

ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТЕЙ LTE: программный комплекс ONEPLAN RPLS (ONEGA)

С.Одоевский, д.т.н., В.Степанец, к.т.н.
step@rpls.ru

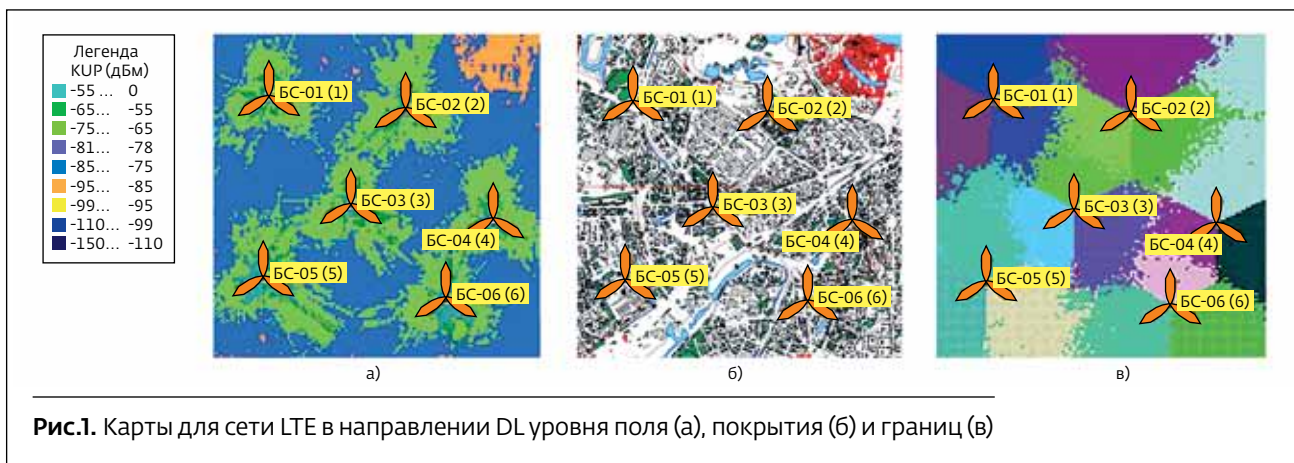
Сети LTE призваны улучшить качество обслуживания мобильных абонентов, расширить круг предоставляемых услуг и повысить уровень доходов операторов широкополосного беспроводного доступа. Однако все эти преимущества могут оказаться утерянными без качественного автоматизированного планирования и оптимизации сетей с использованием специализированных программных средств. Одним из таких программных средств является программный комплекс ONEPLAN RPLS (ONEGA).

Программный комплекс (ПК) ONEPLAN RPLS (ONEGA) предназначен для планирования и оптимизации сетей подвижной и фиксированной радиосвязи, систем широкополосного радиодоступа, аналогового и цифрового ТВ и радиовещания. Разработкой и активным внедрением данного комплекса уже более десяти лет занимается компания "ИнфоТел". Состав и основные характеристики ПК ONEPLAN RPLS (ONEGA) уже рассматривались на страницах журнала "Первая миля" [1]. Практически все функциональные модули программного комплекса в той или иной степени могут быть использованы при планировании и оптимизации тех или иных фрагментов сетей LTE. Но в наибольшей степени специфические особенности данных сетей проявляются при использовании функционального модуля ONEPLAN RPLS-DB RFP.

Функциональный модуль ONEPLAN RPLS-DB RFP является автономным программным комплексом и представляет собой многофункциональную систему автоматизированного

проектирования (САПР) сетей радиодоступа, включающую специальное информационное, математическое и программное обеспечение. Благодаря своим универсальным функциональным возможностям данный ПК позволяет решать различные задачи планирования сетей радиодоступа [2], к которым относится и подсеть LTE E-UTRAN в части анализа и оптимизации взаимодействия оборудования базовых станций (БС/eNB) и абонентских терминалов (АТ/UE) на заданной территории обслуживания мобильных пользователей.

Для конкретизации расчетов под конкретный стандарт, как правило, достаточно соответствующим образом изменить значения и названия определенных параметров в справочниках и в проекте сети. В частности, для задания параметров сети LTE можно воспользоваться информацией, представленной в стандартизирующих документах 3GPP, в техническом описании используемого оборудования, а также в специальной литературе [2-5].



По мере выпуска очередных версий ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP в справочник добавляются уже заполненные разделы с основными параметрами новых стандартов, что упрощает пользователям подготовку исходных данных для разрабатываемых проектов сети на их основе. В связи с ростом популярности сетей стандартов 4G, в частности, сетей LTE, имеющих существенные отличия радиointерфейсов и от сетей 2G, и от сетей 3G, подготовлена новая версия ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP, в которую внесены соответствующие параметрические изменения и функциональные доработки.

В то же время, учитывая, что в сетях 4G фактически совмещены технологии частотного, временного и кодового разделения каналов, ряд рассчитываемых характеристик, чувствительных к распределению частот и времени, можно оценивать с помощью моделей 2G, а чувствительных к распределению кодов и времени, – с помощью моделей 3G. Ряд специфических характеристик сетей 4G, связанных с технологиями MIMO (пространственно-временной обработкой сигналов SDMA/TDMA), учитываются в ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP на основе моделей 2G/3G путем соответствующих поправок параметров направленности антенн, канальной емкости (пропускной способности) радиолиний (секторов) и коэффициентов ослабления взаимных помех.

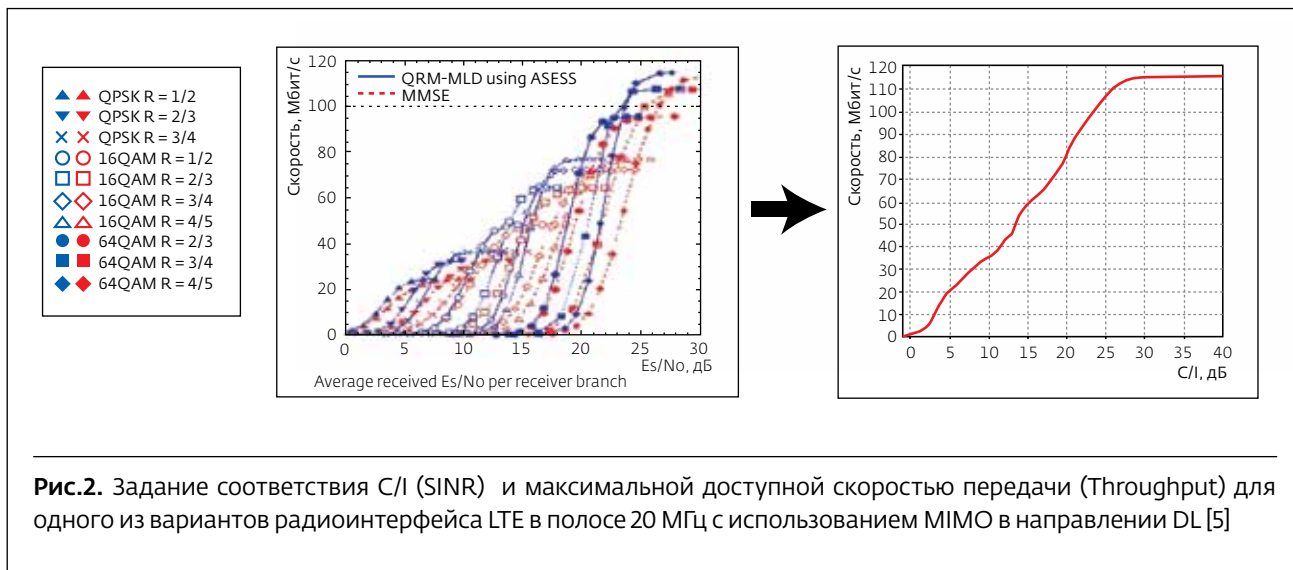
Для оценки конфигурации и площади покрытия сети LTE с необходимым уровнем электромагнитного поля (ЭМП) при заданном размещении базовых станций (БС, eNB), а также высоте и ориентации секторных антенн, достаточно внести соответствующие изменения в справочники стандартов и оборудования, а затем выполнить типовую (для всех стандартов) процедуру создания проекта и его расчета (в

пределах заданного района расчета). Подразумевается, что уровень ЭМП должен превышать чувствительность абонентских устройств (UE) в нисходящем направлении (DL) или базовых станций (eNB) в восходящем направлении (UL) для анализируемых каналов управления или передачи данных.

Основными результатами расчета являются карты уровня поля (мощности сигнала на входе UE и eNB в дБм), границ общей зоны покрытия и границ зон сервирования каждого отдельного сектора (рис.1). Если задать мощность передатчика и чувствительность приемника для пилотного сигнала (ПС) в сети LTE, описанным способом можно рассчитать карту покрытия RSRP (Reference Signal Received Power). В ПК предусмотрен расчет карт E_c/N_0 (отношение ПС/(помеха + сигнал)), который для сетей LTE при соответствующем задании исходных данных соответствует расчету карт покрытия RSRQ (Reference Signal Received Quality).

Для отдельных служебных и информационных сигналов (каналов) ПК позволяет рассчитывать карты значений параметра SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio), равного отношению мощности сигнала к суммарной мощности помех и шума в заданной полосе частот. При этом в модуле 2G/4G дополнительно учитываются соканальные (межчастотные) помехи, а в модуле 3G/4G – взаимные помехи в общей полосе частот от всех мешающих служебных и информационных каналов. Эти помехи зависят от нагрузки и от дисциплины обслуживания каналов, что особенно актуально для мультисервисных широкополосных сетей LTE.

Величина SINR для информационных каналов – важная характеристика качества их обслуживания, которая непосредственно связана



с показателями достоверности и своевременности, а также с максимальной доступной скоростью передачи (пропускной способностью). В ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP предусмотрен пересчет результатов расчета SINR (C/I) в пропускную способность (Throughput) на основании сформированных таблиц или графиков соответствия между ними для конкретных методов кодирования и модуляции (рис.2).

На рис.3 приведены примеры результатов расчета карт максимальной доступной скорости передачи (Throughput) в направлении DL при работе передатчиков БС с максимальной мощностью во всей полосе частот, что фактически соответствует режиму FUSC (Fully Used Subcanalization). Карта строилась на основании рассчитанных карт SINR с учетом функциональных зависимостей, приведенных на рис.2, без учета помех и с учетом максимальных помех от соседних БС. Сравнивая карты максимальной доступной скорости передачи на рис.3а (оптимистическая оценка при нуле-

вой нагрузке на сеть) и на рис.3б (пессимистическая оценка при максимально возможной нагрузке на сеть), можно получить представление о диапазоне изменения доступной скорости передачи для отдельных абонентов, находящихся в различных местах, при крайних значениях общей нагрузки на сеть.

Один из способов снижения интерференции в сетях LTE (при сохранении прежней максимальной нагрузки) – использование дополнительных непересекающихся полос частот. В предельном случае при назначении каждому сектору своей независимой полосы частот (например, для сети из шести трехсекторных БС потребуется 18 полос) можно гарантировать полное отсутствие интерференции и максимальную доступную скорость передачи (см. рис.3а). Однако на практике можно рассчитывать не более чем на три полосы частот по 20 МГц. При этом полностью избежать интерференции не удастся, но можно ее минимизировать за счет оптимизации распределения частот. На рис.4а показан пример результатов расчета карты максимальной доступной скорости передачи с учетом помех при оптимальном распределении трех полос частот по 20 МГц.

Если невозможно выделить дополнительные полосы частот для снижения интерференции, в сетях LTE предусмотрено деление имеющейся общей полосы частот



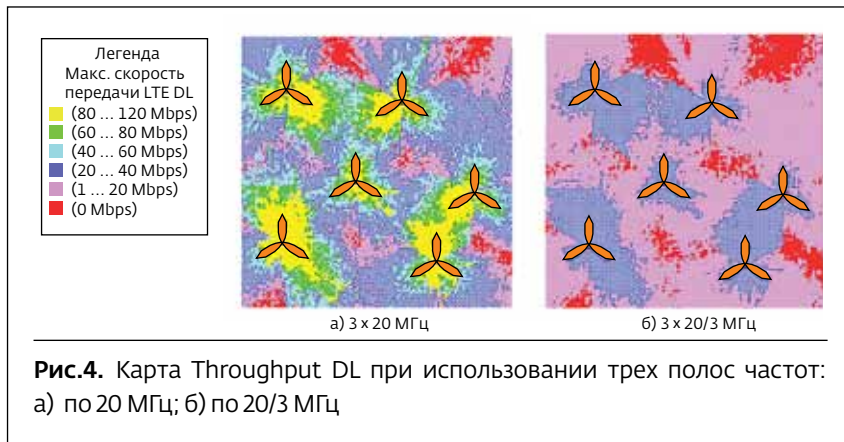
(например, 20 МГц, включающей 100 ресурсных блоков) на отдельные участки и их распределение между соседними секторами БС. На рис.4б показан пример результатов расчета карты максимальной доступной скорости передачи с учетом помех при оптимальном распределении трех неперекрывающихся участков полосы частот по 20/3 МГц (по 33 ресурсных блока), что фактически соответствует режиму PUSC (Partly Used Subcanalization). Как видно из рис.4б, при назначении каждому сектору БС только одного участка полосы частот 20/3 МГц максимальная доступная скорость передачи в любом месте, независимо от наличия помех, не может превысить долю общей скорости, которую составляет назначенный участок полосы частот от общей ширины полосы (в данном случае менее 40 Мбит/с).

Как видно из сравнения результатов расчета на рис.4б и 3б, при назначении каждому сектору одной трети общей полосы частот (см. рис.4б) пострадают абоненты, которые находятся близко к БС. Ведь в этом случае снижение скорости передачи из-за жесткого ограничения доступной полосы частот гораздо существеннее, чем ее увеличение за счет снижения и так маленькой интерференции от далеких мешающих БС. Зато "выиграют" абоненты, которые находятся далеко от БС, но близко к границам обслуживания отдельных секторов, поскольку для них значительное снижение интерференции за счет использования отдельного участка полосы частот приводит к большему увеличению скорости, чем

ее уменьшение за счет отказа от использования всей доступной полосы.

Подобную неоднозначность и жесткую поляризованность двух крайних случаев использования общей полосы частот (только совместно или только по частям) в сетях LTE можно смягчить за счет так называемого мягкого повторного использования частот (SFR, Soft Frequency Reuse). В результате обобщения различных известных вариантов подобного мягкого частотно-территориального планирования (ЧТП) в ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP реализованы специальные инструменты, позволяющие задать, учесть при расчете максимальной доступной скорости передачи и оптимизировать параметры выбранного метода распределения участков общей полосы частот.

В программе используется обобщенная модель распределения частотно-временных и энергетических ресурсов кадра при реализации мягкого ЧТП (рис.5). Она обобщает режимы SFR с пониженной мощностью во всей полосе частот и с повышенной – в определенной части полосы, а также режимы частичного повторного использования частот (PFR, Part Frequency Reuse) с различным ко-



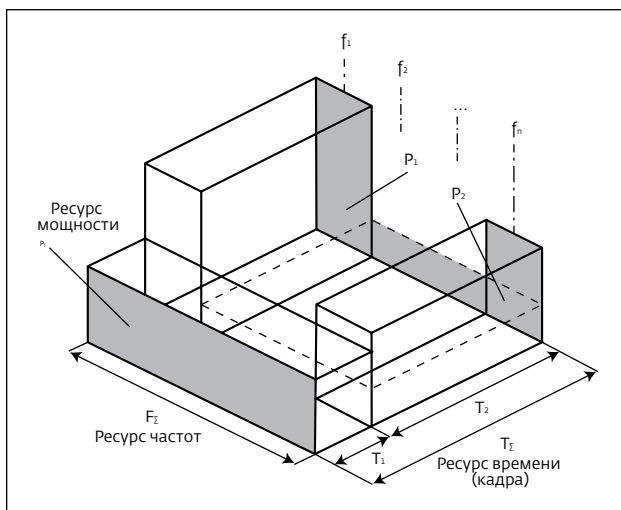


Рис.5. Обобщенная модель распределения частотно-временных и энергетических ресурсов при реализации мягкого ЧТП: T_1 и T_2 – доли времени кадра T_Σ , выделяемые, соответственно, на общую (для всех секторов) и индивидуальную (распределяемую между секторами) части кадра; P_1 и P_2 – доли мощности P_Σ , выделяемые на индивидуальные и общие участки полосы частот в течение T_2 ; N – число участков (групп ресурсных блоков LTE), на которые делится общая полоса частот F_Σ в течение доли времени T_2

эффицентом повторения разных частей полосы частот и режим с переменным коэффициентом повторного использования частот (FFR – Fractional frequency Reuse), с разным коэффициентом повторного использования частот для разных участков кадра. Модель предполагает разделение указанных ресурсов на три части (ортогональные по частоте и времени), из которых одна часть – общая для всех секторов сети, а вторая и третья части являются взаимодополняющими с различными распределениями частей для разных секторов сети.

Пример результатов расчета карты максимальной доступной скорости передачи, полученных при оптимальном распределении трех неперекрывающихся участков полосы частот по 20/3 МГц в течение 20% времени кадра и при использовании всей полосы частот в течение 80% времени кадра (режим FFR) представлен на рис.6. Как следует из сравнения результатов расчета на рис.3б, 4б и 6, мягкое ЧТП (рис.6) позволяет получить компромиссное распределение максимальной доступной скорости передачи – промежуточное между результатами на рис.3б (без деления общей полосы на отдельные части) и на рис.4б

(с жестким делением общей полосы на три части). При этом, варьируя соотношением долей общих (T_1) и индивидуальных (T_2) ресурсов, можно приблизиться к тому или другому крайнему варианту, удовлетворив тем самым интересы большей части абонентов с учетом их пространственного распределения.

Для количественного сравнения эффективности применения различных вариантов жесткого и мягкого ЧТП в ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP предусмотрены инструменты расчета коэффициентов покрытия для заданной скорости передачи, а также инструменты построения графиков зависимости коэффициента покрытия от максимальной доступной скорости передачи (рис.7). Графики на рис. 7 позволяют судить о числе абонентов, которым доступна различная максимальная скорость при условии их равномерного распределения в заданном районе. Используя имеющиеся в ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP инструменты работы с моделями трафика, можно получить аналогичные графики с учетом весовых коэффициентов, пропорциональных плотности абонентов в районах с различной максимальной доступной скоростью передачи.

Рассмотренные результаты расчета сети LTE позволяют оценить правильность (допустимость) выбранных при планировании параметров оборудования – прежде всего энергетических и отчасти логических, определяющих режимы работы данного оборудования при совместном обслуживании множества абонентов на заданной территории. На работу сетей LTE влияют и многие другие логические параметры оборудования, которые в приведенных расчетах в явном виде не учитываются, но выступают в роли ограничений. Для таких параметров разработчиками, как правило, задаются допустимые диапазоны возможных значений (и их сочетаний), в пределах

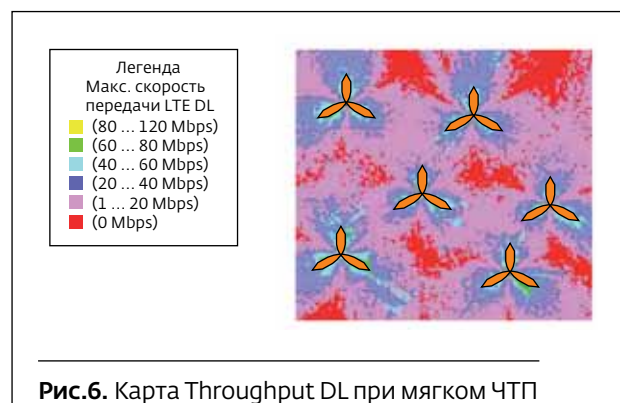


Рис.6. Карта Throughput DL при мягком ЧТП

которых гарантируется нормальная работа сетевого оборудования. Соответственно их учет сводится в ПК к регистрации и контролю допустимых значений, а расчет – к распределению данных параметров с заданными ограничениями. К подобным логическим параметрам для сетей LTE можно отнести, в частности, параметры PCI (Physical Cell Identifier) и Root Sequence Index, определяющие отличительные кодовые признаки различных секторов, одновременно доступных многим мобильным абонентам на общей территории. К другой группе логических параметров можно отнести параметры TAC (Tracking Area Code) – коды пространства слежения. Для работы с данными кодами можно использовать имеющийся в ПК функционал регистрации, распределения, а также расчета и отображения карт назначенных кодов LAC для 2G или RAC для 3G, близких по смыслу кодам TAC.

ПК ONEPLAN RPLS-DB RFP также позволяет выполнять расчеты при планировании и оптимизации совместно функционирующих на одной территории нескольких многозональных сетей радиодоступа различных стандартов (2G-3G, 3G-4G), образующих так называемые многоуровневые или многослойные сети. При этом ПК позволяет учитывать три типа "соседства" сетей и их зон доступа: "соседство" по оборудованию (общим площадкам, общим радиотрактам, общим антеннам); по трафику (разделение и совместное обслуживание трафика, эстафетная передача) и по интерференции (взаимные помехи).

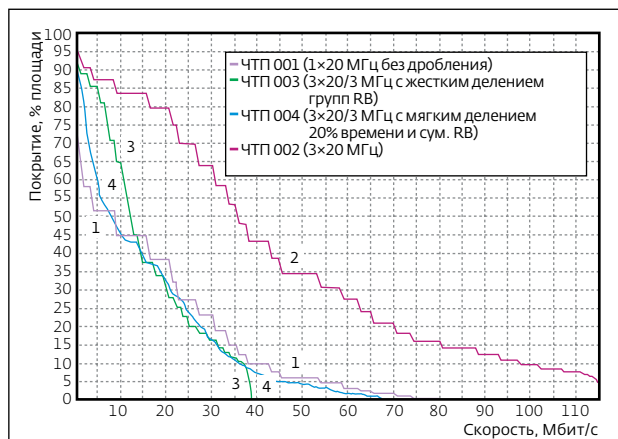


Рис.7. Зависимости коэффициента покрытия сети LTE от доступной скорости передачи для четырех вариантов ЧТП (см.рис.3б, 4а, 4б и 6)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Одоевский С., Степанец В.** Программные средства планирования и оптимизации сетей подвижной и фиксированной связи. – Первая миля, 2010, №2, с.28–31.
2. **Бабков В.Ю., Цикин И.А.** Сотовые системы мобильной связи. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011.
3. **Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker.** LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. – John Wiley & Sons, 2009.
4. **Вишневский В., Красилов А., Шахнович И.** Технология сотовой связи LTE – почти 4G. – Первая миля, 2009, №2, с.2–13.
5. **Тихвинский В.О., Тереньев С.В., Юрчук А.Б.** Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.