



Информационный Космический Центр «Северная Корона»

Частотно-территориальное планирование сетей рLTE

(TDD, линейно-протяженные объекты)

Гриценко А.А.

Генеральный директор, к.т.н.

Зудин А.В.

Начальник отдела

X Международный форум о профессиональных сетях и системах связи ProfComm-2023

Отель Continental, Москва, Тверская ул., д. 22

15 ноября 2023 г

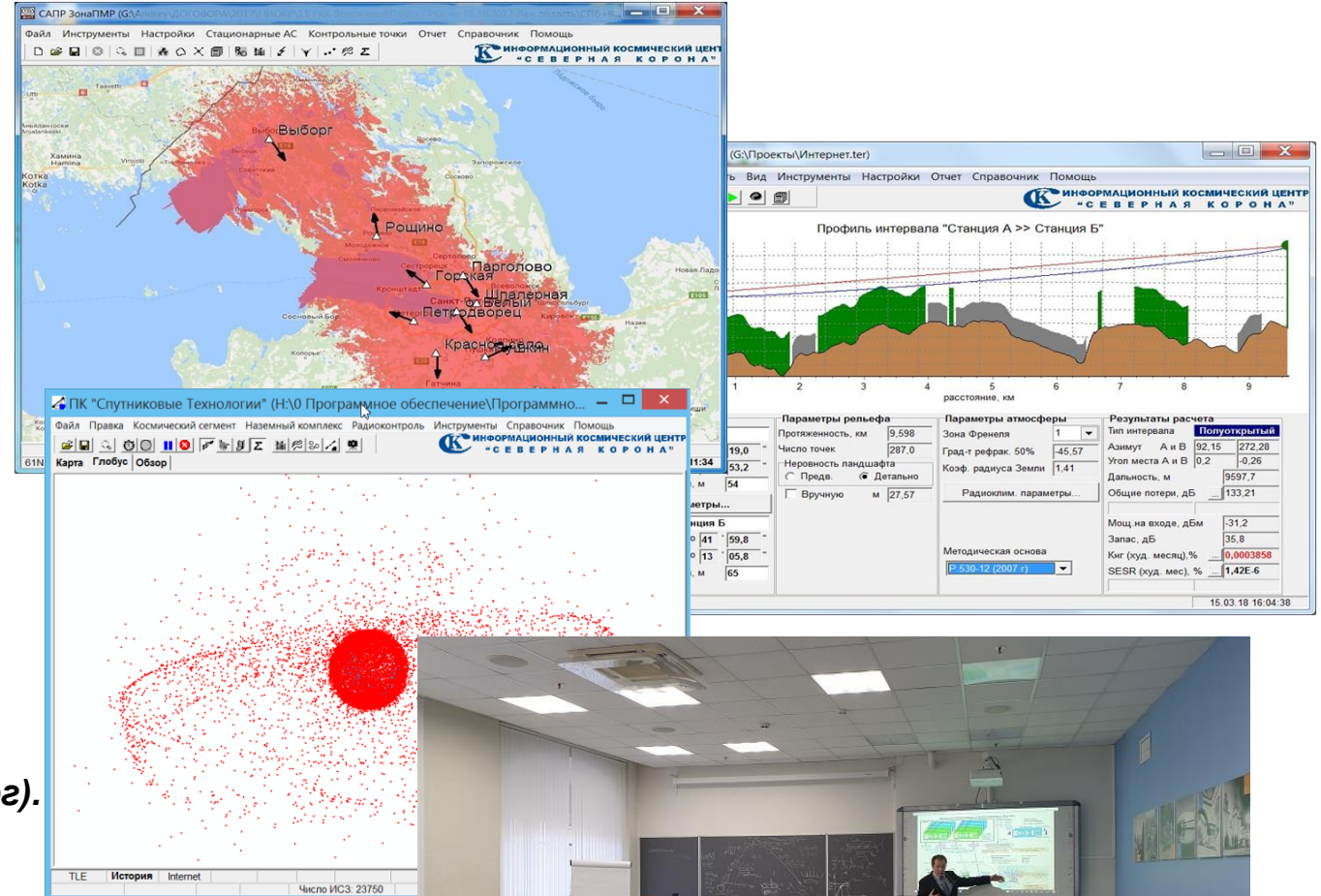


АО «ИКЦ Северная Корона» более 25 лет на рынке высоких технологий!

3. Программное обеспечение (САПР «Альбатрос»)

Разработка, модернизация и поставка специализированного программного обеспечения (расчет, имитационное моделирование) по всем ключевым направлениям наземных и спутниковых систем.

Совместно с ООО «КЕНТАВР ТЕЛЕКОМ» (Санкт-Петербург).



4. Повышение квалификации

Повышение квалификации специалистов в области спутниковой связи.

Совместно с ЦНТИ «Прогресс» (Санкт-Петербург).





Краткая характеристика LTE

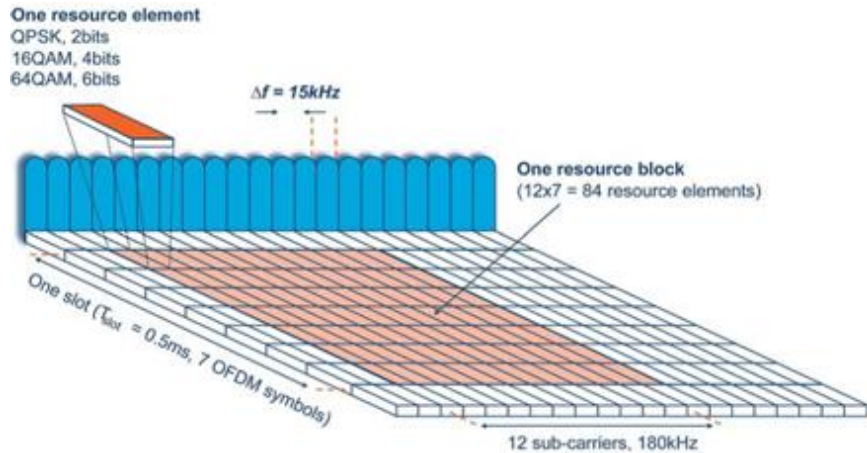


Рис.1. OFDM - гибкое распределение пропускной способности (РБ) между абонентами

№	D:U:S	Конфигурация субкадров									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2:6:2	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	4:4:2	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	6:2:2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	6:3:1	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	7:2:1	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	8:1:1	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	3:5:2	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

D – нисходящий канал, U – восходящий, S – субкадр

Рис.2. TDD - гибкое распределение пропускной способности между направлениями «вверх» (U) и «вниз» (D)

Модуляция	FEC	Nu	SINR, дБ
QPSK	1/8	0,25	-2,6
	1/5	0,4	-0,4
	1/4	0,5	0,8
	1/3	0,66	1,5
	1/2	1,0	4,5
	2/3	1,33	6,8
	3/4	1,5	8,0
16QAM	4/5	1,6	8,7
	1/2	2,0	10,9
	2/3	2,66	14,3
	3/4	3,0	15,2
64QAM	4/5	3,2	15,8
	2/3	4,0	19,3
	3/4	4,5	21,5
	4/5	4,8	22,6

Nu – спектральная эффективность (оценочное значение)

Рис.3. Адаптивная смена сигнально-кодовой конструкции (модуляция + кодирование)

Полоса, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число РБ макс.	6	15	25	50	75	100
Число поднесущих макс	72	180	300	600	900	1200
Эффективная полоса (В), МГц	1,08	2,7	4,5	9	13,5	18
Мощность теплового шума (КТВ) в полосе В, дБм	- 113	- 109	- 107	-104	-102	-101
Пропускная способность, МБит/с						
- нормальный префикс	6,05	15,12	25,2	50,4	75,6	100,8
- расширенный префикс	5,2	12,96	21,6	43,2	64,8	86,4

Рис.4. Полосы частот и предельная пропускная способность LTE (на один сектор БС)



Зоны обслуживания (прямое направление)



Рис.1 Зона обслуживания БС аналоговой сети



Рис.2 Зона обслуживания БС цифровой сети (например, DMR)

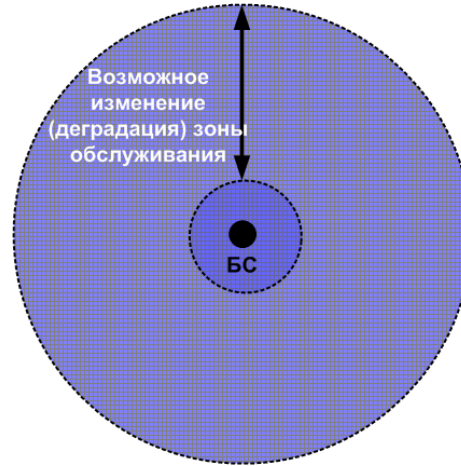


Рис.3 Зона обслуживания БС сети LTE

Границы зон обслуживания аналоговой и цифровой сетей радиосвязи определяются напряженностью поля и внутрисистемной ЭМС. Относительно постоянны. ЭМС обеспечивается на этапе ЧТП.

Граница зоны обслуживания сети LTE

определяется скоростью передачи данных и зависит от множества факторов:

- напряженность поля;
- число и пространственное положение активных пользователей;
- степень загрузки соседних БС (определяет уровень внутрисистемных помех).

Зона обслуживания может динамически изменяться («дышать»).

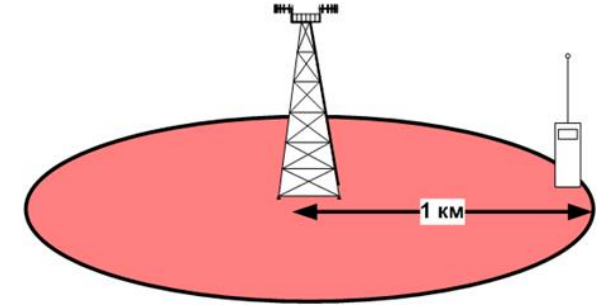


Рис.4 Пример зоны обслуживания БС сети LTE (один активный пользователь)

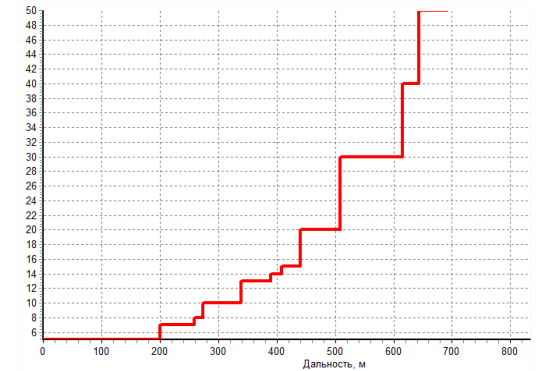


Рис.5 Изменение загрузки БС (числа выделенных абоненту РБ) при удалении абонента от БС

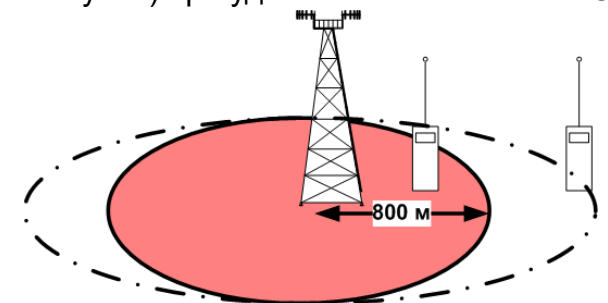


Рис.6 Пример зоны обслуживания БС сети LTE (два активных пользователя)



Основные параметры рLTE, требования

Таблица 1. Основные характеристики БС и АС стандарта LTE
(на примере Решения ГКРЧ №18-46-02 от 11.09.2018)

Наименование параметра	Значение параметра	
	Абонентская станция	Базовая станция
Мощность передатчика, не более	23 дБм (0.2 Вт)	46 дБм (40 Вт)
Усиление антенны, не более	3 дБ	18 дБ
Метод радиодоступа	SC-FDMA	OFDMA
Рабочий диапазон частот	1790-1800 МГц (ПРД и ПРМ)	
Ширина канала, не более	10 МГц	
Тип дуплекса	TDD (временной)	
Уровни внеполосных излучений	В соответствии с Рек. МСЭ-Р. В полосе 1710-1785 МГц не более -34,5 дБм/ МГц	
Побочные излучения	В соответствии с действующими нормами ГКРЧ	

Энергетический баланс линий «вверх» и «вниз»:

- «Вниз» в полосе 10 МГц: $P=46 \text{ дБм}+18 \text{ дБи}+3 \text{ дБи} - 27,8 \text{ дБ} = 39,2 \text{ дБм}$

- «Вниз» в полосе 5 МГц: $P=46 \text{ дБм}+18 \text{ дБи}+3 \text{ дБи} - 24,8 \text{ дБ} = 42,2 \text{ дБм}$

- «Вверх», один РБ (12 несущих): $P=23 \text{ дБм}+3 \text{ дБи}+18 \text{ дБи}-10,8=33,2 \text{ дБм}$

При использовании MIMO мощность должна быть снижена на число каналов передачи. При двух каналах – на 3 дБ. При четырех каналах – на 6 дБ.

Вывод: при использовании MIMO:

- достаточно передатчика БС мощностью 20 Вт;

- в полосе 10 МГц обратное направление слабее примерно на 6 дБ.

Основные требования к зонам обслуживания сети рLTE:

1. Надежность радиопокрытия не хуже 95%;
2. Обеспечение двойного радиопокрытия (не во всех ситуациях достижимо, но тогда обеспечивается суммарная надежность 99%);
3. Расчет для случая полной (100%) загрузки БС;
4. Обеспечение максимально возможной пропускной способности в пределах территории обслуживания.

Учет степени загрузки сети:

$$(SINR)^{-1} = \left(\frac{SIR}{\eta} \right)^{-1} + \left(\frac{C}{N} \right)^{-1}$$

SINR – отношение сигнал/(помеха + шум);

SIR – минимальное отношение сигнал/помеха;

η – степень загрузки сети (0...1);

C/N – отношение сигнал/шум в точке приема.

Выбор конфигурации LTE:

1. Выбор полосы частот (1.4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц, 20 МГц);
2. Выбор типа префикса (нормальный, расширенный);
3. Выбор типа кадра TDD (конфигурация №0...№6) при использовании TDD;
4. Выбор схемы MIMO;
5. Выбор «Режим Beamforming» или «пространственное разнесение»;
6. Выбор типа поляризации (V вертикальная или X наклонная).

Допускаются изменения относительно данных РИЧ:

1. Значений мощности на выходе передатчика (суммарной мощности передатчиков в различных конфигурациях MIMO), потерь в фидерном тракте, коэффициента усиления антенны, вида поляризации (V,X), при условии неперевышения указанных в РИЧ значений ЭИИМ;
2. Классов излучения, при условии использования меньшей необходимой ширины полосы излучения;
3. Значений углов места ориентации антенн БС в сторону уменьшения;
4. Значений высот подвеса антенн БС в сторону уменьшения;
5. Значений азимутов ориентации антенн БС (нет ограничений).



рLTE, TDD (кадр №0), полоса 10 МГц, линия «вниз», носимая АС

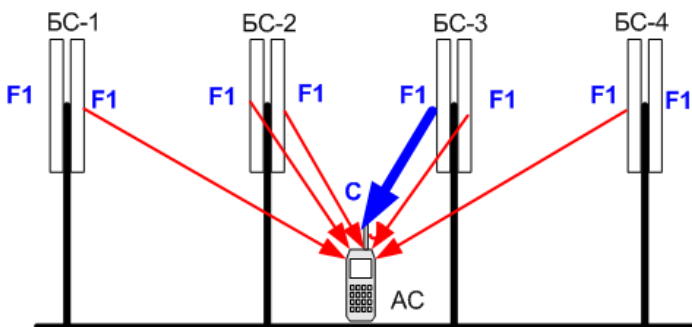


Рис.1 Сигнально-помеховая обстановка (работа линии «вниз»)



а) без учета внутрисистемных помех



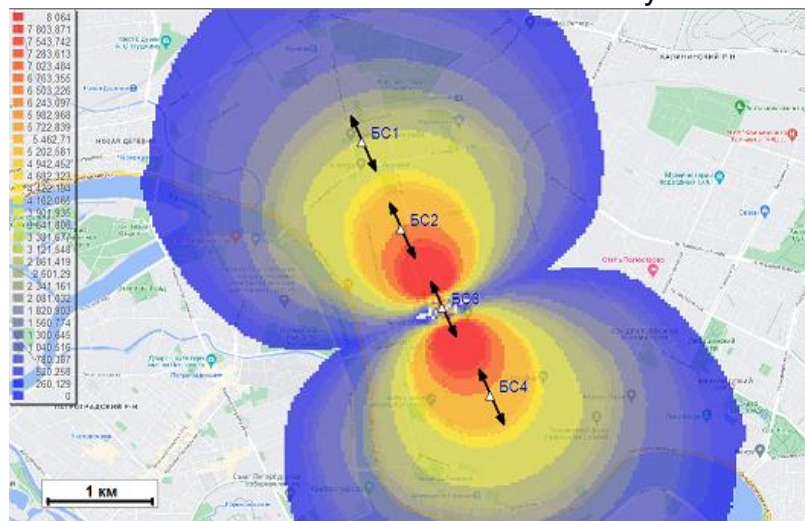
б) с учетом внутрисистемных помех

Рис.2 Зоны используемых секторами BC3 схем модуляции

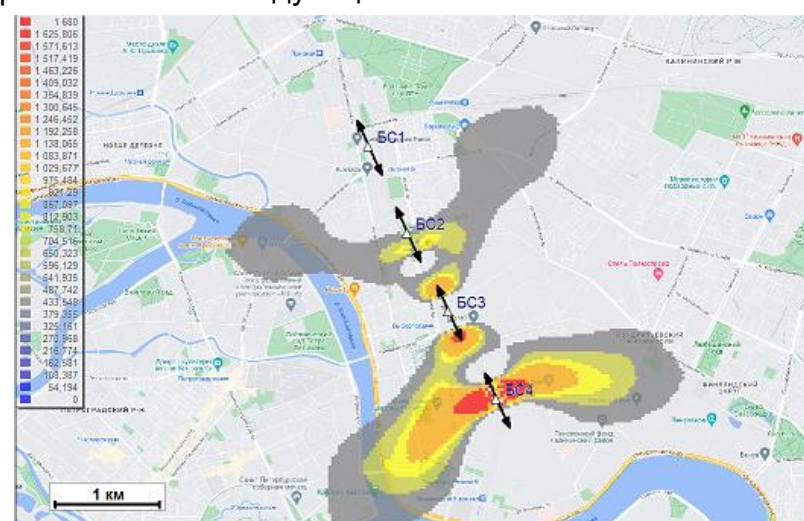
Специфика:

- все БС работают на одной частоте F1;
- работа всех БС осуществляется синхронно: все или только на ПРД, или только на ПРМ;

Вывод: наблюдаем значительную деградацию пропускной способности и площади зоны обслуживания БС3 в прямом направлении.



а) без учета внутрисистемных помех



б) с учетом внутрисистемных помех

Рис.3 Карта распределения пропускной способности БС3



4G LTE, TDD (кадр №0), полоса 2x5 МГц, линия «вниз», носимая АС

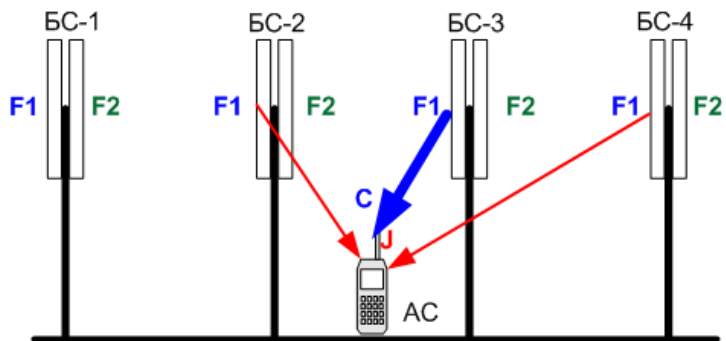
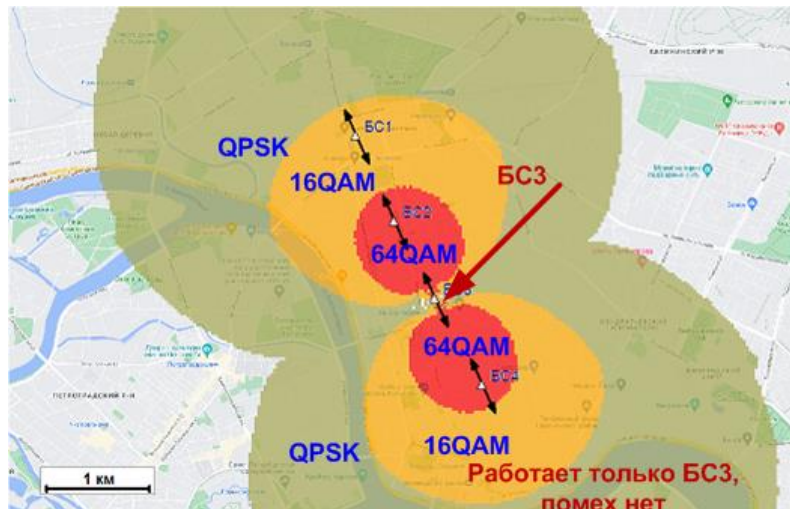


Рис.1 Сигнально-помеховая обстановка (работа линии «вниз»)



а) без учета внутрисистемных помех



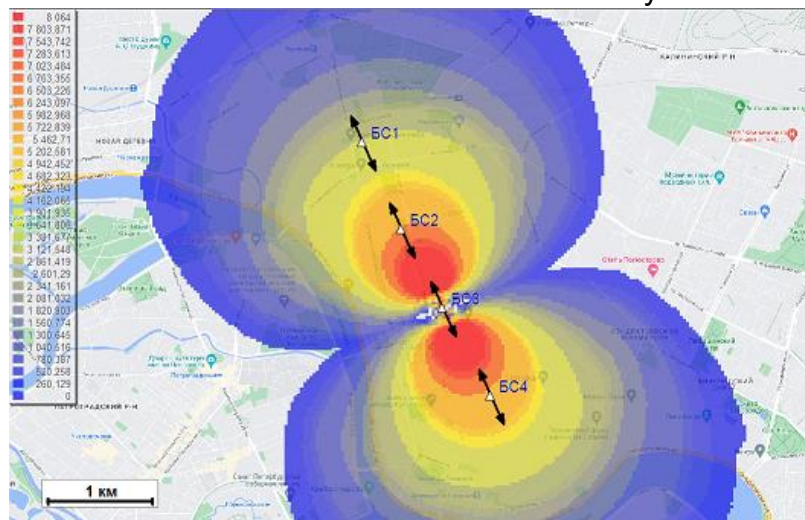
б) с учетом внутрисистемных помех

Рис.2 Зоны используемых секторами БС3 схем модуляции

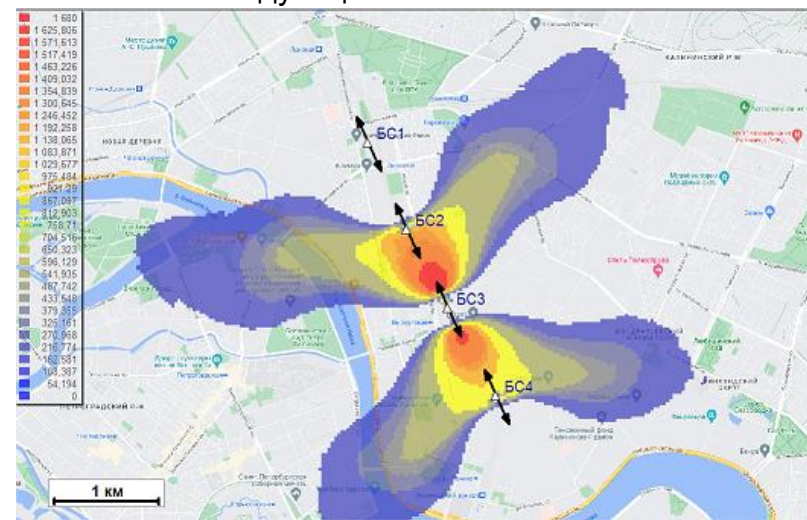
Специфика:

- на всех БС: сектор северного направления использует частоту F1, сектор южного направления использует частоту F2;
- работа всех БС осуществляется синхронно: все или только на ПРД, или только на ПРМ;

Вывод: наблюдаем значительную деградацию пропускной способности и площади зоны обслуживания БС3 в прямом направлении, но меньше, чем при работе в полосе 10 МГц.



а) без учета внутрисистемных помех



б) с учетом внутрисистемных помех

Рис.3 Карта распределения пропускной способности БС3



rLTE, TDD (кадр №0), полоса 2x5 МГц, линия «вниз», носимая АС

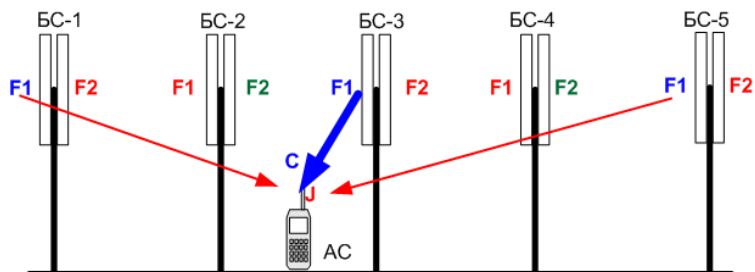
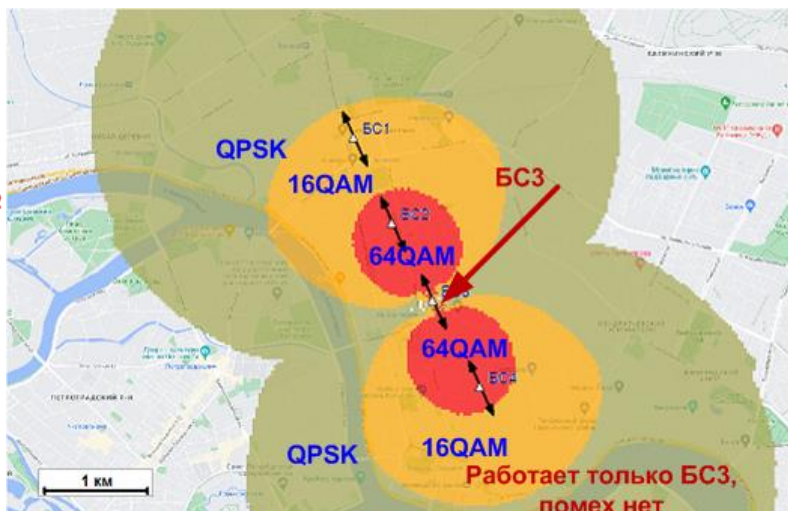


Рис.1 Сигнально-помеховая обстановка (работа линии «вниз»)

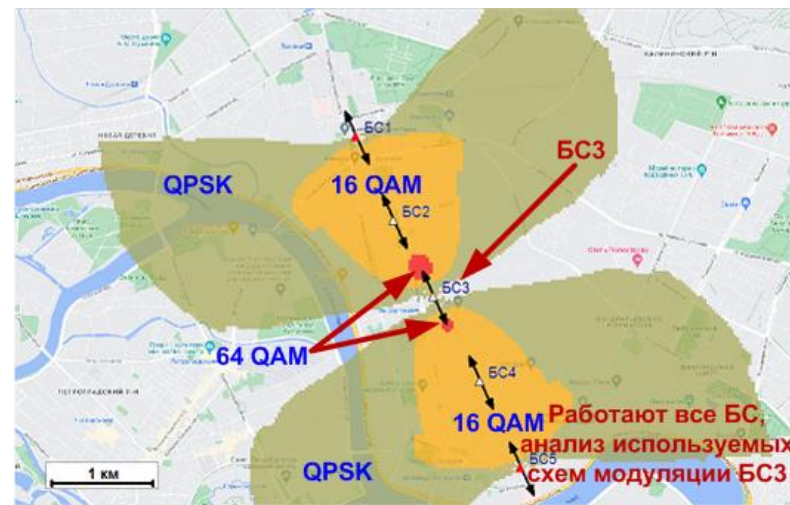
Специфика:

- используются два номинала частоты F1 и F2;
- на всех БС: сектор северного направления использует частоту F1, сектор южного направления использует частоту F2;
- работа всех БС осуществляется синхронно «через одну»: все четные БС одновременно работают на ПРД, все нечетные БС работают на ПРМ.

Вывод: видим минимальную из рассмотренных деградацию пропускной способности и площади зоны обслуживания БС3 в прямом направлении.

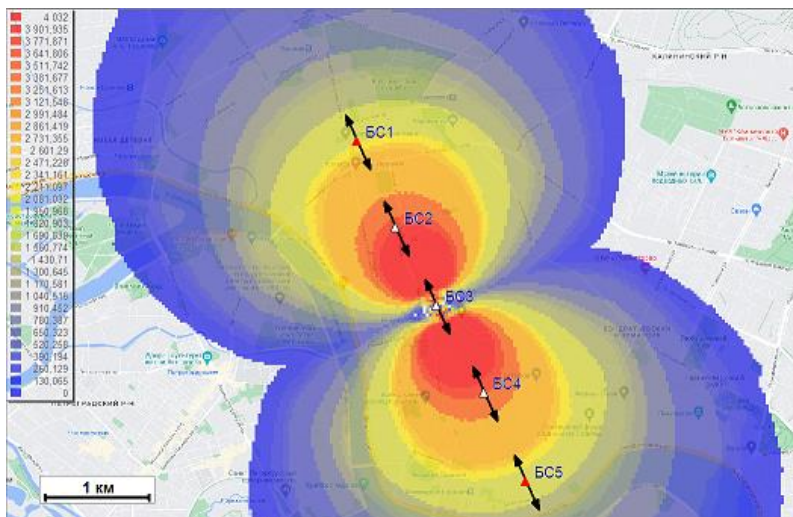


а) без учета внутрисистемных помех

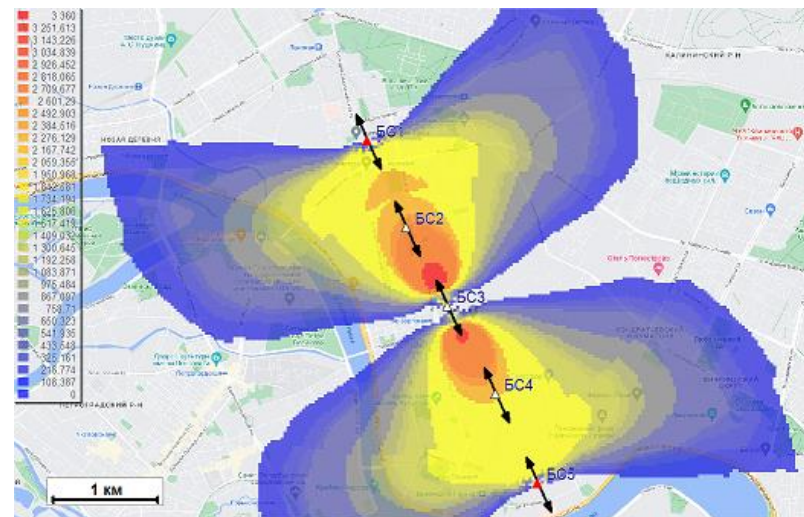


б) с учетом внутрисистемных помех

Рис.2 Зоны используемых секторами БС3 схем модуляции



а) без учета внутрисистемных помех



б) с учетом внутрисистемных помех

Рис.3 Карта распределения пропускной способности БС3



Зоны обслуживания сети рLTE (TDD, линия «вниз», носимая АС)

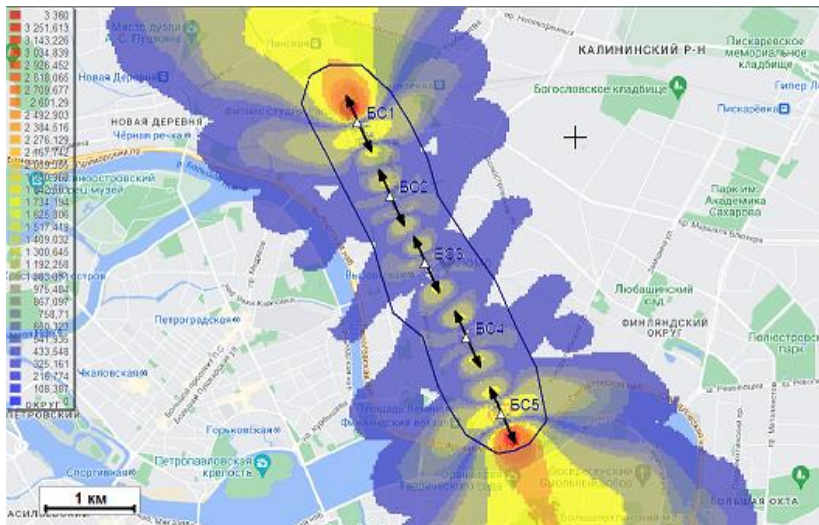


Рис.1 Полоса 10 МГц (пиковая скорость 3,4 Мбит/с)

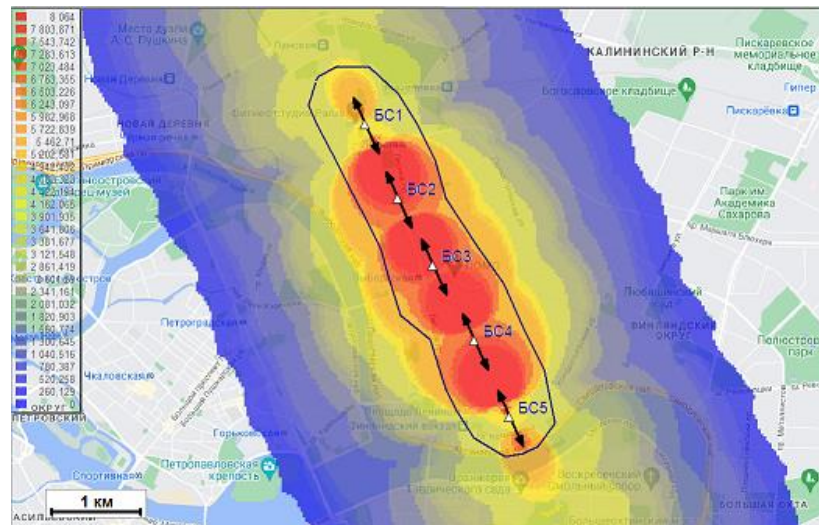


Рис.3 Полоса 2x5 МГц, синхронная передача «через одну БС», конфигурация кадра №1 (пиковая скорость 8 Мбит/с)

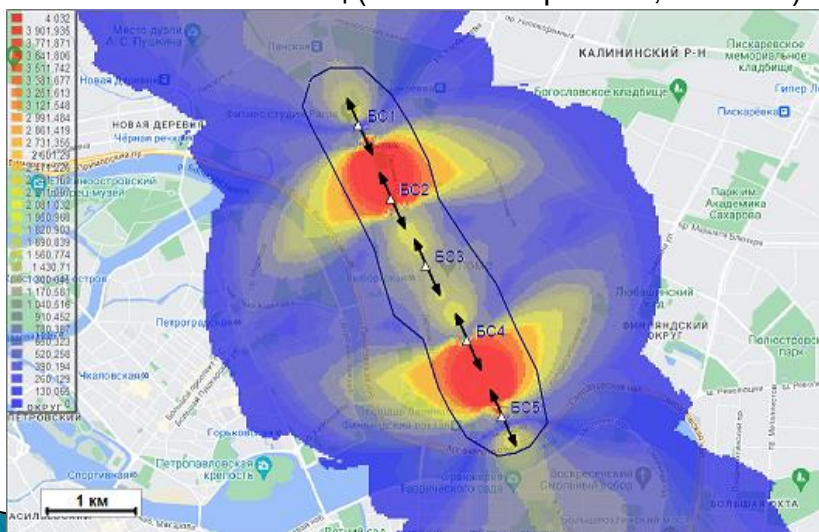


Рис.2 Полоса 2x5 МГц (пиковая скорость 4 Мбит/с)

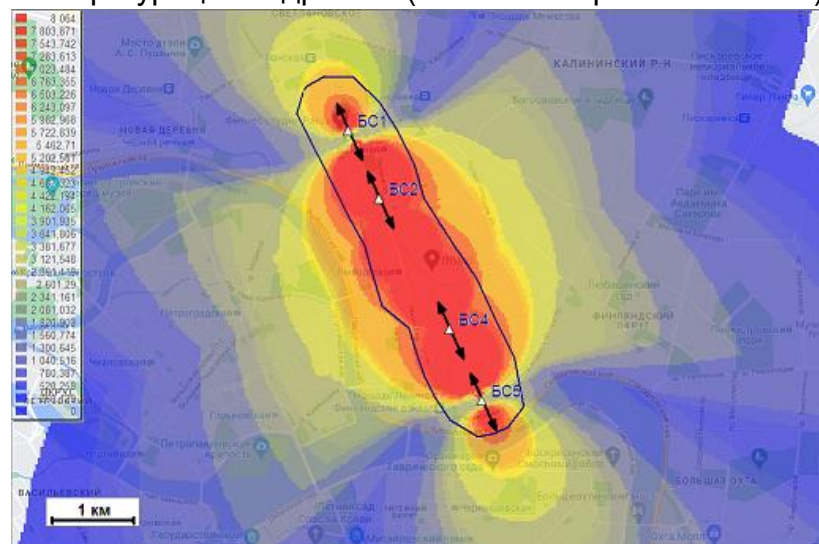


Рис.4 Способность оперативно «затягивать раны» - выход из строя БС3 не привел к обрывам в зоне обслуживания



САПР «АЛЬБАТРОС»

планирование и проектирование наземных и спутниковых радиосистем

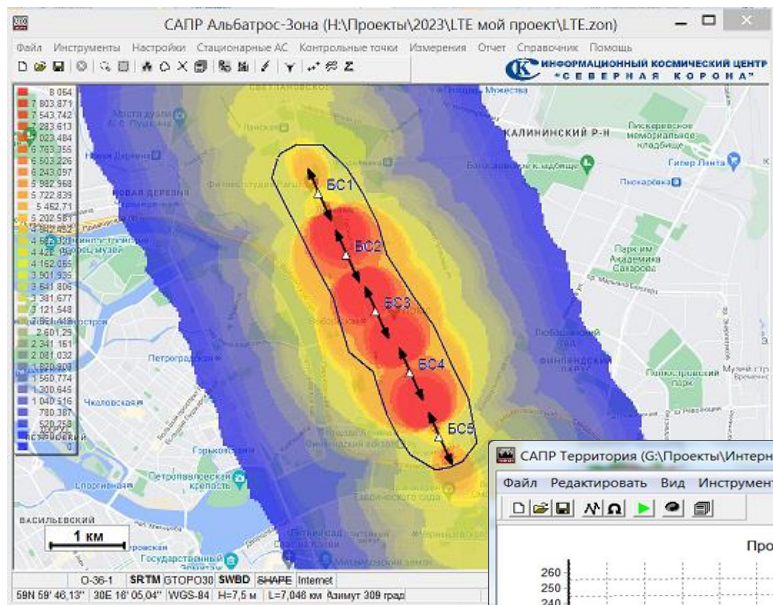


Рис.1 ПК «Альбатрос-Зона»

Рис.3 ПК «Спутниковые технологии»

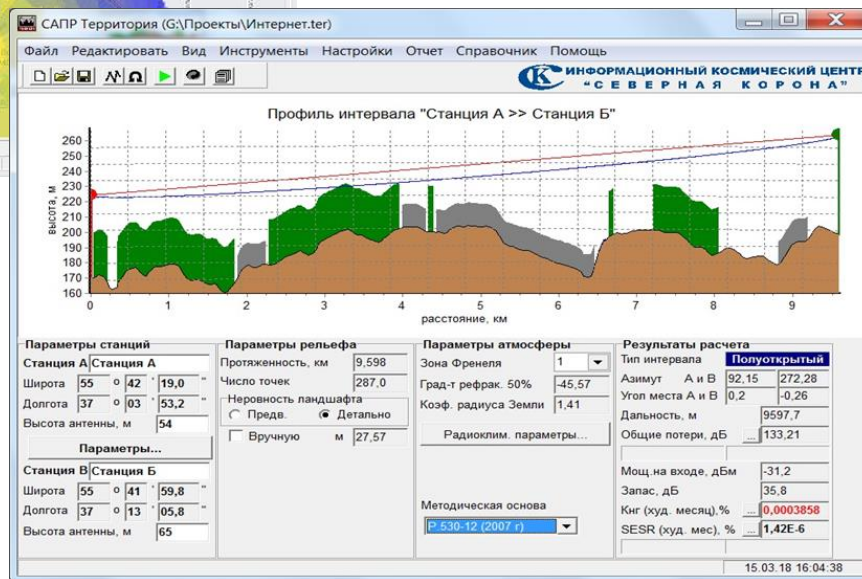
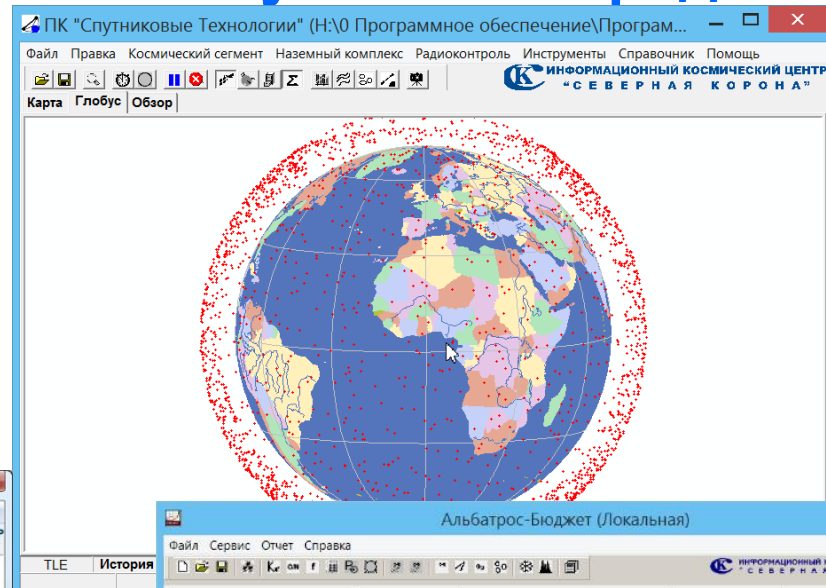


Рис.2 ПК «Альбатрос-Территория»

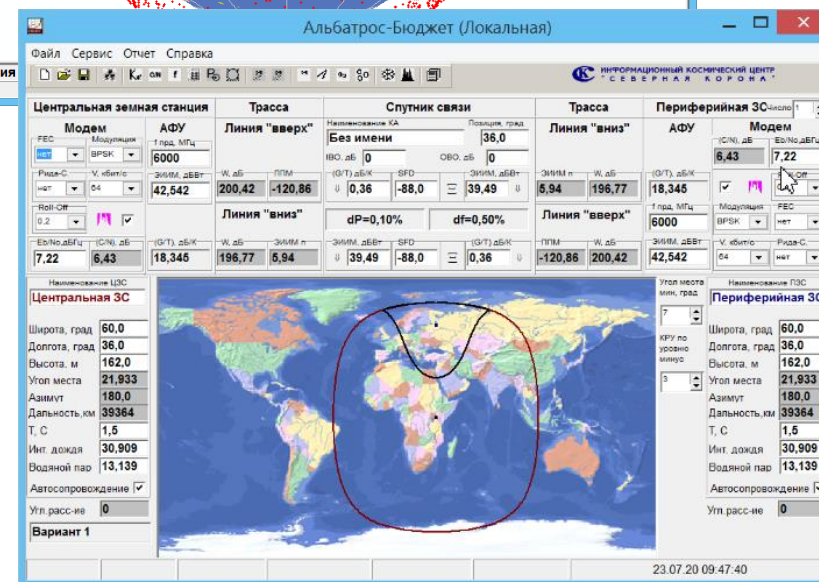


Рис.4 ПК «Альбатрос-Бюджет»

Выводы

1. LTE обладает значительным потенциалом по пропускной способности и организации высокоскоростных каналов с абонентами
2. Реализовать этот потенциал можно только при достаточном снижении уровня внутрисистемных помех
3. На линейно распределенных объектах при временном (TDD) методе распределения частотного ресурса на линиях «вверх» и «вниз» частотное планирование целесообразно выполнять на двухчастотном плане (F1 и F2).
4. Целесообразно синхронизировать работу БС на прием и на передачу по принципу «через одну БС». В этом случае обеспечивается минимальный уровень внутрисистемных помех и, соответственно, максимальная пропускная способность сети
5. Профессиональным инструментом для частотно-территориального планирования сетей радиосвязи различных стандартов является САПР «Альбатрос»



Информационный Космический Центр «Северная Корона»

Спасибо за внимание!



199034, Россия, Санкт-Петербург,
17-я линия В.О., д.4-6

тел/факс +7 (812) 320-65-04
+7 (812) 922-36-21

e-mail: org@spacecenter.ru

сайт: www.spacecenter.ru