

## **IMT: концепция развития мобильной связи будущего**

*Александр ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва*

*"Все относительно. И это абсолютно точно".*

*(автор неизвестен)*

### **Краткая история мобильной связи**

Что касается мобильной связи в широком смысле, то она появилась одновременно с изобретением радио. Если рассматривать сети сотовой связи, обеспечивающие непрерывное обслуживание абонента при его перемещении с "автомобильной" высокой скоростью, то в 80-х годах прошлого века они прошли этап аналоговой радиотелефонии (первое поколение или 1G), а в 90-х — цифровой радиотелефонии (2G). Во многом движущими силами развития мобильной связи были единство и борьба поставщиков в искреннем желании не только сгенерировать новые доходы, но и унифицировать технику.

В конце XX века появление Интернета не сразу было воспринято индустрией мобильной связи во всей его динамике развития не только с точки зрения скоростей передачи информации, но и новых технологий доставки этой информации, потому что версталось третье поколение.

3G было призвано объединить сотовый мир 2G, в котором существовало несколько "нестыкуемых" стандартов (например, GSM и cdmaOne/IS-95), на основе рамочных стандартов Международного Союза Электросвязи (МСЭ или ITU) в интересах так называемой программы IMT-2000 (International Mobile Telecommunications). Вот как об этом писали все СМИ в конце 90-х: "Одним из наиболее грандиозных проектов конца XX века является концепция IMT-2000. В ее основе лежит идея создания нового поколения семейства систем беспроводного доступа, сотовой и спутниковой связи. Ключевые требования, предъявляемые к стандартам семейства IMT-2000, — дешевые карманные терминалы, обеспечение глобального роуминга и универсальные решения для сетей разного класса (микросотовых, сотовых и спутниковых)" и т. д. и т. п.

Теперь, по прошествии первого десятилетия XXI века, можно посмотреть, что из всего этого получилось. Во-первых, война поставщиков привела к тому, что сотовый мир получил сразу пять стандартов 3G, из которых два развились наиболее широко (UMTS и cdma2000 EV-DO) во всем мире, не считая местный китайский стандарт TD-SCDMA. Во-вторых, глобального "оттенка" не получилось еще и потому, что никакие спутниковые системы связи в 3G так и не прижились — не до них было. В-третьих, резко "пошедший в гору" одновременно с появлением концепции IMT-2000 Интернет спутал все карты и заставил ориентироваться на скоростную передачу данных, которая поначалу получалась "не очень" (в UMTS, кто помнит, получалось лишь 384 кбит/с при быстром перемещении абонента). В Европе переход с технологии TDMA (GSM) на WCDMA (UMTS) подразумевал серьезную смену радиооборудования, которую поставщики сумели оформить в виде этакой "каши из топора", когда параллельно телефонной сети постепенно создавалась сеть передачи данных (GPRS, EDGE), и все это объединялось в общем радиointерфейсе (т. н. сети 2,5G), а старое

оборудование выбрасывалось. А уж потом оператор "дозревал" до построения сети 3G/UMTS.

Еще в начале XXI века были длительные проблемы с терминалами 3G/UMTS, которые плохо работали, быстро разряжались и пр. и пр. А еще европейские бюрократы вместе с поставщиками оборудования сумели "снять" с операторов порядка 300 млрд евро за лицензии и оборудование (включая и ту самую "кашу из топора"), что серьезным образом сказалось на окупаемости "сетей будущего". В общем, история 3G приобрела положительный оттенок и "заиграла" в полную силу лишь к концу десятилетия ее развития, когда сети UMTS стали модернизироваться с помощью семейства технологий HSPA/HSPA+ (High Speed Packet Access), которые позволяют получать 21 Мбит/с на линии "вниз" и 14 Мбит/с в направлении "вверх". Одновременно и сами сети смогли отказаться от "телефонной" технологии TDM и перейти полностью на IP. Параллельно сети cdma2000 EV-DO, пережив несколько модификаций, достигли примерно тех же результатов (причем немного раньше). В РФ в этом стандарте в диапазоне 450 МГц работает оператор Скай Линк.

### День сегодняшний

В результате сегодня сети 3G в совокупности обслуживают почти 0,5 млрд абонентов. И основная тенденция их развития — все более и более высокие скорости передачи информации, требуемые для "хорошего" мобильного Интернета. Это позволяет продолжать "скоростную" гонку за сетями фиксированной связи. Разумеется, из-за кардинальных различий в физических средах эту гонку им не выиграть, но самое главное все-таки не скорость, а чтобы потребитель был доволен услугами, главной из которых является мобильность. А еще абонент хочет везде получать такой же Интернет, как дома или в офисе. Сегодня в мире насчитывается свыше 5 млрд мобильных устройств в основном, однако, разработанных для передачи голоса, но значительный рост популярности смартфонов, например, Apple iPhone, ведет к удвоению объема трафика мобильных данных каждые шесть месяцев. И уже сегодня мобильная связь начинает вытеснять фиксированную как в телефонии, так и в скоростном доступе в Интернет (Mobile Broadband — MBW). К примеру, расставленные недавно по всем населенным пунктам РФ таксофоны не пользуются популярностью, потому что большинство местных жителей, включая пенсионеров, уже имеют мобильные телефоны и пользуются относительно недорогими тарифами. А там, где появились сети 3G, тарифы на мобильный Интернет в разы ниже тарифов операторов фиксированной связи, чего не скажешь о скоростях доступа.

Итак, основными стимулами для внедрения MBW сегодня являются:

- рост спроса на услуги передачи данных, рост трафика, требования к качеству;
- новые услуги, проникновение Интернета, новый контент, генераторами которого становятся сами пользователи, а также многомодовые терминалы (например, с Wi-Fi);
- дальнейшее вовлечение населения многих стран в мировое информационное пространство;
- ограниченность ресурсов существующих сетей, снижение средних доходов с абонента (ARPU);
- возможность фрагментарного и взаимодополняющего построения новых сетей;
- повышение экономической, функциональной и спектральной эффективности использования радиоспектра.

Учитывая вышесказанное, отрасль мобильной связи двинулась за рамки IMT-2000 к четвертому поколению (4G), где международная организация 3GPP (3-rd Generation Partnership Project), занимающаяся развитием технологической линейки GSM/UMTS/HSPA, предложила концепцию "долговременной эволюции" LTE (Long Term Evolution).

## LTE

В долгом процессе превращения мобильной телефонии в скоростную передачу данных вкупе с переходом от TDM к IP последняя "обросла" множеством дополнительных архитектурных построений, увеличивающих капитальные и операционные затраты операторов сетей. Приход поколения 4G не только логично продолжал великое дело увеличения скоростей передачи информации в мобильных сетях, но и был призван существенно упростить их архитектуру. Началом работы над концепцией LTE считается семинар по эволюции радиосетей доступа, состоявшийся в ноябре 2004 г. в Торонто. На семинаре присутствовали все заинтересованные организации (члены и не члены 3GPP). Там же были определены основные цели и задачи работ по дальнейшему развитию сетей 3G:

- снижение себестоимости на бит информации;
- увеличение количества услуг с ориентацией на требования абонентов;
- высокая гибкость использования имеющихся и новых частотных диапазонов;
- упрощенная архитектура, открытость интерфейсов;
- возможность рационального потребления энергии абонентскими терминалами;
- было также рекомендовано упростить базовую сеть (объединяющую базовые станции).

Система связи LTE является частью спецификаций 3GPP rel.8 и rel.9 и одновременно дальнейшим развитием стандартов UMTS/HSPA. Пиковые скорости передачи данных в ранних реализациях должны составлять не менее 100 Мбит/с в канале "вниз" и не менее 50 Мбит/с в канале "вверх". Кроме того, время задержки отклика в сети радиодоступа (RAN) должно быть менее 10 мс (т. е. абонент быстро оказывается в Интернете); должна осуществляться поддержка гибких полос частот несущей с шириной от 5 МГц и меньше и до 20 МГц во многих новых и существующих частотных диапазонах, а также поддержка развертывания с разделением по частоте (FDD) и времени (TDD).

Серьезным шагом вперед на пути к глобальному 4G стал отказ компании Qualcomm (производителя чипов для мобильных телефонов) от дальнейшего развития линейки стандартов cdma2000 в лице перспективного стандарта cdma2000 EV-DO rev.C (он же UMB - Ultra Mobile Broadband), основные технические характеристики которого (как, впрочем, и набор применяемых технологий) были близки LTE. К тому же ряд крупных операторов сетей cdma2000 (прежде всего, американский Verizon) заявили о будущем переходе на LTE во имя обслуживания глобальной абонентской базы планеты. Отныне Qualcomm занимается созданием многостандартных чипов, одновременно поддерживающих UMTS, cdma 2000, LTE, а также GPS и ГЛОНАСС, что открывает производителям терминалов будущего весьма широкие возможности.

Система LTE состоит из радиоподсистемы E-UTRAN и базовой сети в лице системы SAE (System Architecture Evolution). Именно поэтому ее часто называют LTE/SAE.

Основной технологической особенностью LTE (помимо "тотального" IP) является отход от радиointерфейса на базе CDMA и использование хорошо зарекомендовавшей себя в системах WiMAX технологии радиодоступа OFDM (ортогональное частотное разделение каналов), технологии MIMO (Multiple Input — Multiple Output: одновременная работа на нескольких передающих и приемных антеннах, позволяющая уменьшить воздействие помех и переотражений), AAS (адаптивные антенны, формирующие диаграмму направленности в сторону абонентской станции) и пр. Из других технологических ухищрений, применяемых в LTE для улучшения технических характеристик, можно упомянуть технологию HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request – гибридная система автоматического запроса повторной передачи), которая предусматривает возможность перепосылки блоков пакетов между

базовой и абонентской станциями, что повышает производительность и позволяет сохранять устойчивое соединение при резкой смене направления движения абонентского оборудования. Уменьшение количества ошибок на краях соты позволяет повысить ее эффективность и расширить зону обслуживания. Межсотовое управление интерференцией с помощью изменения излучаемой мощности в направлении секторов других базовых станций, работающих на той же несущей частоте, повышает эффективность работы всей сети. Еще одно ухищрение — встроенные механизмы для предотвращения перегрузки сетей. Например, поезд, в котором едет на работу масса людей с работающими смартфонами, при выезде из туннеля — это серьезный "удар" по ближайшей базовой станции с точки зрения нагрузки.

Помимо указанных достижений в радиосети сама сетевая архитектура становится "плоской" путем упрощения до двух уровней — E-UTRAN (усовершенствованная сеть радиодоступа UTRAN) и шлюза доступа AGW (Access Gateway), подключаемого к транспортной IP-сети. Это позволяет повысить пропускную способность сети путем модернизации узлов только двух типов: базовых станций и шлюзов, чтобы они справились с трафиком в случае его значительного роста. Таким образом, в LTE/SAE используются лишь два интерфейса для соединения базовых станций друг с другом и их подключения к IP-сети. Поддержка передачи обслуживания смежным базовым станциям и роуминга с существующими мобильными сетями позволяет с самого начала предоставить абонентам доступ к мобильной связи в любой точке.

В декабре прошедшего года состоялся запуск первой в мире мобильной сети на базе технологии LTE в Стокгольме и Осло. Воспользоваться новой технологией жители этих европейских столиц могут посредством LTE-модемов Samsung, прошедших тестирование на работоспособность в сети в октябре. Они уже поступили в продажу.

В конце сентября 2009 г. сто мобильных сетей в мире уже либо тестировали LTE, либо взяли на себя подобные обязательства. Только в Азиатско-Тихоокеанском регионе планируется свыше 40 тестовых развертываний LTE. Правда, пока сети LTE не готовы для передачи голоса (голос пока будет передаваться по сетям 2G/3G), да и мобильных телефонов LTE пока не существует (ожидаются к 2011—2012 гг.).

### **Альтернативный WiMAX**

Интересно, что набор технологий, используемых в сетях мобильного WiMAX (IEEE 802.16e), практически тот же самый, что и в LTE (т. е. OFDM, MIMO, AAS и пр.). При этом сети WiMAX уже работают, а к примеру, в Москве их даже сразу две. Правда, WiMAX не может "переключить" на себя внимание мобильных операторов, которые "бегут" по заранее выбранной для них поставщиками оборудования технологической дорожке на пути к LTE (исключение — американский Sprint, выбравший WiMAX). В связи с этим ясно, что WiMAX обречен "трудиться" в некоей нише, где предложит "особо высокоскоростной" доступ. Причем даже опередит в этом своих мобильных конкурентов благодаря некоторому преимуществу во времени (порядка двух лет). То есть он уже работает с потенциальной абонентской базой LTE.

По прогнозам специалистов, к 2013 г. объем глобального рынка инфраструктурных и клиентских продуктов для сетей WiMAX достигнет 4,9 млрд долл. (в основном за счет развивающихся стран), число подписчиков вырастет до 140 млн. Дальнейшие перспективы развития WiMAX связаны с новой редакцией стандарта IEEE 802.16m (Mobile WiMAX Rel. 2.0). Основными радиочастотными диапазонами для сетей мобильного WiMAX пока являются 2,3, 2,6 и 3,5 ГГц (в будущем возможно и 700 МГц).

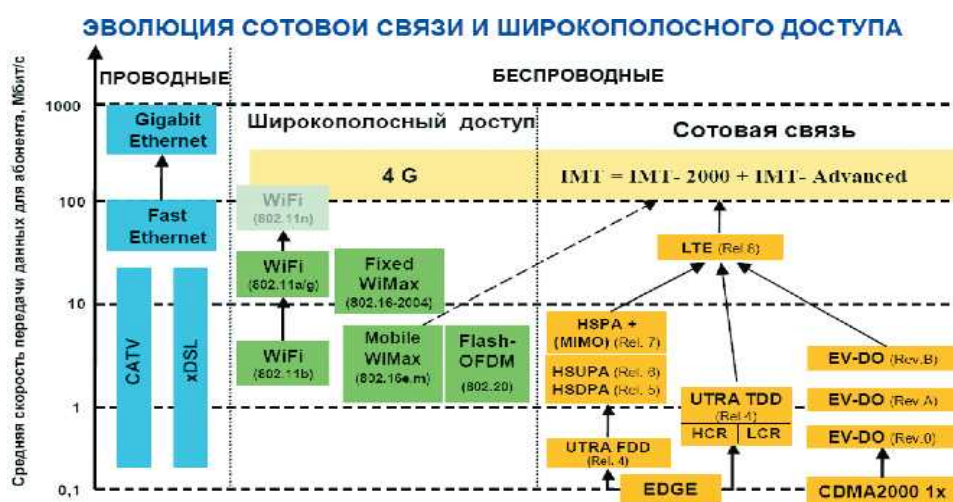
В первой половине 2008 г. развитие сетей мобильного WiMAX происходило

невысокими темпами. Но в конце 2008 г. и в начале 2009 г. произошли события, которые позволяют говорить о том, что мобильному WiMAX стало "тесно" в своей нише. По итогам первой половины 2008 г. число наименований оборудования, поддерживающих мобильный WiMAX, составляло менее десяти, тогда как в конце 2008 г. их стало в четыре раза больше. А количество абонентов в мире превысило 2 млн.

### Что есть 4G?

Чем же 4G отличается от сегодняшних реалий? Не так давно президент TM Forum Кит Виллетс опубликовал в своем блоге (<http://tmforum.org>) статью под названием "Жизнь в эпоху 4G". Там, в частности, говорится, что на сегодня 3G уже исчерпал свой скоростной потенциал, и теперь его должна сменить более гибкая технология, которая будет обладать сверхвысокими скоростями передачи данных. Вообще, внедрение 4G обещает пройти спокойно, да и сама технология будет сильно отличаться от поколений 2G и 3G, поскольку в 4G объединены несколько ключевых технологий и подходов: быстрый и вездесущий мобильный Интернет, а также мощные мобильные устройства поддерживающие технологию "сетевых облаков" (cloud-based services). Благодаря ей мобильные устройства в дальнейшем могут быть намного меньше, легче и проще, но при этом оставаться такими же мощными, поскольку вся прикладная обработка трафика и его хранения создается в "облаке". Но чтобы эта технология работала, необходима высокоскоростная и надежная связь.

Совокупность "сетевых облаков" и высокой скорости — это и есть 4G.



### Но это еще не все...

Итак, появление мобильного WiMAX "встряхнуло" мобильную отрасль и ускорило появление LTE, а появление LTE еще раз всколыхнуло мобильное сообщество, но оказалось, что это все еще "не 4G". Потому что "настоящее" 4G, как общий проект дальнейшего развития стандартов [IMT-2000](#) в рамках ИТУ, носит название [IMT-Advanced](#). Проект IMT-Advanced (или, как теперь принято, просто IMT) призван определить требования к будущим технологиям мобильной связи, внедрение которого ожидается после 2010 г. А пока ИТУ собирает предложения по технологиям, которые соответствуют сформированным требованиям к системам IMT-Advanced. Среди кандидатов LTE-Advanced от 3GPP (будет стандартизован в рамках документа 3GPP Rel.10) и WiMAX 2.0 (IEEE 802.16m) от WiMAX Forum. Но и этого мало – в октябре 2009 г. Министерство промышленности и информационных технологий Китая представило в ИТУ спецификацию TD-LTE-Advanced (продолжение китайского 3G-стандарта TD-SCDMA) на одобрение ее в качестве 4G-

технологии IMT-Advanced. То есть применительно к сегодняшним сетям IEEE 802.16e и LTE термин 4G используется неправильно, ибо немного опережает события.

Не попасть в пул IMT-Advanced — это медленная смерть для стандарта, оборудования и поставщиков. Битва за право стать стандартом будущих сетей 4G обостряется в связи с тем, что Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) формально принял стандарт 802.16m в качестве стандарта для усовершенствованных систем IMT-Advanced. Проект, посвященный стандарту 802.16m, стартовал в декабре 2006 г. Финальная встреча специалистов прошла в Сан-Диего (США) в январе 2010 г. Реальный выход на рынок возможен в 2011—2012 гг.

Новый стандарт предназначен для работы в диапазонах ниже 6 ГГц, обеспечивает обратную совместимость с IEEE 802.16e, а также полную совместимость с IMT-Advanced и IMT-2000 (прежде всего, с точки зрения отсутствия интерференции сигналов оборудования разных типов). Могут использоваться все выделенные диапазоны радиочастот, поддерживаются режимы частотного и временного дуплексирования, а также работа с каналом, образованным несколькими частотными полосами. Пиковая пропускная способность — до 150 Мбит/с в полосе 20 МГц в канале "вниз" (при скорости перемещения абонента до 350 км/час). Для ограниченной мобильности скорости доступа — 1 Гбит/с. Пиковая нормализованная пропускная способность составит не менее 8 и 2,8 бит/с/Гц в нисходящем и восходящем каналах соответственно. Задержка передачи пакета данных IP-уровня не превысит 10 мс. Обеспечение определения местоположения абонента — от 50 до 150 м. Примерно все то же самое предлагается и в стандарте LTE-Advanced.

Системы IEEE 802.16m обеспечат энергетический выигрыш в 3 дБ по сравнению с IEEE 802.16e. До 5 км расширится радиус зоны покрытия, где будут обеспечиваться заявленные технические характеристики (при увеличении до 30 км будет происходить постепенная деградация качества). Предусмотрена работа базовой станции в ретрансляционном режиме. Еще одна возможность — в IEEE 802.16m, предусмотрена возможность работы с широкими радиоканалами свыше 20 МГц (совокупность нескольких стандартных каналов), причем отсутствует необходимость в наличии защитных частотных интервалов между каналами, что увеличивает доступную полосу пропускания. Предусматривается также целый ряд режимов работы с MIMO, в частности, вводится режим Multi-user MIMO, когда одновременно и на одних частотах возможна трансляция информации различным пользователям.

Успех технологии обусловлен эффективностью бизнес-моделей и поддержкой со стороны поставщиков во всех звеньях производственно-сбытовой цепи, а также экономическими показателями внедрения, предоставляемыми возможностями, потребительским одобрением услуг и приложений. Кроме того, крайне важны все вопросы, связанные с частотными диапазонами.

Так кто кого? Представители "традиционного" мобильного сообщества считают, что, принимая во внимание прочие эксплуатационные, нормативные и бизнес-факторы, высока вероятность того, что LTE все же победит в "борьбе" с WiMAX в средне- или долгосрочной перспективе — 5—10 лет. А вот по мнению аналитиков In-Stat, в конечном итоге WiMAX опередит LTE по причине именно сроков развертывания сетей, ведь любое запаздывание уже критично для мобильной отрасли. Впрочем, в чем аналитики сходятся, так это в том, что в ближайшие пять лет число подписчиков мобильных услуг WiMAX и LTE будет составлять совсем небольшую часть из всех мобильных пользователей. Даже к 2013 г. абонентская база GSM/GPRS/EDGE-сетей все еще будет составлять 55 % от всех мобильных абонентов.

Итак, либо обе технологии — и WiMAX, и LTE — будут совместимыми с IMT-Advanced, либо одна из них возьмет верх над другой. По мнению президента WiMAX Forum

Рона Резника, стандарт, принятый IEEE, предоставляет разработчикам WiMAX даже больше возможностей для развития. Думается, что глава 3GPP Эдриан Скрейз имеет точно такое же мнение об LTE-Advanced.

### Частотный вопрос

Мобильная связь — выдающееся технологическое достижение человечества. Вот только частотный вопрос его испортил. Всемирная конференция по радиосвязи WCR'2007 определила дальнейшие пути развития радиочастотного спектра (РЧС) для сетей мобильной связи в соответствии с формулой  $IMT = IMT-2000 + IMT-Advanced$  и отметила, что в настоящее время наблюдается постепенное перераспределение трафика в пользу сетей 3G (Япония, Корея, США, Австралия,...) и одновременно стремительный рост трафика передачи данных. Перспективные потребности в РЧС для развития IMT в 2015 г. составляют порядка 1300 МГц. На самом деле это — серьезная проблема. Ранее для сетей IMT (в 2000 и 2004 гг.) было выделено около 400 МГц: 900/1800/2100/2500...2690 МГц. На основе прогнозируемого роста трафика для IMT на глобальной основе выделено еще 136 МГц в диапазонах 450–470 МГц; 790–806 МГц; 806–862 МГц; 2,3–2,4 ГГц; 3,4–3,6 ГГц. Эффективность использования РЧС — постоянная "головная боль" разработчиков систем мобильной связи, однако в конечном итоге все определяется наличием радиочастотных ресурсов, которые в настоящее время практически в каждой развитой стране являются дефицитом.

Кстати, сетям LTE и IEEE 802.16m не критично наличие сплошного радиоспектра, поскольку в основе технологии лежат непрерывные скачки по частоте. Однако для заявленных больших скоростей передачи информации от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с необходим суммарный радиоканал шириной 20 МГц. А таких ресурсов пока попросту нет. К примеру, в Европе собираются начинать с полос 5 МГц. Но при таких радиоресурсах сети LTE не имеют преимуществ перед сетями UMTS/HSPA. Поэтому в Северной Америке и Западной Европе "распечатывают" так называемые "частотные дивиденды" под сети 4G в диапазонах 700 и 800 МГц. Регуляторы "выгоняют" из указанных диапазонов аналоговое эфирное ТВ вещание, вполне обоснованно говоря телевизионщикам, что в наступившую эпоху "цифры" они могут передавать в одной частотном канале до восьми и более ТВ программ и потому в частотном смысле будут "раскулачены", так как любой современной развитой стране нужны ресурсы под сети мобильного скоростного Интернета. "Цифровой дивиденд" США уже распродан на аукционах. В 2008—2012 гг. в Европе планируется также выделить дополнительные частоты в диапазоне 700/800 МГц. Норвегия и Швеция будут развивать сети LTE в диапазоне 2,6 ГГц.

Специалисты хорошо понимают, что обещаемые в различных прогнозах миллиарды пользователей мобильного Интернета — это, мягко говоря, большая неправда, на которой любят спекулировать разного рода "аналитики". Сегодня на планете нет радиочастотных ресурсов для реализации таких прогнозов даже с учетом "распечатывания" "цифровых дивидендов". Поэтому операторы уже вплотную заинтересовались фемтосотами и использованием хотспотов Wi-Fi для разгрузки своих сетей в будущем, не говоря уже о совместном использовании радиоспектра. К примеру, недавно был принят новый Wi-Fi-стандарт IEEE 802.11n, обеспечивающий скорости до 600 Мбит/с.

Таким образом, 4G — это, прежде всего, борьба поставщиков оборудования и операторов за новые стандарты, новые инвестиции, лицензии, частоты и пр. В общем, будет интересно...