

УДК 621.391.8

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭМС СЕТЕЙ UMTS И LTE С РЭС ДРУГИХ РАДИОСЛУЖБ В РОССИИ НА ОСНОВЕ НЕСТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ

В. Г. Скрынников, эксперт ОАО «Мобильные ТелеСистемы», к.т.н.; skvg@mts.ru

Ключевые слова: электромагнитная совместимость (ЭМС), внутрисистемные помехи от смежных сот, UMTS/HSPA+, DC (Dual Carrier), DB (Dual Band), LTE, LTE-Advanced, агрегирование спектра, ретрансляционные узлы.

Введение. Область телекоммуникаций в последнее десятилетие отличается динамичным развитием сетей сотовой связи нового поколения IMT. В рамках этого развития происходит интенсивная модификация систем 3G/UMTS в направлении наращивания их пропускной способности. Параллельно с этим повсеместно строятся сети на базе технологии LTE (Long Term Evolution). В плане внедрения этой технологии Россия практически одновременно стартовала со многими странами мира.

Вместе с тем состояние радиочастотного ресурса, выделенного для LTE, может стать основным сдерживающим фактором в строительстве сетей, поскольку высвобождение спектра от РЭС других радиослужб путем полной конверсии потребует длительных сроков и значительных финансовых затрат. По этой же причине в области строительства и развития сетей 3G/UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) не удается полностью решить локальные проблемы по электромагнитной совместимости (ЭМС) из-за наличия в выделенных полосах радиочастот РЭС Космических войск и радиосредств воздушной радионавигации и посадки.

Учитывая эти факторы, разумно искать новые, нестандартные, методы обеспечения ЭМС строящихся сетей UMTS и LTE с другими радиосредствами, функционирующими в выделенных полосах частот.

Попутно заметим, что некоторые применяемые сегодня подходы к обеспечению ЭМС не всегда способны эффективно решить такие проблемы и имеют ряд недостатков:

- порой оказываются весьма затратными (к примеру, при дооборудовании потенциально несовместимых РЭС);
- требуют, как правило, значительных ограничений мощности излучения базовых станций (БС), что приводит к уменьшению зоны обслуживания и пропускной способности сети;

- могут затруднить реализацию некоторых режимов передачи, заложенных в стандартах 3GPP. К примеру, предлагаемые решения по изменению поляризации антенн на БС способны снизить эффект от применения режима MIMO;
- не учитывают новые возможности систем IMT.

Объективной базой для применения нестандартных подходов могут служить новые технические решения, заложенные в технологиях IMT. К ним относятся агрегированное использование нескольких несущих частот DC/DB (Dual Carrier/Dual Band) в UMTS, агрегирование нескольких полос радиочастот в один радиоканал и процедуры ретрансляции в сотах сетей LTE-Advanced.

Рассмотрим сценарии обеспечения ЭМС сетей UMTS и LTE на базе этих технических решений.

Обеспечение ЭМС за счет нетрадиционного частотного планирования в сетях UMTS/HSPA+. Данный подход основан на объединении нескольких несущих частот (DC/DB) на базовой станции, что позволяет за счет соответствующего их планирования по секторам избежать ограничения по ЭМС в определенных пространственных направлениях [1]. Напомним, что при традиционном частотном планировании в сети UMTS в секторах БС назначается одна общая несущая частота (частотный канал), а при DC/DB — несколько таких общих частот, координируемых на канальном уровне [2].

Суть предлагаемого в статье подхода (рис. 1) — в каждом секторе сети в режиме DC/DB используются две частоты [3]. Причем на первичных частотах f_1 , f_2 и f_3 обеспечивается полное покрытие соты, при котором из-за различия частот помеховое воздействие смежных сот на границах отсутствует. Вторичная частота f_4 является общей для всех секторов, что позволяет реализовать мягкий хендовер и макроразнесение, но при этом не вызывает помех от смежных сот, поскольку для f_4 покрытие обеспечивается лишь в ближней и средней зонах соты, не достигая приграничных областей. Это условие может выполняться за счет уменьшенной мощности передатчика БС, наклона антенн и др.

Новый подход к планированию позволяет комбинировать частоты так, чтобы в направлениях излучения, проблемных по ЭМС, планировались несущие частоты, наименее подверженные этим проблемам, т.е. обеспечивалась возможность использования всего выделенного радиочастотного ресурса, включая и так называемые «битые» (ограниченные по ЭМС) частотные каналы.

В Районе 1 МСЭ для агрегирования в UMTS определены два частотных диапазона: 900 МГц и 2,1 ГГц.

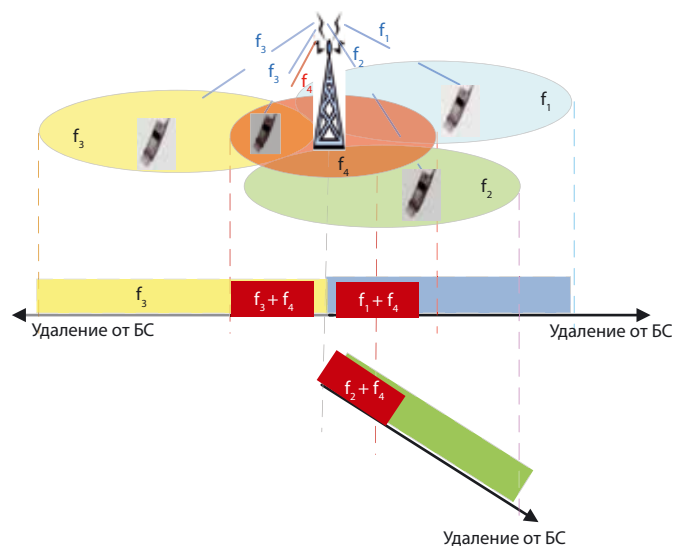


Рис. 1. Основная идея подхода к обеспечению ЭМС за счет нетрадиционного частотного планирования в сетях UMTS/HSPA+

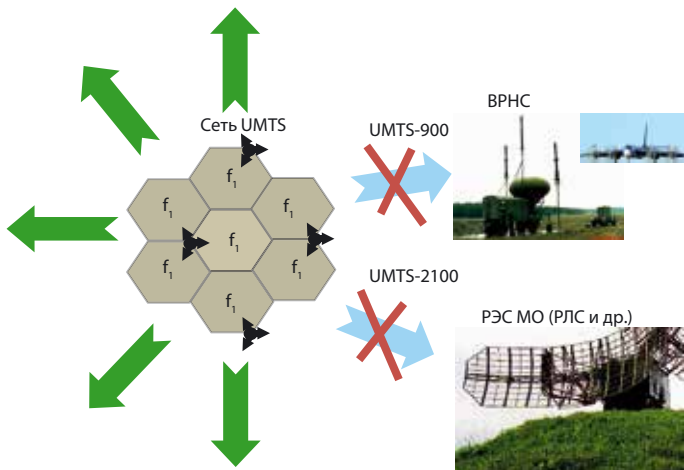


Рис. 2. Пространственные ограничения по ЭМС

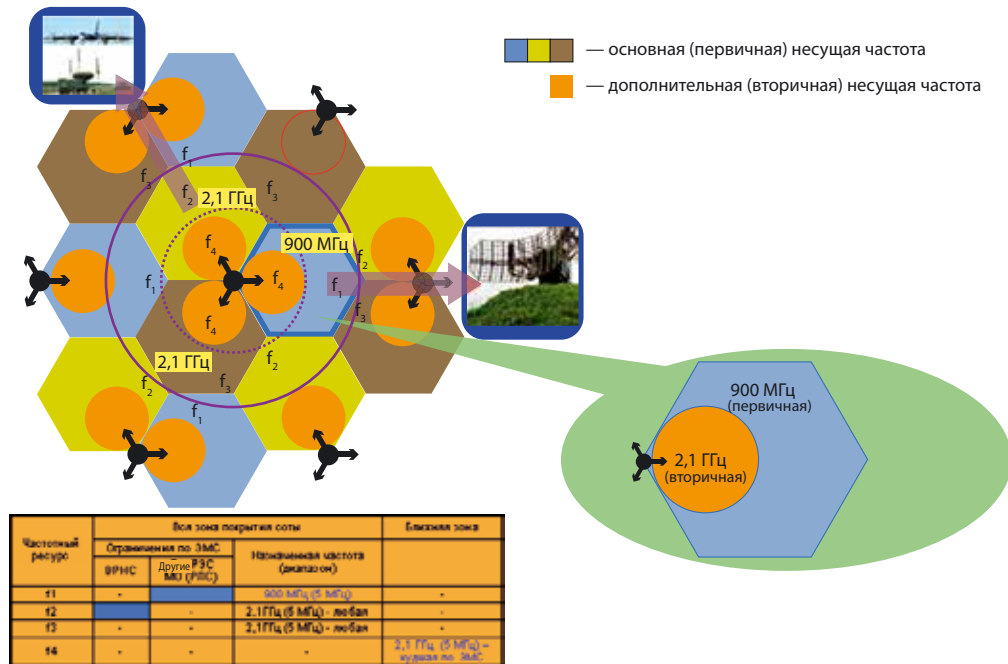


Рис. 3. Комбинированное частотное планирование в сети UMS/HSPA+

Они и задают пространственные направления секторов сети, в которых по условиям ЭМС нельзя использовать частоты того или иного диапазона. Для несущих частот из диапазона 900 МГц проблемными будут направления секторов на места размещения систем воздушной радионавигационной службы (ВРНС), а для частот из диапазона 2,1 ГГц — направления на места размещения РЭС Минобороны. Средства ВРНС размещаются главным образом в районах аэродромов и привязаны, как правило, к определенным направлениям в пространстве (направлениями коридоров посадки самолетов). На рис. 2 показан типовой сценарий, где планирование отдельных несущих частот в отдельных направлениях секторов невозможно по условиям ЭМС.

Назовем рассмотренное частотное планирование комбинированным планированием. Его реализация с тремя несущими частотами в диапазоне 2,1 ГГц и одной несущей частотой в диапазоне 900 МГц показана на рис. 3, где окружностью выделена одна 3-секторная сота сети UMS/HSPA+. В каждом ее секторе используются пары несущих частот f_k ($k = 1, 2, 3$) и f_4 . Вторичная несущая частота f_4 назначается для передачи базовой станцией с меньшей

ЭИИМ, при которой уровень сигнала не может достичь границы секторов. Для нее при планировании учитывают оптимальные процедуры макроразнесения в сети.

На рис. 3 видно, что в секторе, направленном на потенциально несовместимое РЭС Минобороны (к примеру, РЛС), в качестве первичной выбрана несущая частота f_1 (900 МГц), а в секторе, направленном на место расположения РСБН, — частота f_2 (2,1 ГГц). В качестве вторичной частоты f_4 назначена одна из наилучших по условиям ЭМС частота с наложенными ограничениями по мощности, поскольку требуемая зона покрытия для нее существенно уменьшена за счет более низкой ЭИИМ. Принцип распределения частот в данном примере иллюстрируется размещенной на этом же рисунке таблицей.

Решая таким образом задачу по ЭМС, можно одновременно обеспечить и условия для повышения скорости передачи данных в секторах за счет устранения внутрисистемных помех от смежных сот.

Как показано в [3], при традиционном планировании из-за высокого уровня внутрисистемных помех энергетические потери на их компенсацию на краю соты составляют от 2 дБ (передача речи) до 5 дБ (высокоскоростная передача данных). В случае комбинированного планирования из-за отсутствия помех от смежных сот потери на краю рассматриваемой соты также отсутствуют, а в ближней зоне (f_4) вместо потерь наблюдается энергетический выигрыш свыше 2 дБ за счет макроразнесения.

Эффект от снижения такого рода помех в виде зависимости увеличения скорости передачи данных при уменьшении уровня помех от смежных сот подробно описан в [3, 4]. Полученные оценки свидетельствуют, что уменьшение уровня внутрисистемных помех от смежных сот в 4—6 раз приводит к увеличению скорости передачи данных в секторе в среднем в 3 раза. Этот результат схож с традиционным случаем, когда имеет место разница скоростей передачи данных на краю соты и вблизи БС. Следовательно, помимо решения проблем по ЭМС метод комбинированного частотного планирования дает выигрыш и по пропускной способности соты.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭМС СЕТЕЙ LTE НЕСТАНДАРТНЫМИ МЕТОДАМИ

Общие проблемы по ЭМС. Сегодня для сетей LTE с частотным дуплексом в России реально доступны парные полосы частот в двух диапазонах: 800 и 2600 МГц. Проблемы по ЭМС, которые имеют место из-за функционирования в этих полосах частот РЭС других радиослужб, схематично показаны на рис. 4. Так, в полосах радиочастот диапазона 800 МГц базовые станции сетей LTE могут создавать существенные помехи бортовым и наземным средствам ВРНС, а абонентские терминалы (АТ) сетей LTE — бортовым и наземным средствам Управления воздушным движением (УВД). В полосах радиочастот диапазона 2600 МГц име-

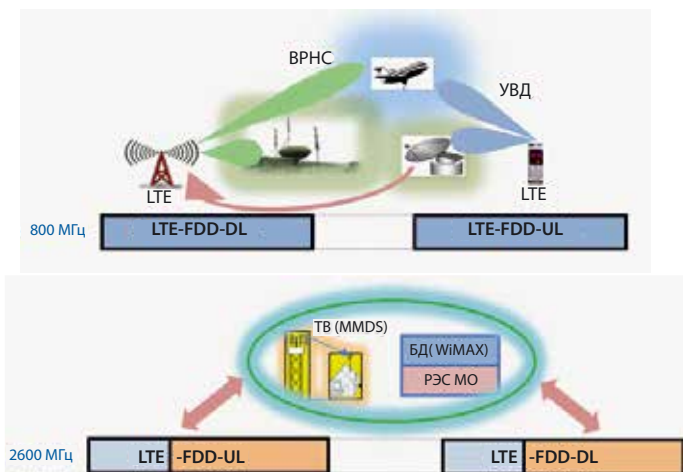


Рис. 4. Проблемы по ЭМС для сетей LTE в России

ет место взаимное влияние сетей LTE и средств наземного телевизионного вещания MMDS, средств беспроводного доступа WiMAX и РЭС Минобороны.

Не вдаваясь в детали помехового влияния перечисленных радиосредств, логично выделить характерные типовые сценарии, в которых по причине этого влияния отдельные полосы радиочастот будут для сетей LTE недоступными

или частично доступными. Несколько таких сценариев показано в табл. 1, где зеленым цветом обозначены доступные полосы радиочастот, розовым — недоступные.

Таблица 1. Возможные сценарии помехового влияния

Сценарии	Полоса А		Полоса В	
	BC (DL)	AT (UL)	BC (DL)	AT (UL)
1	+	+	-	-
2	+	+	+	-
3	+	+	-	+
4	+	-	+	-

В сценариях 1—3 парная полоса частот одного из диапазонов доступна, полоса из другого диапазона недоступна или доступна частично, что соответствует наличию одного направления передачи — Downlink или Uplink. В сценарии 4 в полосе частот каждого из диапазонов доступно только одно направление передачи.

Решение перечисленных проблем по электромагнитной совместимости для сетей LTE возможно за счет конверсии спектра, т.е. полного его высвобождения, а также выполнения условий ЭМС при существующей нагрузке полос радиочастот. Однако конверсия спектра — дорогостоящий и длительный процесс, а выполнение условий ЭМС, хотя и носит промежуточный (временный) характер, но не является столь долгосрочным.

Новые технические решения в LTE. Как отмечалось выше, базой для применения новых подходов к обеспечению условий ЭМС могут служить новые технические решения, заложенные в технологиях IMT. Применительно к LTE такими решениями являются агрегированное использова-

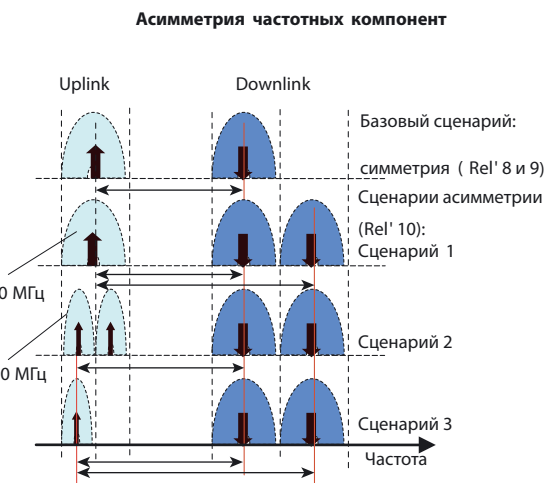
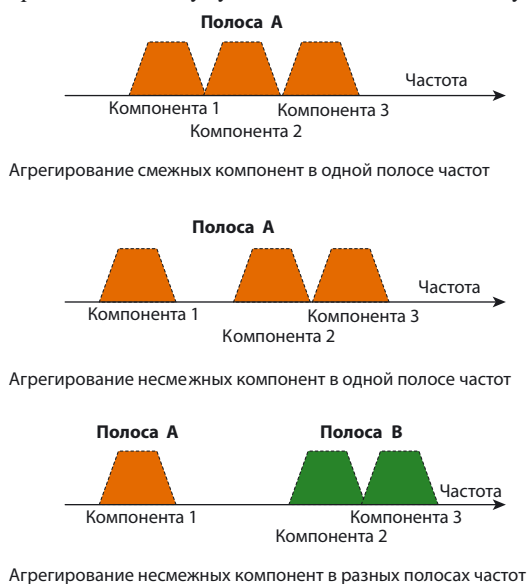


Рис. 5. Агрегирование РЧС в LTE-Advanced

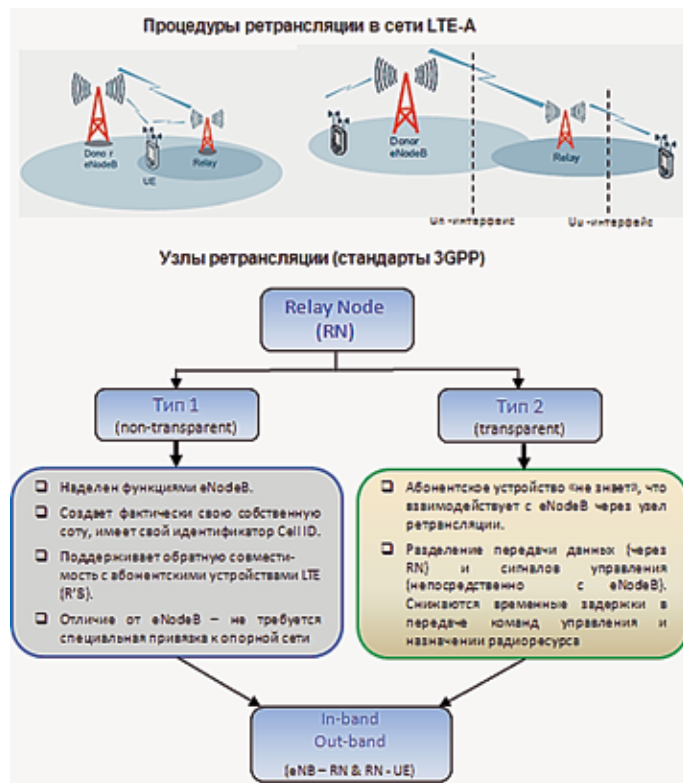
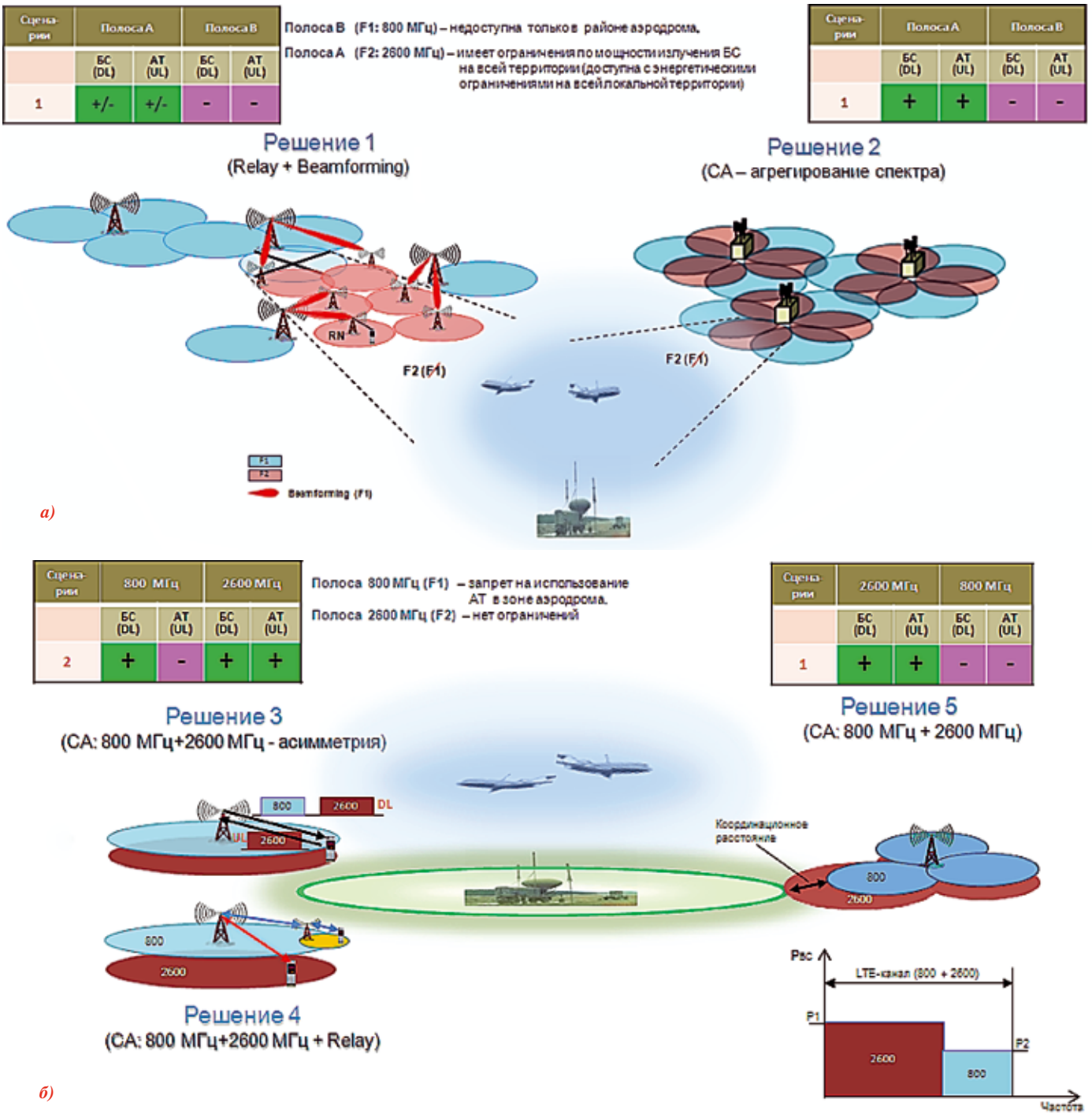


Рис. 6. Ретрансляция в сотах



ние нескольких полос радиочастот в одном радиоканале и процедуры ретрансляции в сотах сетей LTE-Advanced.

Процедура агрегирования спектра в будущей версии LTE (LTE-Advanced), подробно рассмотренная в [5], позволяет объединять отдельные фрагменты радиочастотного спектра как из общей полосы, так и из разных полос или диапазонов частот (для рассматриваемого случая это диапазоны 800 и 2600 МГц). Причем стандарты допускают асимметрию такого агрегирования (рис. 5). При асимметрии количество агрегируемых составляющих в Downlink и Uplink может быть различным при разных дуплексных разносах.

Стандартизованная процедура ретрансляции (Relaying) в сотах осуществляется с помощью специальных ретрансляционных узлов (Relay Node, RN) двух типов — прозрачных и непрозрачных (рис. 6) [6]. Эти узлы могут обеспечить разделение передачи данных и команд управления, создавать фактически свою собственную соту, выполняя функции базовой станции eNodeB и не требуя специальной привязки к опорной сети.

Для рассматриваемого случая важно то, что организация соединений между eNodeB-Relay и Relay-UE может осуществляться как в общей, так в разных полосах (диапазонах) радиочастот.

Для рассматриваемого случая важно то, что организация соединений между eNodeB-Relay и Relay-UE может осуществляться как в общей, так в разных полосах (диапазонах) радиочастот.

Новые подходы к обеспечению ЭМС. На рис. 7—8 показаны несколько предлагаемых решений по обеспечению условий ЭМС сетей LTE с РЭС других радиослужб для выделенных ранее типовых сценариев доступности полос радиочастот (см. табл. 1). Эти решения не являются закон-

ченными и однозначными — они лишь дают общий рецепт для обеспечения ЭМС в конкретных условиях, дополняя традиционные подходы.

Так, решение 1 на рис. 7, а соответствует сценарию, когда полоса А (диапазон радиочастот 2600 МГц) имеет ограничения по излучаемой мощности на всей территории, а полоса В (диапазон 800 МГц) недоступна только в зоне аэродрома. Решение базируется на применении ретрансляционных узлов и излучении базовых станций посредством узконаправленных пространственных лучей (Beamforming). В результате этого в направлении аэродрома излучение в полосе В не осуществляется, а излучение ретрансляционных узлов в полосе А происходит с пониженной мощностью, что соответствует исходным условиям. Решение 2 соответствует сценарию, когда недоступна только полоса В (диапазон 800 МГц) в районе аэродрома, и оно базируется на агрегированном использовании обеих полос радиочастот, но в секторах с разной пространственной ориентацией. Направление секторов с полосой В выбирается так, чтобы исключалось излучение в сторону аэродрома.

На рис. 7, б показаны решения для двух сценариев: сценарий слева — когда в зоне аэродрома наложен запрет на излучение абонентского терминала в полосе радиочастот диапазона 800 МГц, сценарий справа — когда полоса радиочастот в диапазоне 800 МГц является недоступной.

Первому сценарию соответствуют решения 3 и 4. Оба решения базируются на агрегированном использовании обеих полос радиочастот, но решение 3 — с асимметрией, а решение 4 — с ретрансляционными узлами. Асимметрия означает, что в направлении Downlink используются обе полосы радиочастот, а в направлении Uplink — только по-

лоса диапазона 2600 МГц. Применение ретрансляционных узлов позволяет снизить мощность излучения АТ в непосредственной близости от аэродрома, т.е. в запретной зоне.

Второму сценарию соответствует решение 5, которое базируется на агрегировании обеих полос радиочастот, но с ограничением мощности излучения в полосе диапазона 800 МГц в направлении на аэродром.

Решение, показанное на рис. 8, совершенно нетрадиционное: здесь учитывается работа внутренних алгоритмов радиointерфейса LTE. Поиск такого решения необходим для сценария, который предполагает существование запрета на излучение абонентского терминала в зоне аэродрома, а именно, исключается возможность его обслуживания в полосе радиочастот 800 МГц на удалении, которое меньше некоторого координационного расстояния.

При поиске решения была сделана попытка использовать возможности регулировки мощности передачи АТ. В абонентском терминале LTE применяется так называемая фракционная (парциальная) регулировка мощности P_{FPC} . Приведем общий алгоритм регулировки (см. рис. 8). Для передачи выбирается меньшее из двух значений: значение максимальной мощности терминала P_{max} и рассчитанное значение мощности P_t . Формула для расчета мощности P_t приведена на рис. 8 [7]. Из рисунка следует, что мощность P_t складывается из некоторой базовой составляющей $P_0 + \alpha L$, выделенной полосы частот для передачи АТ, выраженной количеством ресурсных блоков N^{UL} , и некоторой динамической поправки, которую может передавать БС при назначении радиоресурсов абонентскому терминалу, — в рассматриваемой задаче ею можно пренебречь.

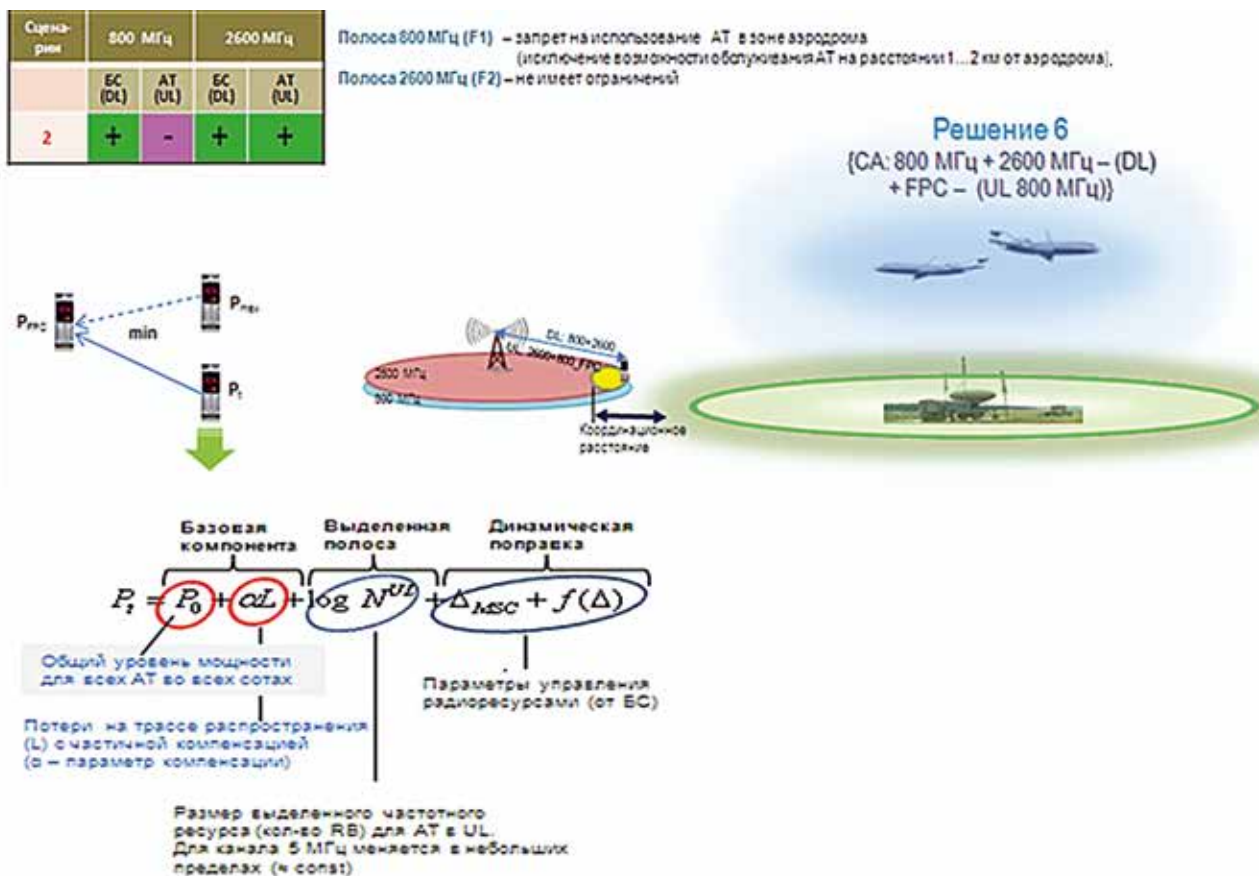


Рис. 8. Решение по ЭМС при запрете использования АТ в районе аэродрома

Таблица 2. Значения α при разных радиусах соты и ограничениях мощности АТ (пример)

Радиус соты d , км	α при Δ , дБ	
	3	5
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)

С учетом последнего замечания выражение для P_i можно упрощенно представить в виде

$$P_i \approx P_0 + \alpha L + 10 \log N^{UL}. \tag{1}$$

Объем выделенного частотного ресурса для одного абонентского терминала N^{UL} в канале шириной 5 МГц меняется в ограниченных пределах, и его можно считать практически постоянным.

В итоге рассчитываемая мощность передачи абонентским терминалом будет зависеть главным образом от базового уровня мощности P_0 , который устанавливается одинаковым для всех сот сети, и уровня мощности, предназначенного для компенсации потерь на трассе распространения сигнала — αL в выражении (1), где L — измеренные потери на трассе; α — параметр компенсации потерь, задающий долю потерь, которую требуется компенсировать. Стандартизованными значениями этого параметра являются 0; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1 [7], причем на практике применяются значения $\alpha = 0,6$ и $\alpha = 0,8$ [8].

На рис. 9 показаны случаи компенсации потерь:

$\alpha = 0$ — компенсация не происходит. Реальная мощность АТ (синий столбик) остается постоянной, т.е. меньше на краю соты, а вблизи БС необоснованно больше требуемого значения (зеленый столбик);

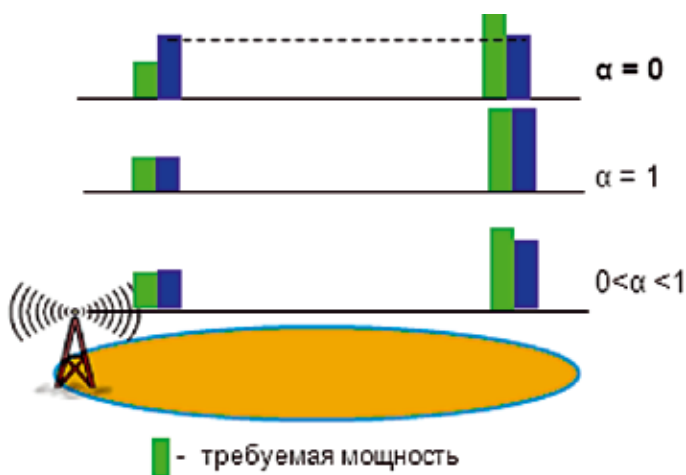


Рис. 9. Случай компенсации потерь при выборе мощности передачи АТ

$\alpha = 1$ — полная компенсация. Реальная мощность АТ строго соответствует требуемой мощности передачи;

$0 < \alpha < 1$ — частичная (фракционная) компенсация как промежуточный случай, когда надо ограничить зону действия АТ.

Учитывая такой алгоритм регулирования мощности передачи абонентского терминала, можно найти требуемое значение параметра α , которое ограничивало бы зону его обслуживания на величину координационного расстояния. Это расстояние выражено в виде ограничения мощности Δ :

$$P_i < P_{max} - \Delta. \tag{2}$$

Тогда

$$\alpha < \frac{1}{L(d)} (P_{max} - \Delta - P_0 - 10 \log N^{UL}). \tag{3}$$

Искомые значения α , найденные в соответствии с выражением (3), при разных радиусах соты (от 1 до 5 км) и требуемых ограничениях мощности абонентского терминала Δ на 3 и 5 дБ приведены в табл. 2, где в скобках показаны стандартизованные значения.

При расчетах принималось, что максимальная мощность излучения абонентских терминалов $P_{max} = 23$ дБм, базовая мощность $P_0 = -50$ дБм и количество выделенных одному абонентскому терминалу ресурсных блоков $N^{UL} = 3$.

Расчеты показывают, что для обеспечения ЭМС за счет запрета обслуживания АТ на удалении от аэродрома в 1 и 2 км задаваемые значения параметра α лежат в пределах стандартизованных значений 0,4 и 0,5.

Заключение. В статье показано, что применение некоторых из рассмотренных решений позволяет в ряде конкретных случаев эффективно решать проблемы по ЭМС, возникающие при строительстве сетей LTE.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Скрынников В. Г.** Нетрадиционное частотное планирование в сетях UMTS/HSPA+ //Радиочастотный спектр.— 2012.— № 6.
2. **Скрынников В. Г.** Агрегирование спектра в системах UMTS/HSPA //Радиочастотный спектр.— 2012.— № 8.
3. **Скрынников В. Г.** Повышение скорости передачи данных в сетях UMTS/HSPA+ на основе минимизации внутрисистемных помех //Электросвязь.— 2013.— № 7.
4. **Скрынников В. Г.** Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика.— М.: Спорт и Культура-2000, 2012.
5. **Скрынников В. Г.** Агрегирование спектра для IMT //Радиочастотный спектр.— 2012.— № 4.
6. **Скрынников В. Г.** Узловой момент радиосети //Радиочастотный спектр.— 2013.— № 4.
7. 3GPP TS 36.213. V8.8.0 (2009—09). Technical Specification Group Radio Access Networks; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). Physical layer procedures: Technical Specification (Release 8).— 2009.
8. **Mohmmad Anas.** Uplink Radio Resource Management for QoS Provisioning in Long Term Evolution: A Dissertation the degree of Doctor of Philosophy.— Alborg University, 2009.