



на шаг впереди

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СЕТЕЙ LTE – ГЛАВНАЯ ПРОБЛЕМА В СТРАНАХ СНГ

**Скрынников В.Г., эксперт ОАО «Мобильные ТелеСистемы», член-корреспондент РАЕН,
кандидат технических наук**

Региональный обучающий семинар МСЭ для стран СНГ
«Перспективы развития инфокоммуникаций: технологии и вопросы регулирования сектора».
23- 24 сентября 2014 года, г. Астана, Республика Казахстан

ЦЕЛЬ ДОКЛАДА**ЦЕЛЬ**

Показать проблемы и некоторые решения по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) сетей LTE с РЭС гражданского и военного назначения

ПРЕДПОСЫЛКИ

Сложность электромагнитной обстановки в полосах радиочастот, выделенных для сетей LTE в странах СНГ

ОСОБЕННОСТИ

1. Специфика новых систем ИМТ не всегда позволяет эффективно применять традиционные подходы к обеспечению ЭМС
2. Системы ИМТ предоставляют возможность для применения иных подходов к обеспечению ЭМС



на шаг впереди

Радиочастотный спектр для LTE

Европа

450 МГц: 450-470 МГц - ВКР-07

800 МГц (Band 20): 790-862 МГц (2x30 МГц) - ВКР-12

900 МГц (Band 8): 880-915/925-960 МГц - ВКР-2000+рефарминг

1800 МГц (Band 3): 1710-1785/1805-1880 МГц - ВКР-2000+рефарминг

2100 МГц (Band 1): 1920-1980/2110-2170 МГц (2x60 МГц) - ВКР-2000+рефарминг в перспективе

2300 МГц (Band 40): 2300-2400 МГц (1x100 МГц) - ВКР-07

2600 МГц (Band 7): 2500-2570/2620-2690 МГц (2x70 МГц) - ВКР-2000

2600 МГц (Band 38): 2570-2620 МГц (1x50 МГц) - ВКР-2000

3400 МГц (Band 22): 3410-3490/3510-3590 МГц (2x80 МГц) - ВКР-07

3400 МГц (Band 42): 3400-3600 МГц (1x200 МГц) - ВКР-07

3600 МГц (Band 43): 3600-3800 МГц (1x200 МГц) – Решение Евросоюза (3GPP, CEPT)

Перспектива:

694-790 МГц – ВКР-2015 (п.1.1 повестки)

Другие дополнительные полосы радиочастот - ВКР-2015 (п.1.2 повестки)



Россия

450 МГц: 450-470 МГц – Решение ГКРЧ (операторы ИМТ-МС)

700 МГц: 720-750/761-791 МГц (2x30 МГц) – Решение ГКРЧ (2011 г.)

800 МГц (Band 20): 890-915/935-960 МГц (2x25 МГц) – конкурс (2012 г.)

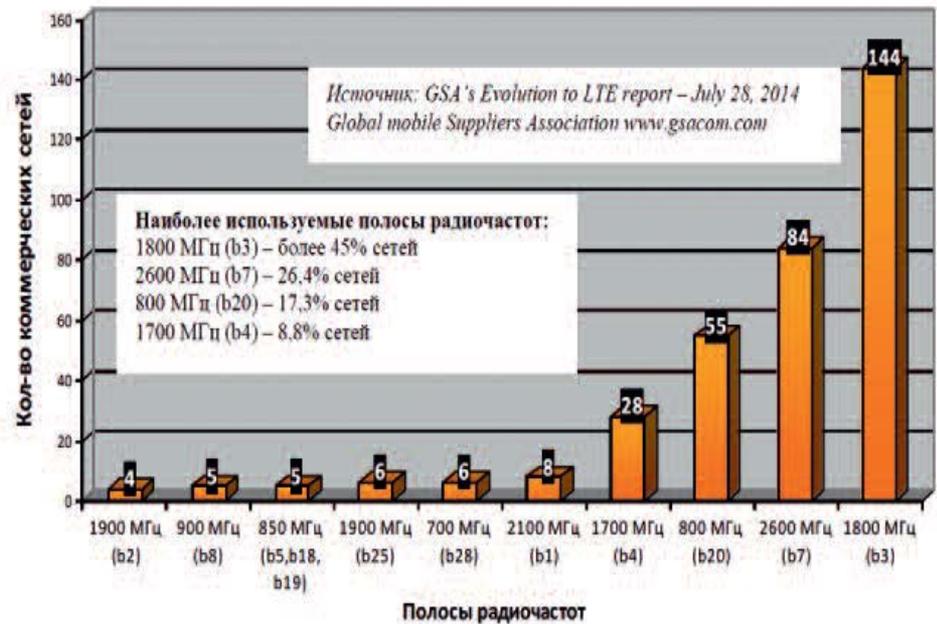
900 МГц (Band 8): 791-821/832-862 МГц (2x30 МГц) – рефарминг (2014 г.)

1800 МГц (Band 3): 1710-1785/1805-1880 МГц – рефарминг (2013 г.)

2300 МГц (Band 40): 2300-2400 МГц (1x100 МГц) – Решение ГКРЧ (2011 г.)

2600 МГц (Band 7): 2500-2570/2620-2690 МГц (2x70 МГц) – Решение ГКРЧ (2011 г.)

2600 МГц (Band 38): 2570-2620 МГц (1x50 МГц) – Москва, МО - Решение ГКРЧ (2011 г.)





на шаг впереди

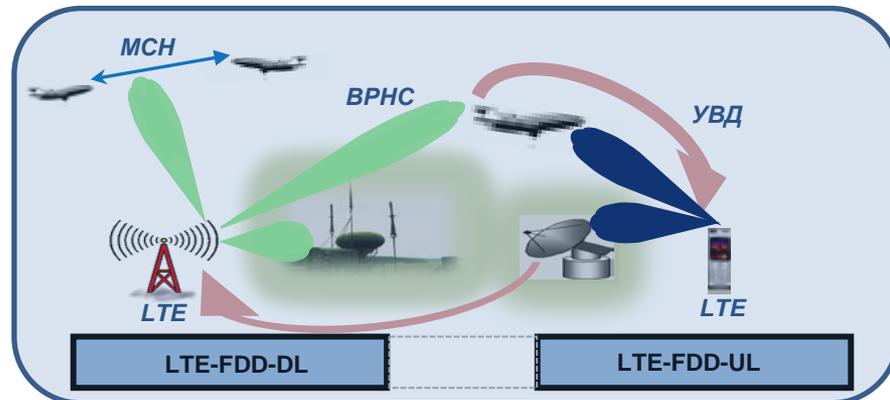
ПРОБЛЕМЫ ПО ЭМС

800 МГц (791-821 МГц/832-862 МГц)



Регламент радиосвязи

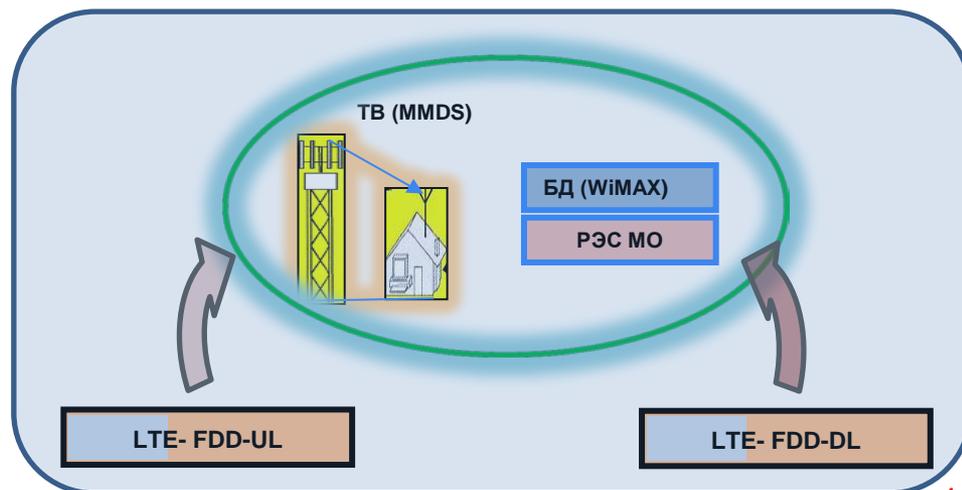
5.312 Additional allocation: in Armenia, Azerbaijan, Belarus, the Russian Federation, Georgia, Kazakhstan, Uzbekistan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Ukraine, the band 645-862 MHz, in Bulgaria the bands 646-686 MHz, 726-758 MHz, 766-814 MHz and 822-862 MHz, in Romania the band 830-862 MHz, and in Poland, the band 830-860 MHz until 31 December 2012 and the band 860-862 MHz until 31 December 2017, are also allocated to the aeronautical radionavigation service on a primary basis. (WRC-12)

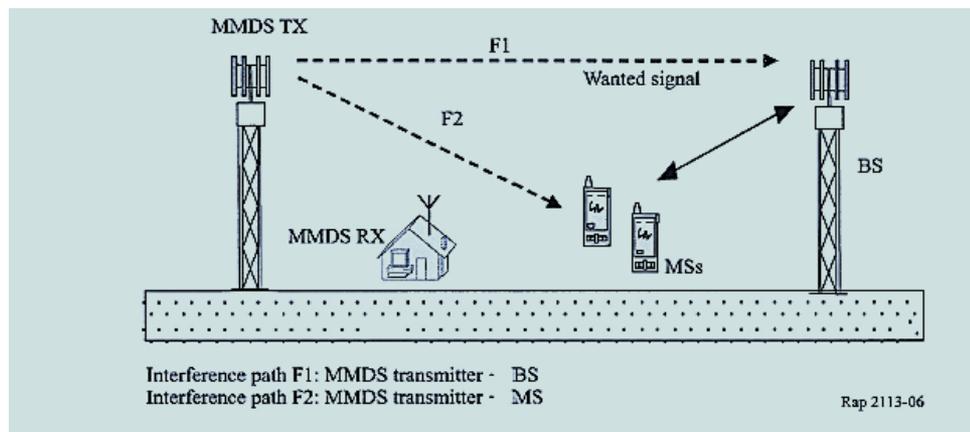
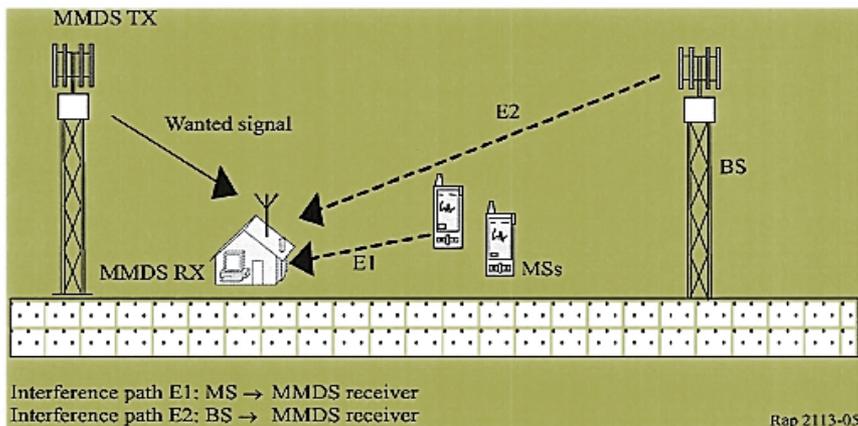


Межсамолетная навигация (MCH)

Исследования показали, что функционирование РЭС стандарта LTE в полосе радиочастот 791,0-821,0 МГц будет оказывать помеховое воздействие недопустимого уровня на работу бортового оборудования РСБН в режимах межсамолетной навигации «Встреча» и «Определения взаимных координат» (ОВК).

2600 МГц (2500-2570 МГц/2620-2690 МГц)





Rep. ITU-R M.2113-1 1

REPORT ITU-R M.2113-1

Sharing studies in the 2 500-2 690 MHz band between IMT-2000 and fixed broadband wireless access systems including nomadic applications in the same geographical area

(2007-2008)

Смежные полосы частот

Сценарий помехового влияния	Требуемый частотный разнос для UMTS, МГц	Требуемый частотный разнос для LTE, МГц
MS → MMDS Rx	0	-
BS → MMDS Rx	20	10
MMDS Tx → BS	15	5
MMDS Tx → MS	10	-

Общая полоса частот (со-канальная помеха)

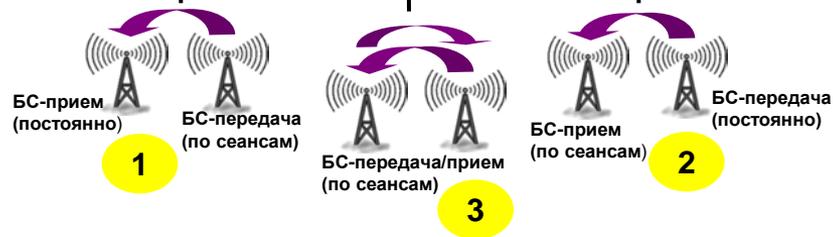
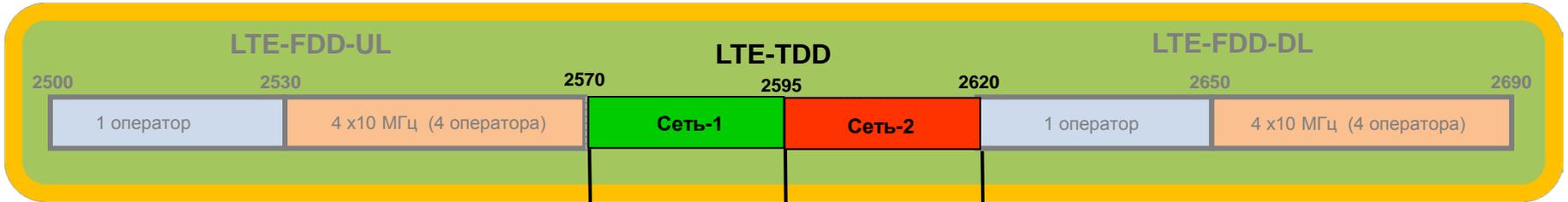
Сценарий помехового влияния	Требуемый пространственный разнос для UMTS, км	Требуемый пространственный разнос для LTE, км
MS → MMDS Rx	5	-
BS → MMDS Rx	70 (Macro Cell)	30
MMDS Tx → BS	70 (Macro Cell)	10
MMDS Tx → MS	5	-



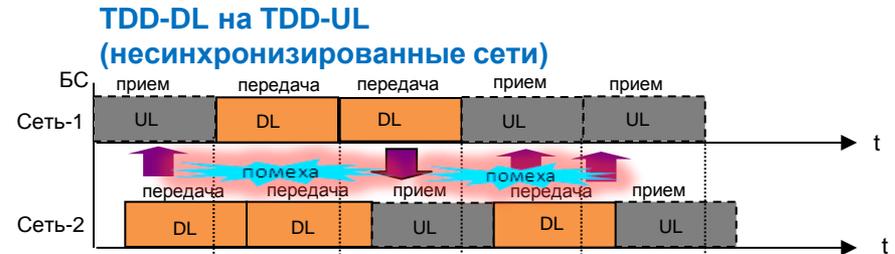
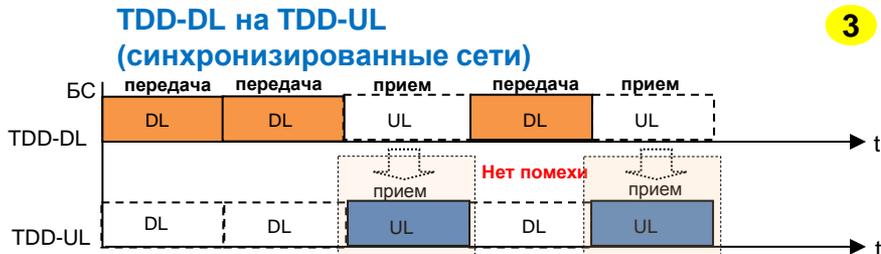
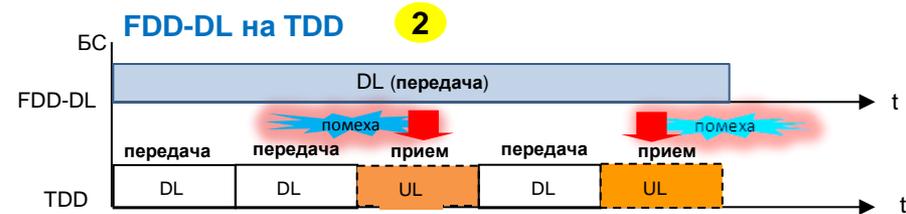
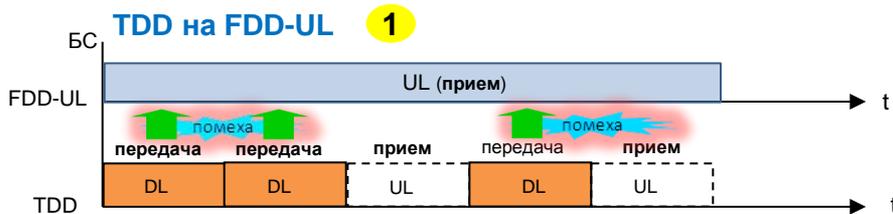
на шаг впереди

ПРОБЛЕМЫ ПО ЭМС, ПРИСУЩИЕ СЕТЯМ TDD

2600 МГц (2570-2620 МГц)



TDD networks		
3GPP band	Frequency	Number of networks
40	2.3 GHz	15
38	2.6 GHz	9
41	2.6 GHz	5
42	3.5 GHz	3
39	1.9 GHz	1





на шаг вперед

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПО ЭМС



Особенности новых радио-технологий в плане ЭМС





на шаг вперед

КРИТИЧНОСТЬ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ЭМС ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ

Эффективность инвестиций

$CAPEX \sim \{t_{\text{план}}, R_{\text{max}}\}$
ДОХОД = $R \times C \times t$

t – время окупаемости;

R – реально возможная скорость передачи данных в сети (Мбит/с);

R_{max} – максимальная (ожидаемая) пропускная способность внедряемой технологии (Мбит/с);

C – условная стоимость единицы передаваемых данных.



$$\eta = \frac{t_{\text{план}}}{\arg \left\{ \frac{CAPEX |_{C^*, R_{\text{max}}}}{\arg \left\{ \text{ДОХОД} |_{C, R} \right\}} \right\}} \quad (\text{A})$$

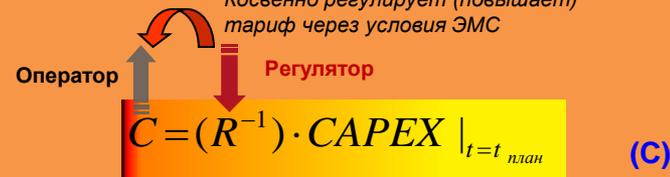
$\eta = 1$ – ожидаемое условие

Повышение скорости передачи данных приводит к снижению стоимости единицы передаваемых данных

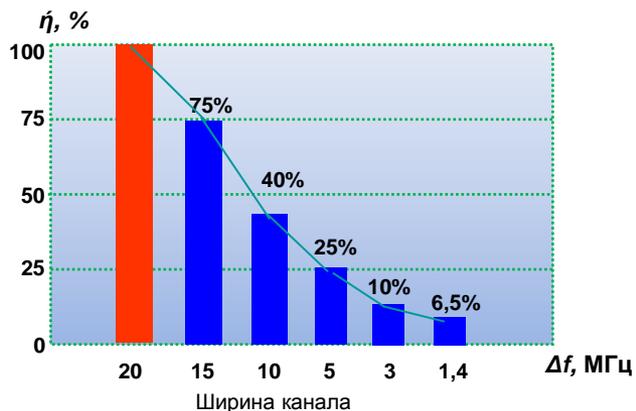
$$\downarrow C = \uparrow (R^{-1}) \cdot CAPEX |_{t=t_{\text{план}}} \quad (\text{B})$$

$\eta < 1$ – ограничения по ЭМС

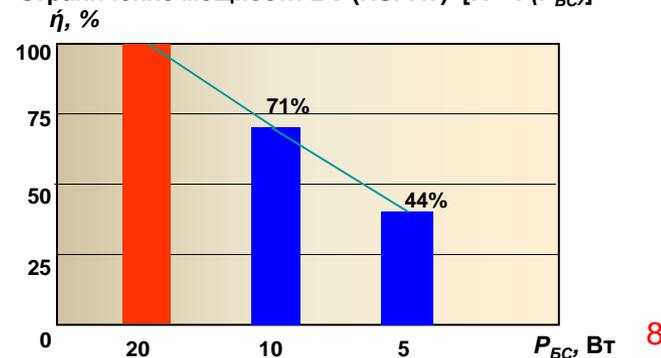
Косвенно регулирует (повышает) тариф через условия ЭМС



Ограничение частотного ресурса для LTE [$R = F(\Delta f)$]



Ограничение мощности БС (HSPA+) [$R = F(P_{\text{БС}})$]



НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭМС.

Агрегирование радиочастотного спектра.

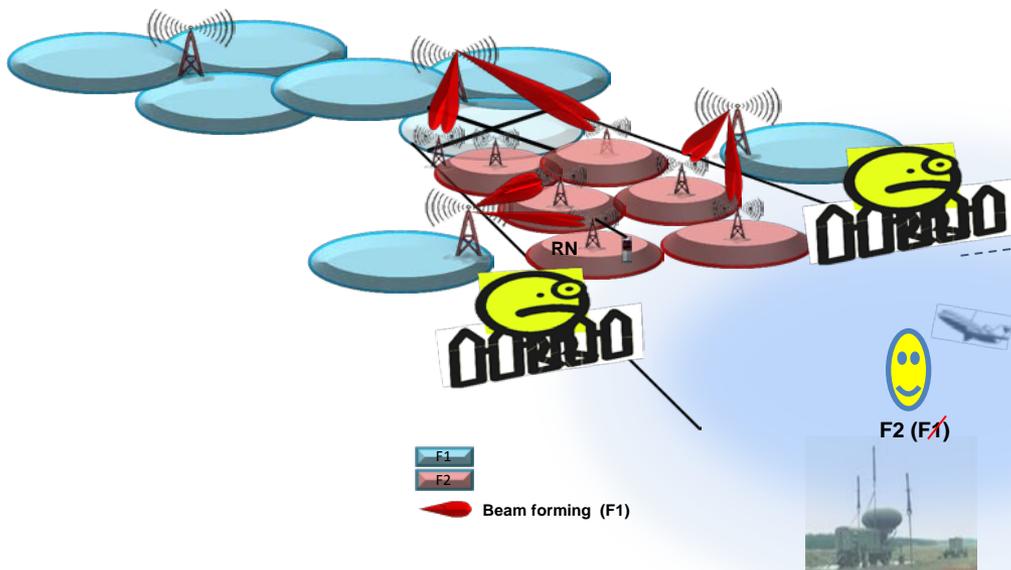
Ретрансляция в сотах сети

Сценарии	Полоса А		Полоса В	
	БС (DL)	АТ (UL)	БС (DL)	АТ (UL)
1	+/-	+/-	-	-

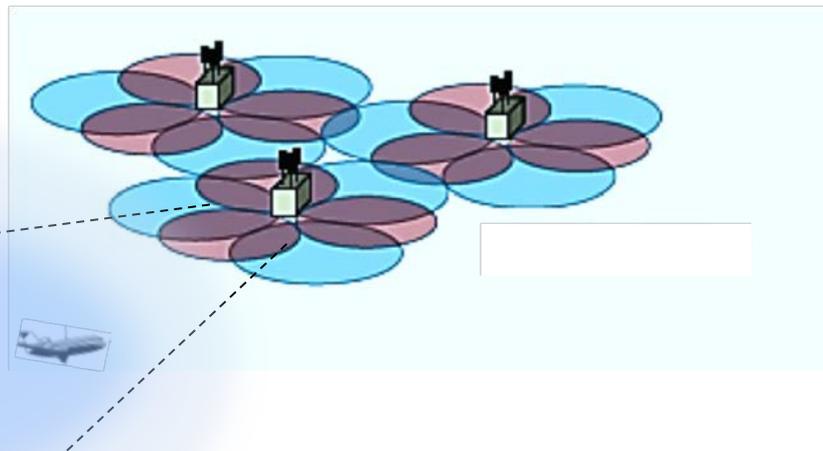
Полоса А (F1: 800 МГц) – недоступна только в районе аэродрома

Полоса В (F2: 2600 МГц) – имеет ограничения по мощности излучения БС на всей территории (доступна с энергетическими ограничениями на всей локальной территории)

Решение 1
(Relay + Beam forming)



Решение 2
(CA – агрегирование спектра)



- ❑ Ретрансляционные узлы (Relay Node) с низкой мощностью излучения (стандартная мощность 250 мВт...1 Вт) в проблемной зоне;
- ❑ Режим формирования направленного луча (Beam-forming) на БС (макро-).

- ❑ Агрегирование полос А и В (F1+F2);
- ❑ Разное направление секторов для каждой полосы частот в проблемной зоне (запрещенное направление секторов с F1 в сторону проблемной зоны).



на шаг впереди

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭМС (решения 3,4,5)

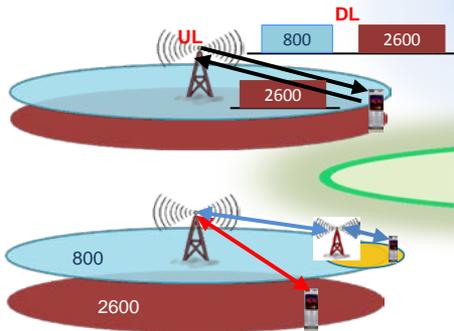
Сценарии	800 МГц		2600 МГц	
	БС (DL)	АТ (UL)	БС (DL)	АТ (UL)
2	+	-	+	+

Полоса 800 МГц (F1) – запрет на использование абонентских терминалов (АТ) в зоне аэродрома;
 Полоса 2600 МГц (F2) – нет ограничений.

Сценарии	800 МГц		2600 МГц	
	БС (DL)	АТ (UL)	БС (DL)	АТ (UL)
3	-	-	+	+

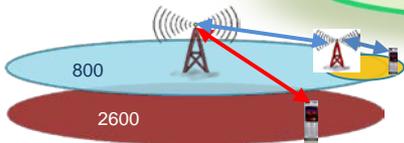
Решение 3

DL: 800 +2600
 UL: 2600



Решение 4

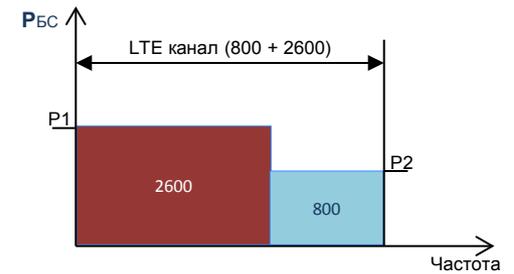
CA: 800_Relay +2600



Решение 5

CA: 800_огр. P_{БС}+2600

Координационное расстояние





на шаг впереди

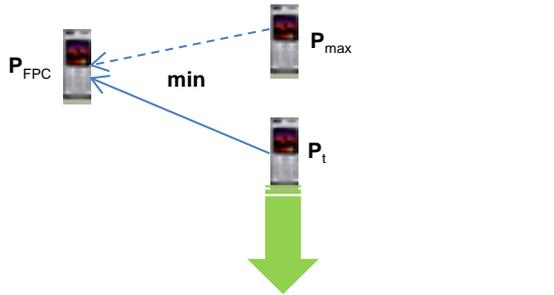
НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭМС (решение 6)

Сценарии	800 МГц		2600 МГц	
	БС (DL)	АТ (UL)	БС (DL)	АТ (UL)
2	+	-	+	+

Полоса 800 МГц (F1) – запрет на использование абонентских терминалов (АТ) в зоне аэродрома (исключение возможности обслуживания АТ на расстоянии 1...2 км от аэродрома);
Полоса 2600 МГц (F2) – не имеет ограничений.

Решение 6
DL: 800 + 2600
UL: 800_FPC + 2600

Парциальная регулировка мощности АТ (FPC)

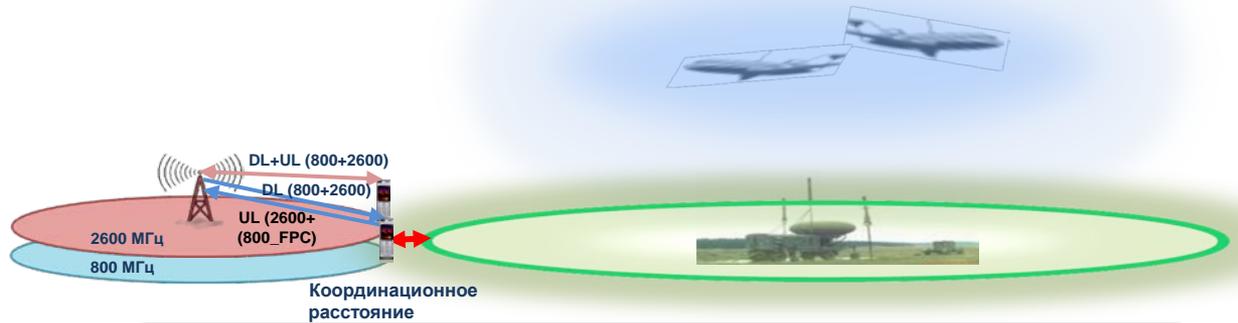


$$P_t = P_0 + \alpha L + \log N^{UL} + \Delta_{MSC} + f(\Delta) \quad (1)$$

Общий уровень мощности для всех АТ во всех сотах

Потери на трассе распространения (L) с частичной компенсацией (α – параметр компенсации)

Размер выделенного частотного ресурса (кол-во RB) для АТ в UL. Для канала 5 МГц меняется в небольших пределах (≈ const)



Ограничение по ЭМС (координационное расстояние)

$$P_t < P_{max} - \Delta \quad (3)$$

Δ – ограничение мощности АТ по условиям ЭМС

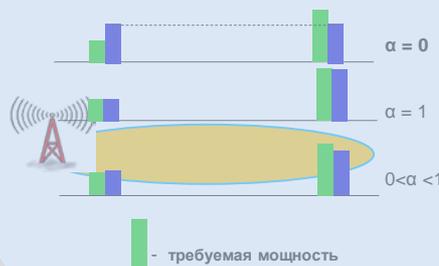
$$\alpha < \frac{1}{L(d)} (P_{max} - \Delta - P_0 - 10 \log N^{UL}) \quad (4)$$

Значения α при разных радиусах соты и ограничениях мощности АТ: P_max=23 дБм, P_0=50 дБм, N^UL=3 RB (пример)

Радиус соты (d), км	Значения параметра α	
	Δ = 3 дБ	Δ = 5 дБ
1	0,52 (0,5)	0,5 (0,5)
2	0,5 (0,5)	0,48 (0,4)
3	0,52 (0,5)	0,46 (0,4)
4	0,46 (0,4)	0,44 (0,4)
5	0,44 (0,4)	0,44 (0,4)

$$P_t \approx P_0 + \alpha L + 10 \log N^{UL} \quad (2)$$

α = 0: компенсации нет.
 α = 1: полная компенсация.
 0 < α < 1: частичная (фракционная) компенсация.
 α ∈ [0; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1] – 3GPP.
 На практике: α = 0,6; 0,8





на шаг впереди

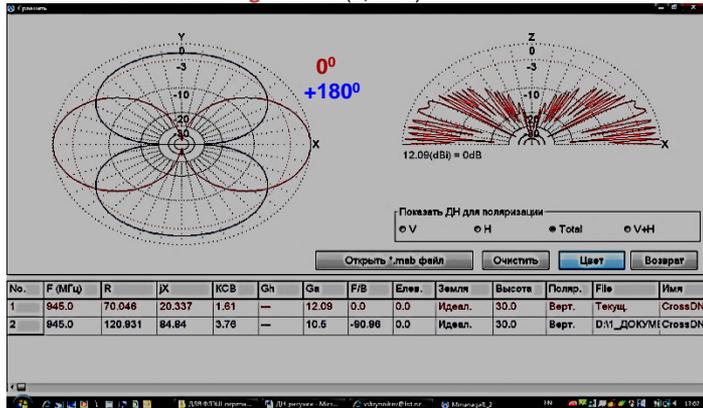
ЭМС при MIMO

Режимы MIMO/LTE

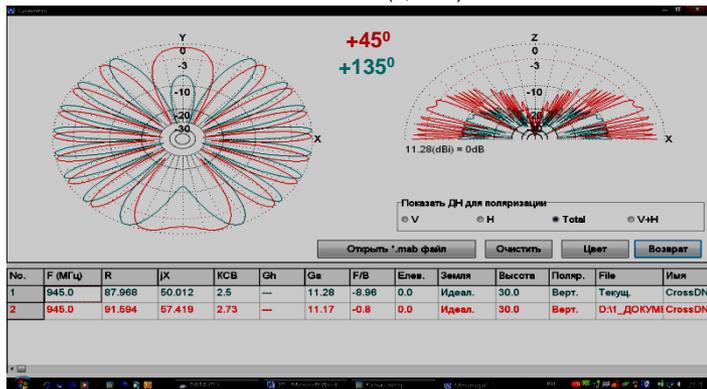


Диаграммо-образующие схемы MIMO

2 вертикальных $\lambda/2$ -диполя; частота 945 МГц
Beam-forming: $d = \lambda/2$ (0,16 м)

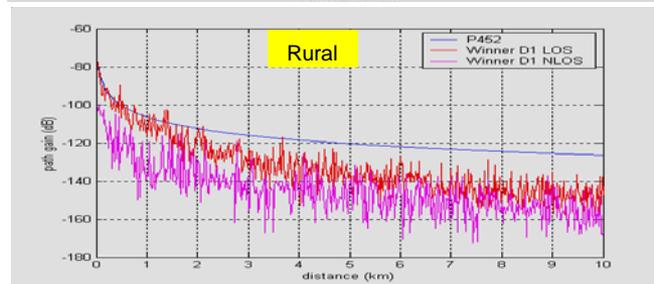
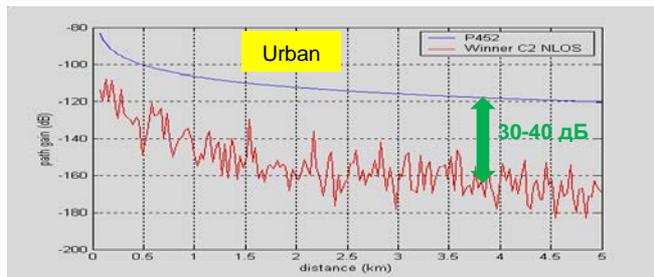
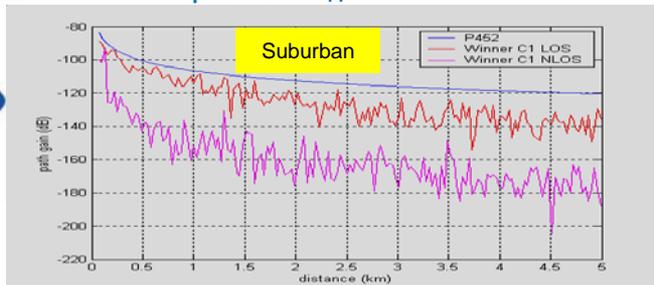


MIMO: $d = 4\lambda$ (1,28 м)



Стохастическая модель потерь для канала MIMO

Сравнение моделей

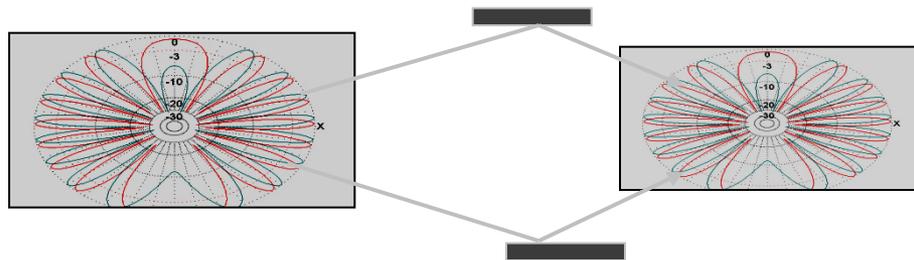


Модели WINNER

(Wireless World Initiative New Radio):

- основаны на геометрии (геометрически ориентированные)
- позволяют разделить параметры среды распространения и угловые параметры антенн
- встраиваются в статистические модели
- применимы для разных сред (Urban, Suburban, Rural, Indoor, Outdoor, LOS, NLOS)

P452 – модель ITU-R;
 LOS – прямая видимость
 NLOS - отсутствие прямой видимости





на шаг впереди

ЭМС при TDD

Ярко-выраженный вероятностный характер помех

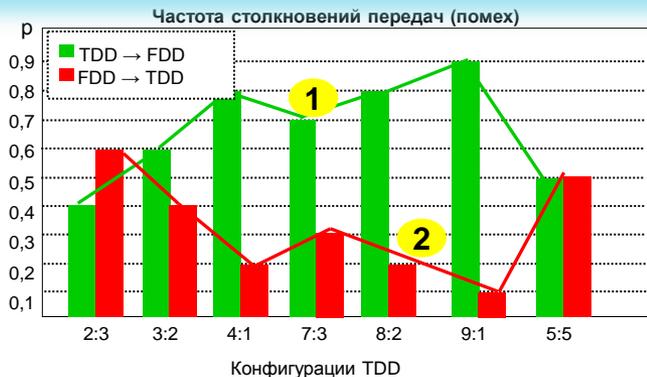
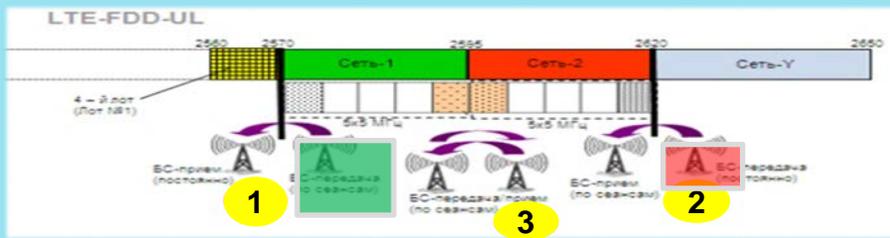


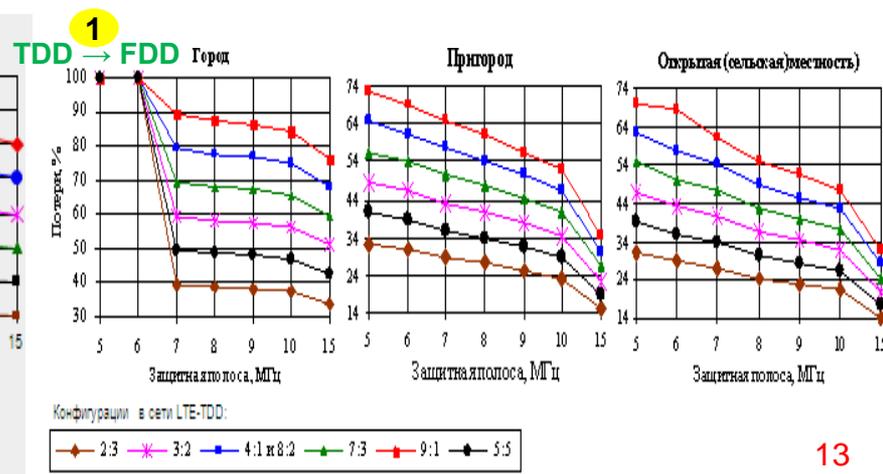
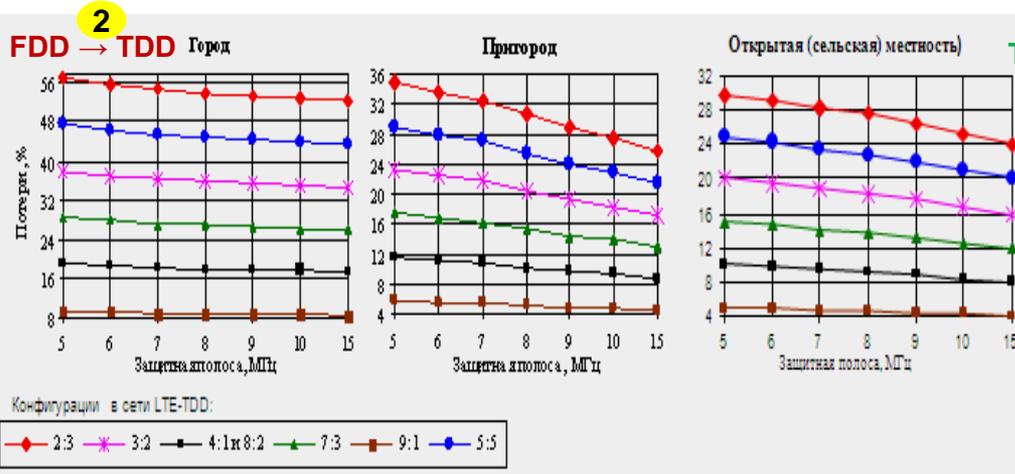
Таблица 1. Конфигурации передач TDD

№ конфигурации	Соотношение DL:UL	Вероятность р (%)	
		TDD на FDD-UL	FDD-DL на TDD
0	2:3	0,4 (40%)	0,6 (60%)
1	3:2	0,6 (60%)	0,4 (40%)
2	4:1	0,8 (80%)	0,2 (20%)
3	7:3	0,7 (70%)	0,3 (30%)
4	8:2	0,8 (80%)	0,2 (20%)
5	9:1	0,9 (90%)	0,1 (10%)
6	5:5	0,5 (50%)	0,5 (50%)

Таблица 2. Усредненная пиковая скорость передачи данных в DL при разных конфигурациях

Конфигурации	Усредненная пиковая скорость в DL, Мбит/с						
	Без MIMO/2x2 MIMO						
	2:3	3:2	4:1	7:3	8:2	9:1	5:5
Канал: 10 МГц	9,2/ 17,1	15,0/ 28,4	21,4/ 40,8	19,6/ 37,2	22,6/ 43,1	25,7/ 48,5	11,9/ 23,1
15 МГц	13,6/ 15,6	22,4/ 42,5	32,0/ 61,2	28,7/ 46,1	33,9/ 64,7	38,4/ 73,0	17,8/ 34,5
20 МГц	18,3/ 34,2	29,9/ 56,7	42,5/ 81,1	38,2/ 74,4	45,0/ 86,3	51,1/ 97,0	23,8/ 46,0

Потери пропускной способности в сети LTE – главный критерий воздействия помех





на шаг вперед

ЭМС с РЛС

Общая концепция

$$S_1 \sim S_{\Delta} = R_{\min}^2 \operatorname{tg}(\psi/2) \quad (1)$$

$$S_{\text{ДН}} \sim S_{\Delta} = R_{\max}^2 \operatorname{tg}(\psi/2) \quad (2)$$

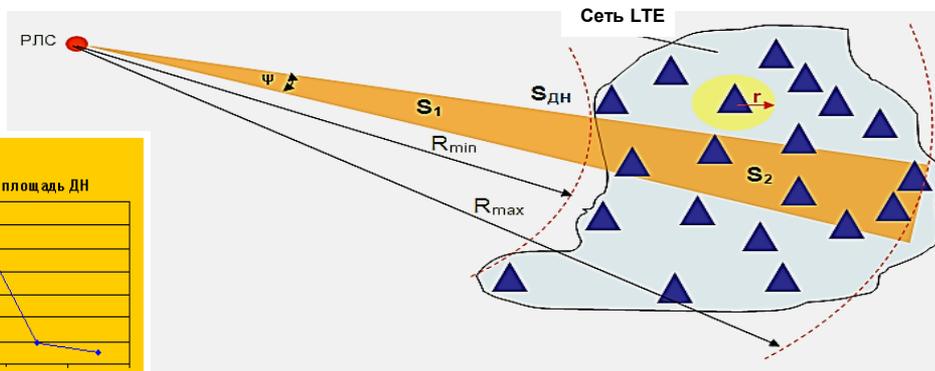
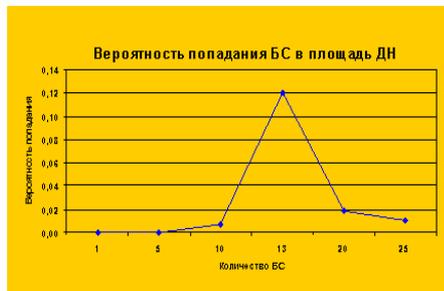
$$S_2 = S_{\text{ДН}} - S_1 = \operatorname{tg}(\psi/2) [R_{\max}^2 - R_{\min}^2]$$

R_{\min}, R_{\max} — радиусы условных окружностей, ограничивающих фрагмент сети LTE

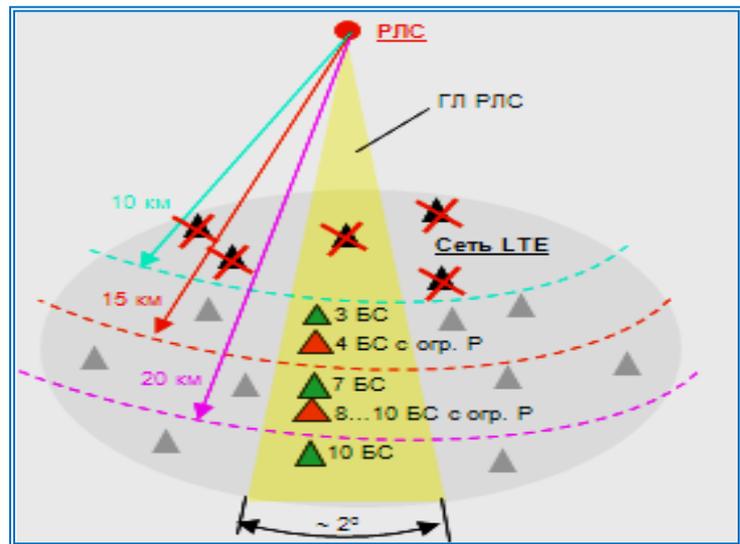
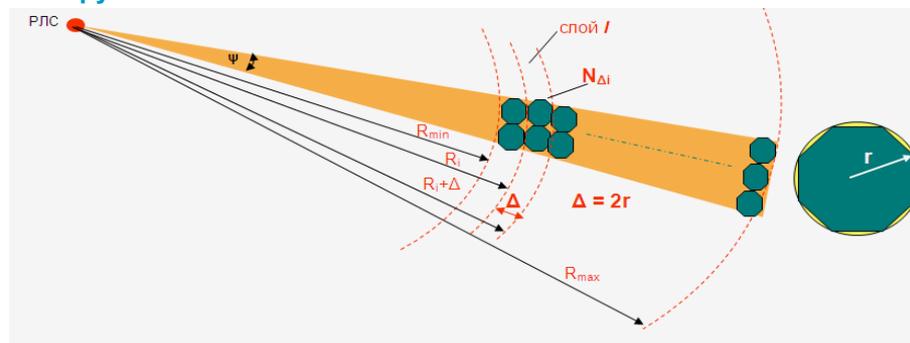
Площадь S_2 , км²

$R_{\min} \backslash R_{\max}$	30	40	50	60	70	80	90	100	110
20	8,7	21	36,6	57,8	78,5	104,7	134,4	167,6	204,2
30	-	12,3	27,9	47,1	69,8	96	125,7	158,9	195,5
40	-	-	24,4	34,8	57,5	83,7	113,4	146,6	183,2
50	-	-	-	19,2	41,9	60,1	97,0	131	167,6
60	-	-	-	-	22,7	49,9	78,6	111,0	140,4
70	-	-	-	-	-	26,2	55,9	89,1	125,7
80	-	-	-	-	-	-	29,7	62,9	99,5
90	-	-	-	-	-	-	-	33,2	69,8
100	-	-	-	-	-	-	-	-	36,6

Кол-во БС на площади S_2



Равноудаленные группы БС



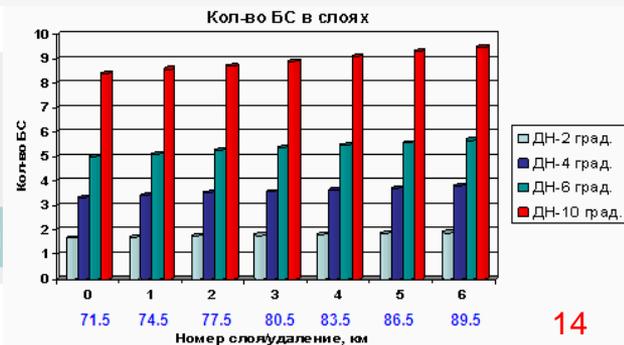
1. Количество БС в i -й группе (слое)

$$N_{\Delta i} = \frac{4}{k} \operatorname{tg}(\varphi/2) \left(\frac{2R_{\min}}{\Delta} + i + 1 \right)$$

2. Удаление БС i -го слоя

$$R_i = R_{\min} + \frac{\Delta}{2} (1 + 2i)$$

$$i = 0, \dots, \left[\frac{R_{\max} - R_{\min}}{\Delta} - 1 \right]$$





на шаг впереди

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

E-mail: skvg@mts.ru
моб.: +7 (916) 641 3517