

ЧТО ТАКОЕ 4G?

Анализ эволюции сетей широкополосного беспроводного доступа

В.Вишнеvский, д.т.н, С.Портной, д.т.н., И.Шахнович

Несколько лет назад мы с коллегами присутствовали на совещании, посвященном вопросу "Что такое сотовый телефон пятого поколения"? Было это в те годы, когда сетей сотовой связи 3G в России и в реальных проектах не было. Совещание то, очевидно, ответа на вопрос не дало, но заставило задуматься. Действительно, что такое "поколение" систем связи? Что такое пусть не пятое, но четвертое поколение? Масла в огонь подлила очень вольная в последние годы игра терминами 3G, 4G и производными. В этом вопросе надлежит разобраться, поскольку за терминологической путаницей кроется непонимание сути новых технологий. И как нам кажется, это вполне удалось.

4G – СЛЕДУЮЩИЙ ШАГ БЕСПРОВОДНОЙ РЕВОЛЮЦИИ

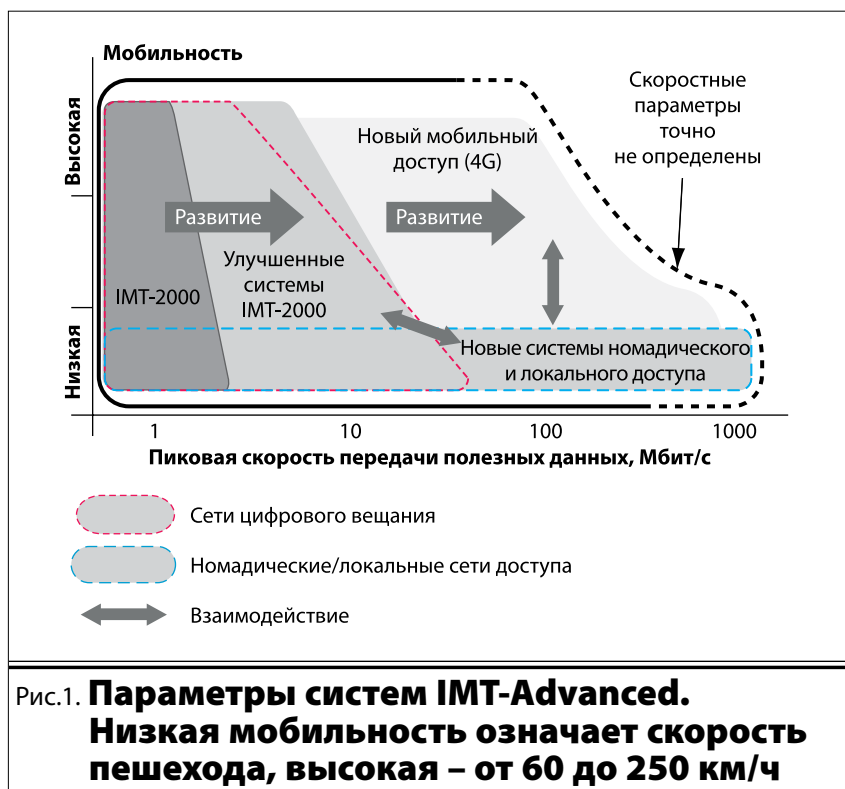
Вопрос о том, что такое технологии беспроводной связи четвертого поколения (4G) совсем не однозначен. Кто-то пытается называть 4G сети WiMAX и HSPA, кто-то относит это понятие к LTE. Но это совершенно неверно. Недаром специалисты используют термины 3,5G, 3,9G (по отношению к LTE) и т.п. В то же время, сегодня понятие "беспроводные сети четвертого поколения" имеют вполне четкое определение. Но прежде чем его дать, рассмотрим, чем отличаются поколения телекоммуникационных беспроводных сетей.

Поколение от поколения должно отличаться качественно, причем на всех уровнях – как технологическом, так и потребительском. В свое время переход от технологий сотовой связи первого поколения ко второму означал переход от аналоговых к цифровым технологиям на техническом уровне и к сервисам передачи данных (пусть и очень простым) – на пользовательском.

Переход к 3G подразумевает возможность передачи данных на скоростях, позволяющих смотреть видео, – это качественно новый шаг. Технологически он основывается на прорыве в создании малопотребляющих микроэлектронных средств обработки сигналов – как

цифровых (DSP), так и аналоговых (например, высокочастотных малошумящих усилителей, полупроводниковых приборов на основе GaAs, GaN и других широкозонных полупроводниковых материалов). Микроэлектронные технологии глубоко субмикронного уровня (65–45 нм и ниже) – это ни что иное, как снижение энергопотребления и увеличение функциональности в заданном объеме. Именно ради создания портативных устройств, в том числе телекоммуникационных, и ведут мировые лидеры полупроводниковых технологий пресловутую "гонку за нанометрами".

Четвертое поколение устройств, по нашему мне-



нию, – это полноценный мультимедийный "офис в кармане". Для этого необходимы системы связи, обеспечивающие скорости передачи полезных данных в нисходящем канале до 100 Мбит/с для мобильных и 1 Гбит/с – для номадических и фиксированных абонентов. Именно такие параметры и содержатся в требованиях Международного союза электросвязи (ITU) IMT-Advanced (рис.1). Изначально они были сформулированы в рекомендации ITU-R M.1645 [1], сейчас пребывают в стадии постоянного уточнения. Кроме скоростей передачи, документ включает ряд других требований – возможность устанавливать голосовые соединения, одновременно предоставлять различные информационные сервисы, такие, как работа

в Интернете, обмен большими массивами данных, просмотр ТВ-трансляций (IPTV), видео по запросу и т.п. Словом, все то, что пользователь имеет сегодня у себя дома (в офисе). Причем за очень небольшие деньги. Как сотовая телефония позволила быть на связи всегда и везде (почти), так и системы 4G должны обеспечить все и каждого надежным высокоскоростным доступом к различным сетям передачи данных.

Казалось бы, и мобильный WiMAX, и LTE/UMB с такой задачей справятся. А с увеличением скорости – наверняка. Но возникает одна, но глобальная проблема. И имя ей – совместимость. Много воды утекло с тех пор, как весь телекоммуникационный мир устами ITU провозглашал концепцию единой общемировой бес-

проводной сети. Теперь уже ясно – протоколов и технологий глобальных систем связи всегда будет несколько. Например, в пуле IMT-2000 – шесть различных стандартов с соответствующими им частотами. Группа стандартов IMT-Advanced также будет представлена различными технологиями. И среди них наверняка будут WiMAX релиз 2.0, LTE Advanced и UMB (cdma200 Rev.C). Все это – широкополосные технологии, но ни одна из них заведомо не получит 100%-ного распространения. Поэтому им нужно будет не просто сосуществовать совместно, а сосуществовать комфортно. И не мешая, а дополняя друг друга. Только такие технологии – ориентированные на совместную работу и интеграцию на системном уровне друг с другом – и можно относить к поколению 4G. Причем речь идет о взаимодействии технологий всех уровней – от широкополосных (например, стандарта наземного телевизионного цифрового вещания DVB-T2) до сетей фиксированной связи (рис.2).

Но за счет чего реально обеспечивается совместимость различных технологий? Для этого, прежде всего, необходимы согласованные протоколы работы в радиосети. Например, должна совпадать длительность кадров и зоны нисходящих и восходящих каналов при временном дуплексе. Обязательна масштабируемость по частотным полосам,

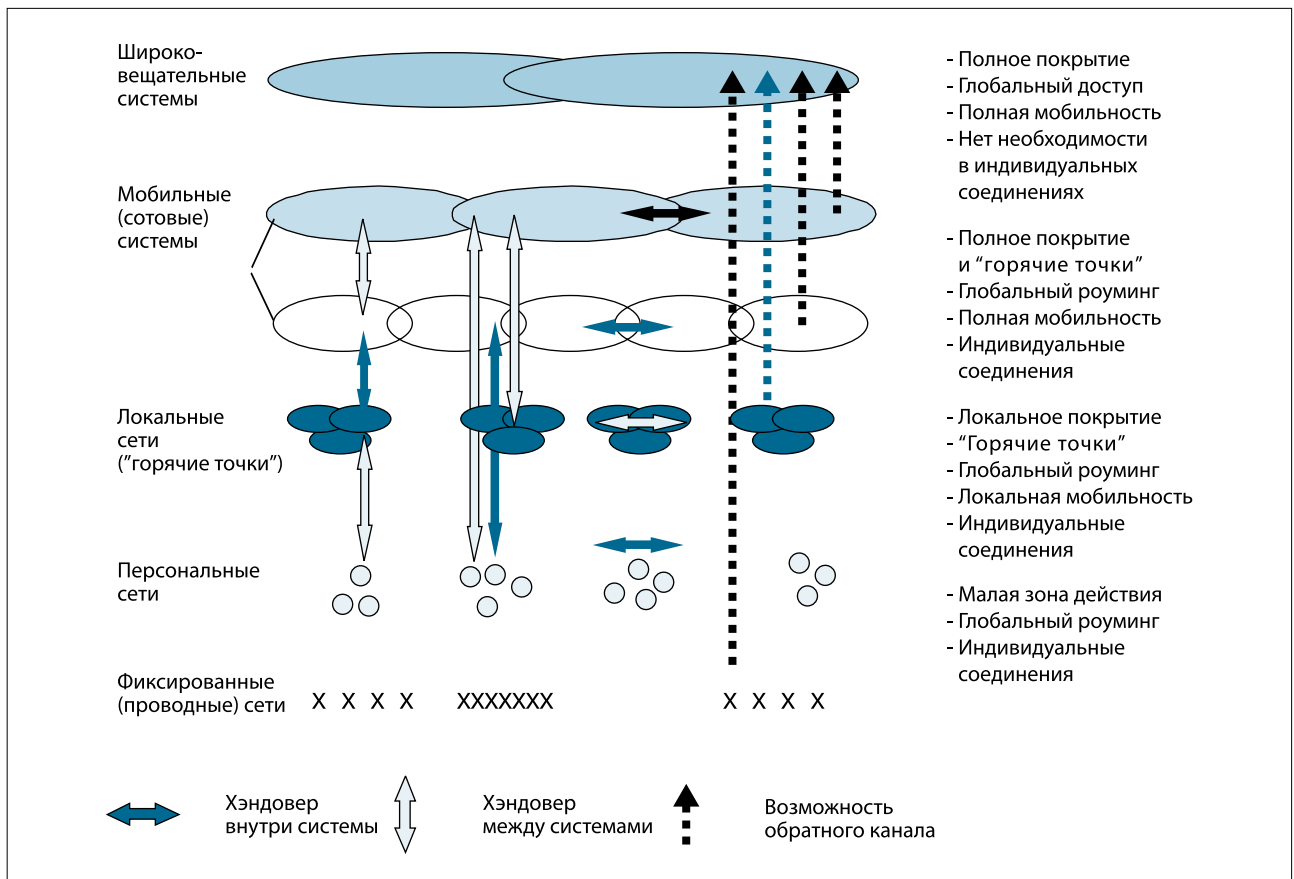


Рис.2. **Взаимодействие различных технологий в рамках систем IMT-Advanced**

причем с одинаковой для разных технологий кратностью (или должна поддерживаться работа в одинаковых по ширине полосах). Необходимы средства гибкой адаптации и перестройки системы, в том числе – на уровне антенных систем. Для этого все технологии IMT-Advanced должны поддерживать работу с адаптивными антенными системами, включая функции формирования диаграмм направленности. А в перспективе – и поддерживать динамическое цифровое диаграммообразование. На уровне опорных сетей интеграция должна быть еще более полной, вплоть до прозрачного обмена потоками между сетями

с различными радиоинтерфейсами. Отметим, что все эти требования поддерживают перспективные стандарты, разрабатываемые как в рамках LTE-Advanced, так и WiMAX.

Таким образом, системы 4G можно определить как технологии, которые войдут в пул стандартов IMT-Advanced (рис.3). На пользовательском уровне их будут отличать:

- высокая (от 100/1000 Мбит/с для мобильных/номадических абонентов) скорость. Это означает работу одновременно с несколькими мультимедийными потоками, различными по природе и требованиям к QoS;

- взаимная совместимость и активное взаимодействие. Пользователь не должен ощущать ни помех от других сетей, ни проблем с межсетевой передачей данных.

На уровне технологического системы 4G будут характеризоваться:

- полным переходом к модуляции OFDM и OFDMA (работа в условиях перетражений);
- согласованностью совместной работы на уровне радиопrotocolов физического уровня;
- высокой гибкостью при выборе частотных полос, частотных диапазонов, адаптивной перестройкой методов модуляции;

- применением наиболее совершенных методов канального корректирующего кодирования (каскадных кодов, кодов LDPC, развитой системы многоуровневого интерливинга и т.п.);
- опорные/базовые сети будут полностью IP-сетями (с переходом к протоколам IPv6), с возможностью интеграции систем различных стандартов на базе единой NGN-сети (например, на основе технологии MPLS), с поддержкой платформы IMS.

И первые кандидаты на технологии IMT-advanced – WiMAX релиз 2.0 (на основе стандарта IEEE 802.16m) и LTE Advanced (3GPP релиз 10).

Все перечисленные технологические особенности опираются на поистине революционные достижения последних лет в области микроэлектронной элементной базы. Это относится не только к функциональности самих приемопередающих устройств. Ведь сами по себе данные пользователю, как правило, не нужны – ему требуются средства их обработки. Конечный потребитель хочет смотреть ТВ и видео, обмениваться сообщениями, прикрепляя к ним большие файлы, слушать музыку, разговаривать и т.п. Для чего необходима интеграция сетевых устройств в ноут- и нетбуки, наладонные компьютеры, смартфоны и т.п. Более того, сети

4G без такого рода устройств попросту бесполезны. Сейчас эти устройства по отношению к массовому пользователю чуть дороговаты (в отношении нетбуков это уже неверно). Но через два года их цена неминуемо упадет до стоимости обычного сотового телефона. И тогда потребность на скоростной мобильный контент станет глобальной и всеобщей.

Наряду с революционными изменениями в области микроэлектронной элементной базы происходят и не менее значимые изменения в сопутствующем программном обеспечении и создании принципиально нового интерфейса "человек-компьютер", например – замены существующего сегодня интерфейса

Web 2.0 на интерфейс будущего Web 3.0.

СОПУТСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Конечно, огромное влияние на развитие широкополосной мобильной связи 4G оказывают (и будут оказывать) такие смежные технологии, как IEEE 802.11, а также технологии цифрового телевизионного и радиовещания. Стандарты 802.11 продолжают активно совершенствоваться, их уже давно нельзя позиционировать только как технологии для беспроводных

локальных сетей. Известны многочисленные примеры, когда на основе технологий 802.11 строились сети широкополосного беспроводного доступа городского масштаба, причем с объединением нескольких регионов. А с появлением стандарта mesh-сетей 802.11s и 802.11 VHT (в перспективе) это направление будет только развиваться.

Разумеется, стандартам IEEE 802.11 нет места в пуле IMT-Advanced. Для это у них отсутствует ряд важных свойств – прежде всего, нет поддержки мобиль-

ности и высокой плотности абонентов. Не говоря уже об отсутствии единых частотных полос в лицензируемых диапазонах. Но ведь сети 802.11 специально создавались для работы в безлицензионных диапазонах частот. И их основное свойство, которое неизменно сохраняется во всех новых системах, – простота инсталляции и низкая стоимость. Сегодня эта технология – доминирующая и фактически безальтернативная для беспроводных локальных сетей. Уже крайне сложно найти смартфон без поддержки 802.11 и практически невозможно найти такой ноутбук. Абонентское оборудование стоит порядка 10 долл. и менее, точки доступа (для работы внутри помещений) – порядка 100 долл. Огромная армия пользователей "бесплатно" оснащена адаптерами 802.11, этот интерфейс воспринимается как должное в мобильных устройствах (например, как USB-порт). Поэтому стандарты 802.11 незаменимы для формирования сети доступа в различных локальных зонах (гостиницы, кафе, аэропорты, вокзалы и т.п.).

Кроме того, технология 802.11 – действенное решение для построения сетей фиксированной широкополосной связи в локальных зонах (город с населением порядка 100 тыс. жителей, "горячие зоны", а также регионы, где невозможны проекты с большими объемами инвестиций).

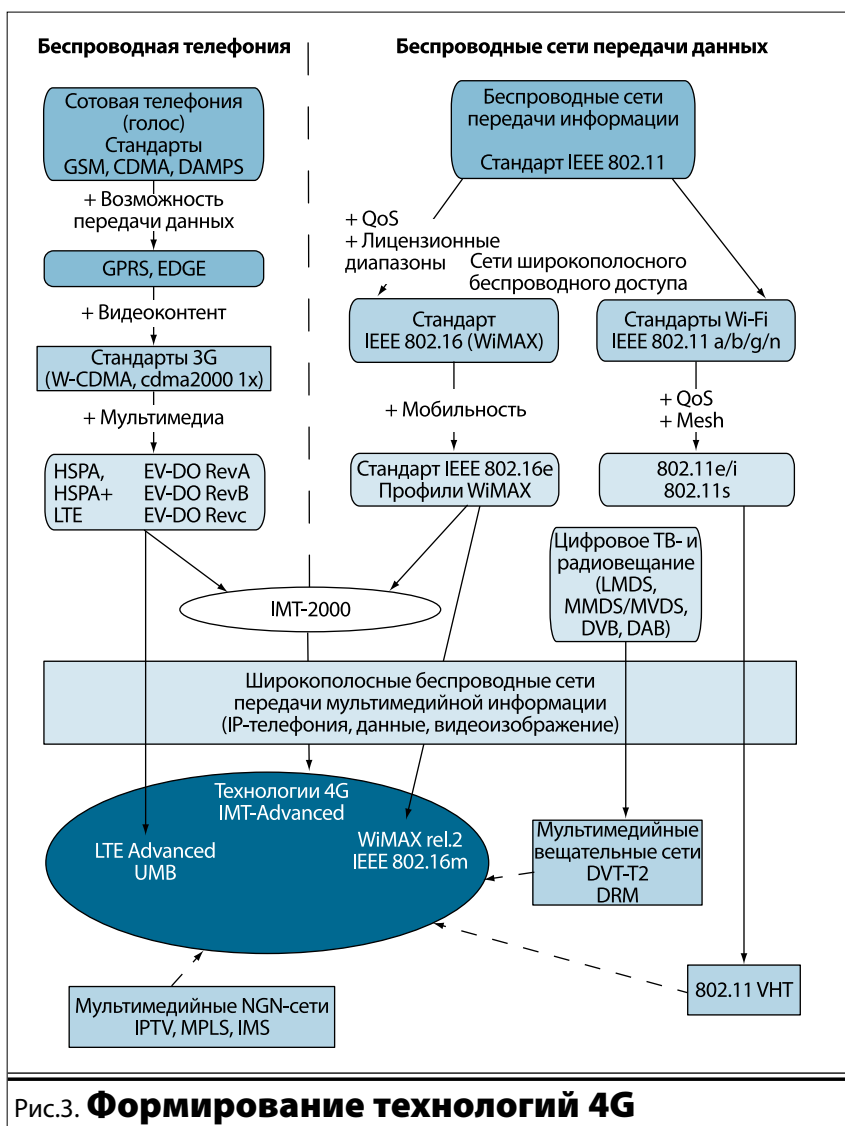


Рис.3. Формирование технологий 4G

Разумеется, в таких проектах, если идет речь о предоставлении операторского качества услуг, необходима работа в лицензируемом диапазоне и с существенно большими мощностями передатчиков, чем в случае домашних/офисных сетей. Вопрос о перспективности таких решений спорен, однако подобный опыт есть. И тут много будет зависеть от дальнейших решений национального регулятора радиочастотного спектра.

В частности, в России возможны два варианта. Диапазоны 802.11 будут признаны безлицензионными, тогда автоматически возникнут ограничения на уровень эквивалентной изотропной мощности в антенне. Либо будут выделяться частоты для "802.11-образных" сетей в нестандартных диапазонах. Каждое такое решение способно существенно повлиять на судьбу технологии 802.11, но не кардинально. В любом случае сети 802.11 будут продолжать развиваться и сосуществовать с сетями 4G, оказывая на них существенное влияние. Ведь все основные перспективные решения, которые заложены в стандарты 3,5–4G, изначально воплощались в оборудовании 802.11. Это и MIMO, и mesh-сети, и агрегация/фрагментация пакетов, и OFDM – продолжать можно долго.

Может быть, чуть меньшее, но тем не менее существенное влияние на 4G окажут и развивающиеся тех-

нологии цифрового вещания. Прежде всего, они в известной мере окажутся конкурентами ряду услуг 4G. Ведь в последних предусмотрена передача видео- и аудиоконтента, включая ТВ- и радиотрансляции. Кроме того, изменяются и сами стандарты цифровых широковещательных сетей. Они становятся все более мультимедийными, с возможностью обратной связи и т.п. Как будет строиться взаимодействие таких сетей с сетями 4G – тут можно только фантазировать. Возможно, в чуть более отдаленном будущем их ожидает слияние в единую технологию, возможно – возникнут различные интегральные решения. Может сохраниться и существующий паритет. Ведь вещательные технологии специально рассчитаны на возможность приема слабого сигнала, что дает им несомненное преимущество. Но одно несомненно – независимо существовать, не замечая друг друга, они не смогут.

Стоит отметить и развитие технологий беспроводных опорных сетей – объединение базовых станций в единую сеть. Такая возможность заложена в стандартах и WiMAX, и LTE. Явно прослеживается тенденция освоения диапазонов 60–80 ГГц с огромной емкостью за счет больших доступных полос пропускания. Привнесение сюда технологий OFDM и OFDMA наряду с новейшими достижениями элементной базы

позволит получить дешевые устройства, работающие на расстоянии нескольких километров со скоростями в несколько гигабит, а со временем – и десятков гигабит в секунду.

И, разумеется, нельзя не упомянуть о развитии технологий сетей пакетной передачи. Собственно, развитие беспроводных сетей лишь отражает основные тенденции сетей проводных. А в этой области вот уже лет 20 неуклонными темпами происходят поистине революционные изменения. Причем настолько стабильно, что все успели к этому привыкнуть и перестали воспринимать как революцию. Технология пакетной коммутации уверенно вышла на уровень транспортных сетей, пройдя путь до мультисервисной транспортной платформы (MSTP) – технологии SDN следующего поколения. Пакеты Gigabit Ethernet (и последующих Ethernet-технологий) уже передают непосредственно по магистральным каналам волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Для предоставления мультимедийных услуг создана платформа IMS (IP Multimedia Subsystem) и протокол SIP (Session Initiation Protocol) [2]. Сети NGN с поддержкой MPLS (как наиболее эффективного сегодня механизма обеспечения QoS в мультимедийных сетях) уже получили широчайшее развитие [3]. И все эти технологии, вкуче с не менее бурно прогрессирующими технологи-

ями ВОЛС, обеспечивают для сетей широкополосного беспроводного доступа прочнейший фундамент – как идеологический, так и формируя собственно наземную сетевую инфраструктуру. Недаром поддержка платформы IMS прямо прописана в спецификациях как LTE, так и WiMAX. А магистральная сеть на основе ВОЛС с DWDM и поддержкой IP-MPLS – это не исключение, а скорее стандарт для современных беспроводных сетей широкополосного доступа.

4G – ПАНАЦЕЯ ДЛЯ РОССИИ?

Сегодня в России процесс перехода к технологиям мобильного широкополосного беспроводного доступа только начинается. По сути, наибольших успехов достигли технологии WiMAX, развиваются и технологии 3G (правда, очень фрагментарно, и далеко не всегда их можно назвать полноценными технологиями передачи данных, поскольку пока невелики скорости и дороговизна трафика). Холодным душем оказались для многих участников рынка итоги недавнего конкурса "на получение лицензий на оказание услуг связи в сетях мобильного беспроводного доступа в диапазоне 2300–2400 МГц" в 40 регионах России. Примечателен не тот факт, что во всех этих регионах, кроме Чечни, победил холдинг "Связьинвест" в лице ОАО "Ростелеком" (ОАО "Сибирьтелеком" в Томской

области). Важно, что изначально конкурс проводился под технологию WiMAX, затем появились слова про "технологическую нейтральность", а в известном интервью генеральный директор холдинга "Связьинвест" Е.Юрченко [4] говорит об однозначном предпочтении LTE. Примечательно, что основное условие конкурса – использование радиоэлектронных систем отечественного производства. И если российское WiMAX-оборудование есть (например, AstraMAX концерна "Созвездие" или WiMiC-6000 от НПФ "Микран"), то отечественного LTE-оборудования пока не существует (по крайней мере, нам о нем ничего не известно). И за полтора года оно едва ли появится. Значит, либо в данном диапазоне все же начнется строительство фрагментов сетей WiMAX, либо "Ростелекому" придется вернуть лицензии. Причем в любом случае "чистой" LTE-сети во всех этих регионах не будет, если, конечно, завтра, например, компания Huawei или Nokia не окажутся исконно российскими производителями.

С точки зрения темы нашей статьи, все это примечательно потому, что данные процессы явно показывают – именно сети 4G, конвергентные сети грядущих технологий, смогут реально решить проблему построения сетей широкополосного беспроводного доступа в глобальном масштабе. Учитывая технологическую

близость WiMAX и LTE, вполне возможно и ожидается появление мультитехнологических платформ. Но одно можно постулировать однозначно – ни современный WiMAX (релиз 1.0), ни только запускаемая LTE – это не технологии 4G. Это – лишь предтечи, "проба пера". Их задача – приучить пользователей к принципиально новому сервису, застолбить рынок. Но подлинные 4G-технологии, по сути – дальнейшее развитие как WiMAX, так и LTE, появятся уже очень скоро. Максимум – через три года. Может быть, тут есть шанс для реальных российских производителей?

ЛИТЕРАТУРА

1. RECOMMENDATION ITU-R M.1645. Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000. – ITU-R, 2003.
2. **Абрагин Д.** Телекоммуникационные сети нового поколения: решения НТЦ "Натекс". – Первая миля, 2009, № 2, с. 28–31.
3. **Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С.** Технология и протоколы MPLS. – СПб.: БХВ, 2005.
4. **Юрченко Е.** Я не знаю более честного заработка, чем инвестирование в акции собственной компании. – Газета "Коммерсантъ", № 45 (4345), 17.03.2010.