2500–2690 МГц.

Это определение не препятствует использованию этих полос каким-либо применением служб, которым они распределены, и не устанавливает приоритета в РР.

В качестве руководства по выбору планов размещения частот передачи и приема для наземного сегмента системы ИМТ-2000, МСЭ принята Рекомендация МСЭ-R М.1036-3 «Планы размещения частот для внедрения наземного сегмента системы Международной подвижной электросвязи-2000 (ИМТ-2000) в полосах 806–960 МГц, 1710–2025 МГц, 2110–2200 МГц и 2500–2690 МГц».

В последний раз данная Рекомендация пересматривалась 2007 г, следовательно, она не учитывает спецификации оборудования, разработанные впоследствии, которые все же не противоречат данной Рекомендации. Например, согласно Рекомендации М.1036-3 полосы 1920 - 1980 МГц / 2110 - 2170 МГц рекомендуется использовать в режиме FDD а полоса 2010 - 2025 МГц – в режиме TDD (см. ниже). Согласно TS 102 735 от 2010 г., полоса 1900 - 1920 МГц может использоваться в паре с полосой 2600 - 2620 МГц и полоса 2010 - 2025 МГц в паре с 2585 - 2600 МГц системой UMTS в режиме FDD.

2.1 Парные планы размещения частот в полосе 806–960 МГц согласно Рекомендации МСЭ-R М.1036-3

Рекомендованные планы размещения частот, учитывающие существующие системы подвижной связи, приведены в таблице 2 и Рис. 2.

Таблица 2 – Парные планы размещения частот в полосе 806–960 МГц.

План размещения частот	Uplink (MHz)	Центральный просвет⁽¹⁾ (MHz)	Downlink (MHz)	Дуплексный разнос (MHz)
A1	824–849	20	869–894	45
A2	880–915	10	925–960	45

ПРИМЕЧАНИЕ 1 – Из-за перекрытия полос частот восходящего и нисходящего направления и из-за различного использования в разных Районах полос частот 806–824 МГц, 849–869 МГц и 902–928 МГц, в ближайшем и среднесрочном будущем общего решения найдено не будет.

(1) Центральный просвет – частотный разнос между верхней границей нижней полосы частот (восходящее направление) и нижней границей верхней полосы частот (нисходящее направление) в парных полосах частот FDD.

2.2 Планы размещения частот в полосе 1710–2200 MHz согласно Рекомендации МСЭ-R М.1036-3

Рекомендованные планы размещения частот, учитывающие существующие системы подвижной связи приведены в таблице 3 и Рис. 2. Полоса 2025–2110 МГц в этот план размещения частот не входит. Используется два метода дуплексного разноса: дуплексный режим с частотным (FDD) и временным (TDD) разделением. В режиме FDD используются частотный разнос восходящего направления (uplink) и нисходящего направления (downlink), поэтому используются парные полосы частот. В режиме TDD используется временной разнос между каналами uplink и downlink в пределах одной полосы частот.

Таблица 3 – Планы размещения частот в полосе 1710–2200 MHz.

План размещения частот	Uplink (MHz)	Центральный просвет (MHz)	Downlink (MHz)	Дуплексный разнос (MHz)	Непарные полосы (TDD) (MHz)
B1	1 920–1 980	130	2 110–2 170	190	1 880–1 920; 2 010–2 025
B2	1 710–1 785	20	1 805–1 880	95	Нет
B3	1 850–1 910	20	1 930–1 990	80	1 910–1 930
B4 (гармонизированный с B1 и B2)	1 710–1 785 1 920–1 980	20 130	1 805–1 880 2 110–2 170	95 190	1 900–1 920; 2 010–2 025
B5 (гармонизированный с B3 и участками B1 и B2)	1 850–1 910 1 710–1 770	20 340	1 930–1 990 2 110–2 170	80 400	1 910–1 930

ПРИМЕЧАНИЕ 1 – В полосах частот 1710–2025 MHz и 2110–2200 MHz три базовых плана размещения частот (B1, B2 и B3) уже используются в сотовых системах подвижной связи, включая ИМТ-2000. На основании этих трех планов размещения частот рекомендуются различные их комбинации, описанные в B4 и B5. План B1 и план B2 являются полностью взаимодополняющими, тогда как план B3 частично пересекается с планами B1 и B2.

Для стран, реализовавших план B1, план B4 обеспечивает возможность оптимизации использования спектра для работы в спаренных полосах ИМТ-2000.

Для стран, реализовавших план B3, план B1 может быть объединен с планом B2. Следовательно, для оптимизации использования спектра рекомендуется использовать B5:

– План B5 позволяет добиться максимального использования спектра для ИМТ-2000 в тех странах, где реализован план B3, и где полоса 1770–1850 MHz не доступна на первоначальном этапе развертывания ИМТ-2000 в этой полосе частот.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 – TDD может использоваться при определенных условиях, в полосах восходящего направления и/или в центральном просвете между парными

полосами частот.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 – Если в терминалах используется технология, позволяющая иметь возможность выбора/смены технологии дуплексного разнеса в качестве наиболее эффективного способа управления использованием различных планов размещения частот, тот факт, что соседние страны могут выбрать план В5, никак не скажется на сложности терминала. Требуется дальнейшие исследования.

2.3 Планы размещения частот в полосе 2500–2690 МГц согласно Рекомендации МСЭ-R М.1036-3

Рекомендованные планы размещения частот, учитывающие существующие системы подвижной связи приведены в таблице 4 и Рис. 2.

Таблица 4 – Планы размещения частот в полосе 2500–2690 МГц (не включая спутниковый сегмент)

План размещения частот	Uplink (МГц)	Центральный просвет (МГц)	Downlink (МГц)	Дуплексный разнос (МГц)	Использование Центрального просвета
C1	2 500–2 570	50	2 620–2 690	120	TDD
C2	2 500–2 570	50	2 620–2 690	120	FDD DL (внешний)
C3	Гибкий FDD/TDD				

ПРИМЕЧАНИЕ 1 – В плане С1, для того чтобы содействовать использованию оборудования FDD, решения о защитных полосах частот, требуемых для обеспечения совместимости по соседней полосе на границах 2570 МГц и 2620 МГц, будут приняты на национальном уровне и будут использованы в полосе частот 2570–2620 МГц, и должны быть минимально необходимыми, на основе Отчета МСЭ-R М.2045.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 – В плане С3, администрации могут использовать полосу частот только для TDD или для каких-либо комбинаций TDD и FDD. Администрации могут использовать любой дуплексный разнос FDD и любое направление дуплексной передачи. Однако, когда администрации принимают решение об использовании смешанных каналов FDD/TDD с фиксированным дуплексным разнесом для FDD, предпочтительными являются дуплексный разнос и направление дуплексной передачи, показанные в плане С1.

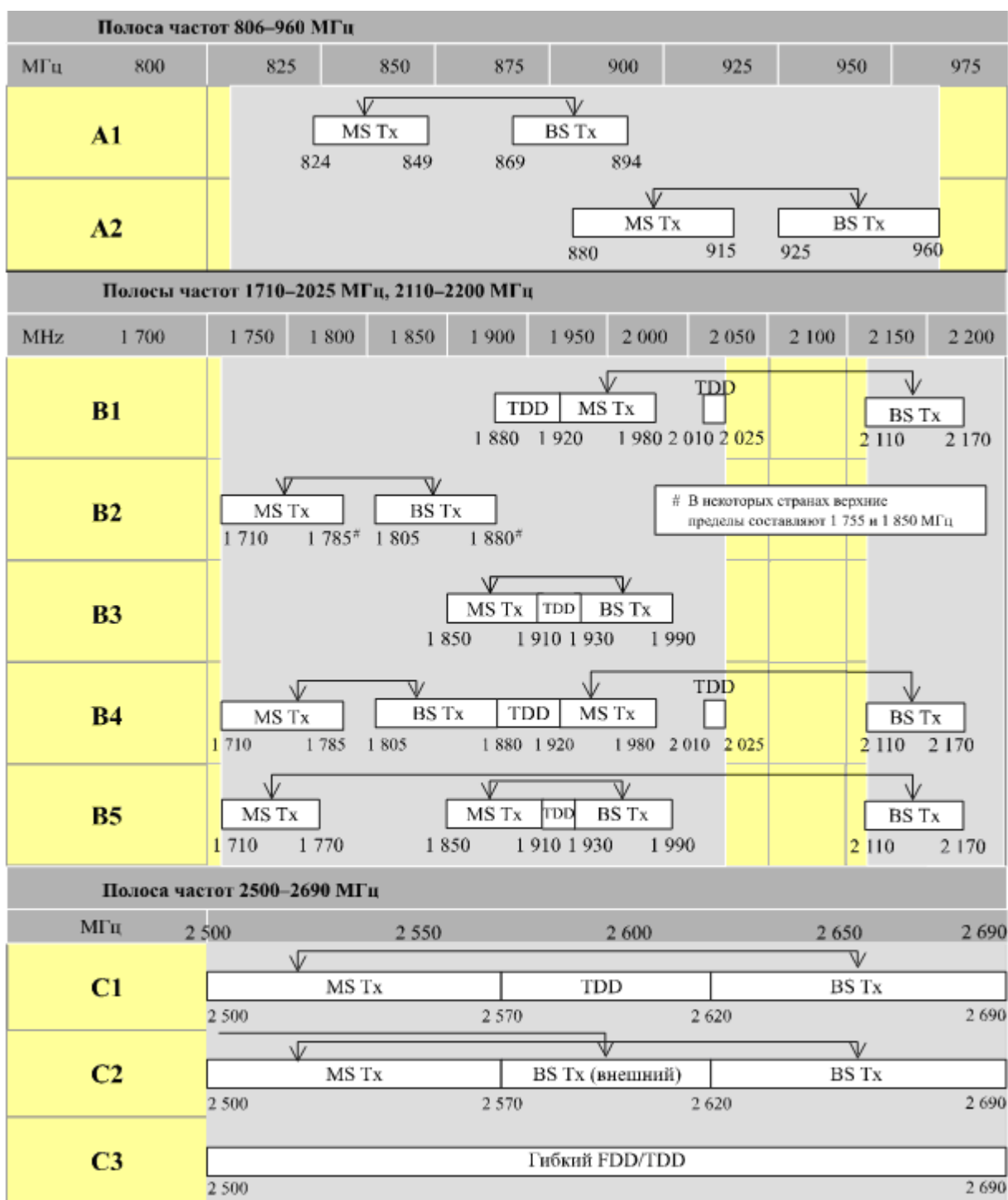


Рис. 2. Планы размещения частот для IMT-2000. Стрелки обозначают парные полосы частот.

3 Полосы частот LTE-Advanced

В 2008 г. МСЭ для обозначения систем, возможности которых превосходят возможности систем IMT-2000 (которые соответствуют системам 3G), ввел в обращение термин IMT-Advanced. Ассамблея Радиосвязи МСЭ 2012 года включила стандарты "LTE-Advanced" и "WirelessMAN-Advanced" в

семейство IMT-Advanced. Следовательно, система LTE-Advanced может позиционироваться как система 4G.

Полосы частот оборудования LTE-Advanced установлены спецификациями 3GPP (3rd Generation Partnership Program). Согласно стандарта 3GPP TS 36.141 Release 10 (более известная как спецификация LTE-Advanced) определены следующие рабочие полосы частот:

Таблица 5 – Полосы частот LTE-Advanced (3GPP TS 36.141 Release 10).

Рабочая полоса частот, №	Полоса частот восходящего направления (uplink, UL), MHz	Полоса частот нисходящего направления (downlink, DL), MHz
Режим дуплекса: FDD		
1	1920-1980	2110-2170
2	1850-1910	1930-1990
3	1710-1785	1805-1880
4	1710-1755	2110-2155
5	824-849	869-894
6	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	1427,9-1447,9	1475,9-1495,9
12	699-716	729-746
13	777-787	746-756
14	788-798	758-768
15	Зарезервировано	Зарезервировано
16	Зарезервировано	Зарезервировано
17	704-716	734-746
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	3410-3490	3510-3590
23	2000 - 2020	2180-2200
24	1626.5 - 1660.5	1525-1559
25	1850 - 1915	1930-1995
Режим дуплекса: TDD		
33	1900-1920	
34	2010-2025	
35	1850-1910	
36	1930-1990	
37	1910-1930	
38	2570-2620	
39	1880-1920	
40	2300-2400	
41	2496-2690	

42	3400-3600
43	3600-3800

Ширина полосы частот одного частотного канала BW может составлять одно из значений 1,4, 3, 5, 10, 15 или 20 MHz.

Канальный разнос между соседними частотными каналами зависит от сценария развертывания сети, размеров доступных частотных блоков и ширины частотных каналов. Разнос несущих соседних частотных каналов шириной BW_1 и BW_2 соответственно, составляет:

$$(BW_1 + BW_2)/2 \quad (1)$$

Канальный разнос может быть оптимизирован для конкретного сценария развертывания сети.

Предыдущий релиз LTE также поддерживает распределение полос различной ширины, начиная со значения 1,25 MHz, что позволяло осуществить переход от систем cdma2000/1xEV-DO до значения 20 MHz, которое необходимо для предоставления наивысшей скорости доступа. Дальнейшее увеличение скорости, в частности необходимое для выполнения требований IMT-Advanced может быть достигнуто только путем еще большего увеличения ширины рабочей полосы частот. В то же время необходимо соблюсти совместимость с существующими сетями LTE, тем самым был предложен метод агрегирования (объединения компонентных несущих). Для обеспечения гибкости использования доступного спектра, LTE-Advanced поддерживает агрегирование как смежных, так и несмежных частотных полосах. Каждая компонентная несущая воспринимается терминалом LTE как несущая LTE, в то время как терминал LTE-Advanced воспринимает общую полосу 100 MHz.

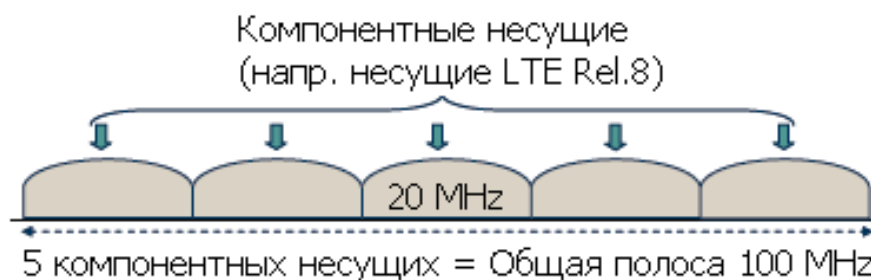


Рис. 3. Пример агрегирования несущих (случай смежных несущих).

Различается три вида агрегирования:

- межполосное агрегирование несущих – агрегирование несущих из различных рабочих полос частот;
- внутриполосное агрегирование смежных несущих – смежные несущие агрегируются в пределах одной и той же рабочей полосы частот;

- внутриполосное агрегирование несмежных несущих - несмежные несущие агрегируются в пределах одной и той же рабочей полосы частот.

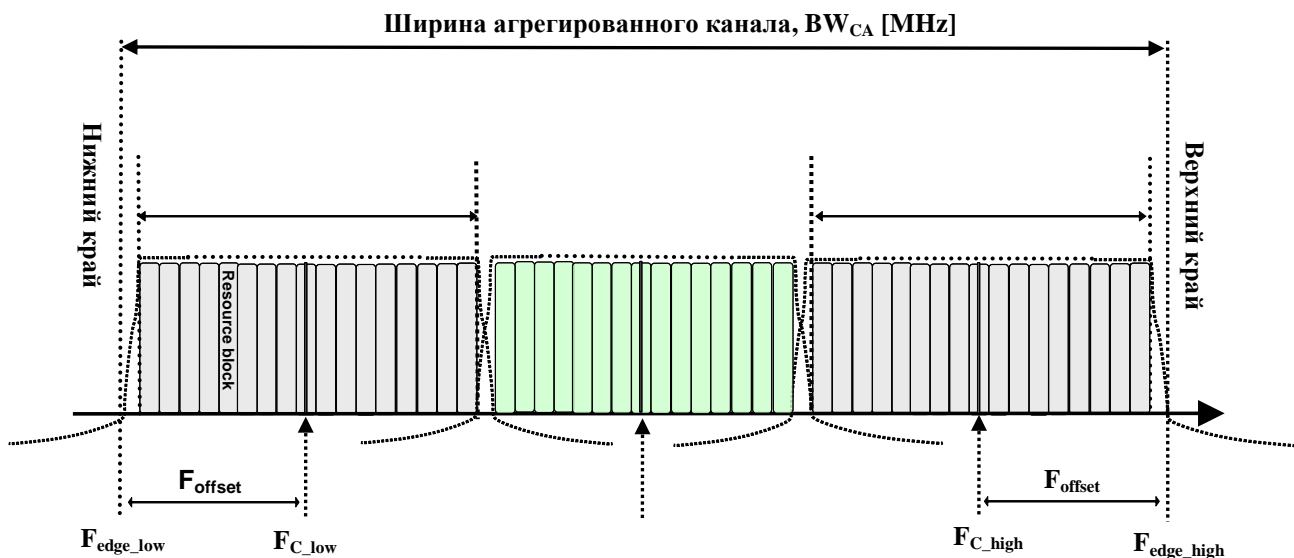


Рис. 4. Пояснение ширины агрегированного канала при внутриполосном агрегировании смежных несущих

Таблица 6 - Определение смещения F_{offset}

Ширина канала нижней или верхней несущей: $BW_{Channel}[MHz]$	$F_{offset}[MHz]$
5, 10, 15, 20	$BW/2$

F_{offset} вычисляется отдельно для нижнего и верхнего края агрегированного канала.

Канальный разнос между соседними каналами при внутриполосном агрегировании смежных несущих должен быть кратен 300 kHz, но не превышать номинальный канальный разнос, который вычисляется по следующей формуле:

$$\text{Номинальный канальный разнос} = \left\lceil \frac{BW_{(1)} + BW_{(2)} - 0.1|BW_{(1)} - BW_{(2)}|}{0.6} \right\rceil 0.3$$

Шаг сетки частот составляет 100 kHz для всех полос частот. Это означает, что частота несущей всех каналов должна быть кратной 100 kHz.

3.1 План размещения каналов LTE-Advanced

Несущая в восходящем и нисходящем направлении обозначается абсолютным номером радиочастотного канала E-UTRA (EARFCN), который изменяется в пределах 0 - 65535. Соотношение между номером и частотой несущей (в МГц) канала для нисходящего направления определяется следующим вычислением,

$$F_{DL} = F_{DL_low} + 0.1(N_{DL} - N_{Offs-DL}) \quad (2)$$

Значения F_{DL_low} и $N_{Offs-DL}$ приведены в Таблице 3. N_{DL} – номер канала в нисходящем направлении.

Соотношение между номером и частотой несущей (в МГц) канала для восходящего направления определяется следующим вычислением,

$$F_{UL} = F_{UL_low} + 0.1(N_{UL} - N_{Offs-UL}) \quad (3)$$

Значения F_{UL_low} и $N_{Offs-UL}$ приведены в Таблице 7. N_{UL} – номер канала в нисходящем направлении.

Таблица 7 – Номера частотных каналов

Рабочая полоса частот	Downlink			Uplink		
	F_{DL_low} [MHz]	$N_{Offs-DL}$	Номера каналов N_{DL}	F_{UL_low} [MHz]	$N_{Offs-UL}$	Номера каналов N_{UL}
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	728	5000	5000 – 5179	698	23000	23000 – 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	6000 – 6149	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
...						
33	1900	36000	36000 – 36199	1900	36000	36000 – 36199
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

Примечание: Номера каналов не должны использоваться, если канал выходит за пределы рабочей полосы частот. Это означает, что первые 7, 15, 25, 50, 75 и 100 номеров канала у нижнего края рабочей полосы частот и последние 6, 14, 24, 49, 74 и 99 номеров канала у верхней границе рабочего диапазона не должны использоваться при значениях ширины канала 1.4, 3, 5, 10, 15 и 20 MHz соответственно.

3.2 Возможные сценарии развертывания сети LTE и LTE-Advanced

В настоящее время проводится рассмотрение 4 сценариев размещения частот при развертывании сети LTE-Advanced.

1. Смежное распределение в пределах одной полосы частот для FDD (UL:40 MHz, DL:80 MHz);
2. Смежное распределение в пределах одной полосы частот для TDD (100 MHz);
3. Несмежное распределение в различных полосах частот для FDD (UL:40MHz, DL:40 MHz);
4. Несмежное распределение в различных полосах частот для TDD (90 MHz).

Таблица 8 – Сценарии распределения частотных каналов LTE-Advanced

Вид дуплекса	Ширина полосы передатчика	Число и особенности использования компонентных несущих (CC)	Возможный диапазон
FDD	UL: 40 МГц DL: 80 МГц	UL: Смежные 2x20 МГц DL: Смежные 4x20 МГц	Диапазон 3,5 ГГц
TDD	100 МГц	Смежные 5x20 МГц	Полоса 40 (2,3 ГГц)
TDD	100 МГц	Смежные 5x20 МГц	Диапазон 3,5 ГГц
FDD	UL: 40 МГц DL: 80 МГц	UL: Не смежные 20 + 20 МГц DL: Не смежные 2x20 + 2x20 МГц	Диапазон 3,5 ГГц
FDD	UL: 10 МГц DL: 10 МГц	UL/DL: Не смежные 5 + 5 МГц	Полоса 8 (900 МГц)
TDD	80 МГц	Не смежные 2x20 + 2x20 МГц	Полоса 38 (2,6 ГГц)

Особенности использования полосы «цифрового дивиденда» 790-862 МГц и частотного плана в странах СЕРТ определены Решением ЕСС/DEC/(09)03. Согласно данному решению предпочтительным режимом является FDD, тогда как использование TDD может быть решено на национальном уровне. В качестве оптимального значения для частотного разноса выбрана ширина 1 МГц, а для дуплексного интервала - 11 МГц. Установлен предпочтительный гармонизированный план размещения частот в Приложении 1 данного решения, те администрации планирующие использовать частотный план отличный от приведенного в Приложении 1, должны следовать Приложению 2. Администрации должны принять минимальные технические требования установленные в Приложении 3.

Гармонизированный частотный план в соответствии с Приложением 1 приведен на рисунке 5.

790-791	791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Защитная полоса	Нисходящее направление						Дуплексный интервал	Восходящее направление					
1 МГц	30 МГц (6 блоков по 5 МГц)						11 МГц	30 МГц (6 блоков по 5 МГц)					

Рис. 5.

Администрации не имеющие возможности следовать Приложению 1, могут рассмотреть следующие возможности согласно Приложению 2:

- частичную реализацию частотного плана согласно Приложения 1;
- использование режима TDD в соответствии с частотным планом, приведенным на рисунке 6.

790-797	797-802	802-807	807-812	812-817	817-822	822-827	827-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Защитная полоса	Непарные полосы												
7 MHz	65 MHz (13 блоков по 5 MHz)												

Рис. 6.

- комбинированное использование режимов TDD и FDD, как это указано в Приложении 5 Отчета СЕРТ 31.

- использование частотной сетки с шагом 1 МГц.