

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.391.8

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ 5G

В. О. Тихвинский, заместитель генерального директора ООО «АйКомИнвест» по инновационным технологиям, д.э.н., проф.; vtiiir@mail.ru
Г. С. Бочечка, начальник отдела инновационного центра ООО «АйКомИнвест», к.т.н.

Ключевые слова: концепция системы мобильной связи пятого поколения (5G), радиочастотный спектр, технологический облик 5G, технологии развития 5G, проекты METIS, 5GIC, ISRA.

Введение. Успехи в развитии мобильных сетей связи и показатели рынка мобильных услуг не дают ученым и разработчикам останавливаться на достигнутом в ходе эволюции технологий 4G. Естественно, перед телекоммуникационным сообществом встает вопрос: что за пределами 4G. Какими характеристиками должны обладать технологии 5G? Когда можно ожидать их появления на рынке и как при этом изменится мобильный мир?

В текущем году ряд ведущих мировых производителей телекоммуникационного оборудования и операторов мобильной связи (Ericsson, Samsung, Huawei, Vodafone и др.) на всемирных форумах (MWC-13, LTE World Summit) анонсировали начало исследовательских работ по созданию технологии 5G [1, 2].

Европейское сообщество в рамках начатых исследований по 5G стремится решить задачу технологического лидерства и создания новых рабочих мест в индустрии ИКТ. Россия, не имея национальной концепции создания 5G и современной регуляторной базы для будущих операторов 5G, не сможет занять достойное место среди производителей телекоммуникационного оборудования к 2020 г. Открытие собственных работ по 5G в рамках реализации Стратегии инновационного развития России на период до 2020 г. [3] является для нашей страны критически важным условием построения информационного общества.

Проекты развития 5G. В настоящее время в Европе на концепции создания 5G специализируются два центра компетенции на базе проектов Еврокомиссии в рамках программ FP7 METIS (координатор — компания Ericsson) [4] и 5GIC при Университете Суррея (The University of Surrey, Великобритания) [5]. По своим целям и задачам, а также по объемам финансирования проекты близки, следовательно, их можно считать конкурентными (табл. 1).

Проект METIS направлен на формирование фундаментальных основ 5G и гарантий глобального объединения усилий для достижения мирового технологического консенсуса при создании пятого поколения мобильной и беспроводной связи [5]. Основными целями проекта 5GIC являются создание новой технологии мобильной и беспроводной связи, стратегии переиспользования частот и развития, обеспечивающего увеличение пропускной способности в условиях ограничения доступа к спектру.

Американский проект ISRA, координируемый компанией Intel, с учетом целей, объемов финансирования и состава участников можно считать скорее имиджевым, обозначающим американское присутствие на поле 5G.

Проект METIS. Европейская комиссия в 2012 г. анонсировала этот научно-исследовательский проект, направленный на создание мобильных и беспроводных систем связи следующего поколения (до 2020 г. и далее). Первое организационное собрание участников проекта состоялось в ноябре 2012 г. в Стокгольме. Проект реализует консорциум партнеров, в который входят пять ведущих мировых вендоров (Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei, Nokia, NSN), пять круп-

Таблица 1. Проекты развития 5G

Характеристики проектов	 METIS	 5GIC	 ISRA
Инвесторы	Еврокомиссия	UKRPIF, Samsung, Huawei, Telefonica Europe, Fujitsu Laboratories of Europe, Rohde & Schwarz, AIRCOM International	Intel
Объем инвестиций	50 млн евро	35 млн фунтов	\$3 млн (начальные инвестиции)
Участники проекта	29 партнеров (8 рабочих групп)	Сотрудники университета и CCSR	Verizon, научно-исследовательские институты США, Испании, Австралии, Индии
Штат сотрудников и сроки работ	80 человек в режиме полного рабочего дня в течение 30 месяцев	150 сотрудников CCSR, включая 100 докторов наук, и 70 студентов-магистров	Более 100 специалистов
Координатор	Ericsson	CCSR	Intel Labs

Таблица 2. Области ответственности рабочих групп проекта METIS

Номер рабочей группы	Название рабочей группы	Председательство	Область ответственности РГ
WP1	Сценарии, требования и ключевые показатели эффективности (КПЭ)	DoCoMo	Исследует сценарии, требования и ключевые показатели функционирования на системном уровне технологии, вытекающие из потребностей пользователей
WP2	Концепция радиолиний	Huawei	Развивает и исследует концепции радиолиний, связанные с удовлетворением потребностей в будущих услугах мобильной связи
WP3	Передача сигналов через мультиузловые сети и многоэлементные антенны	Alcatel-Lucent	Исследует и развивает вопросы мультиузловой и мультиантенной передачи данных
WP4	Многоуровневые и мультитехнологические сети	NSN	Исследует и развивает сетевые аспекты, связанные с эффективностью, работой и оптимизацией будущей системы, а также мультиантенной передачи данных
WP5	Использование спектра	Nokia	Исследует вопрос достаточности спектра на основе концепции совместного использования (шеринга)
WP6	Системный дизайн и характеристики	Ericsson	Интегрирует технологические компоненты, разрабатываемые в WP1–WP5, в общую концепцию системы
WP7	Распространение результатов	Ericsson	Координирует распространение результатов проекта и вклады в органы стандартизации и регулирования
WP8	Управление	Ericsson	Взаимодействует с WP1–WP7 в целях выполнения технических и стратегических задач проекта

нейших операторов мобильной связи (Deutsche Telekom, NTT DoCoMo, Orange, Telecom Italia, Telefonica) и ряд академических институтов. Финансирование осуществляется в рамках FP7 (7th Framework Programme — 7-я рамочная программа Евросоюза по прикладным исследованиям).

Проект METIS должен заложить фундаментальную основу для будущего поколения (5G) мобильных и беспроводных систем связи, в том числе речь идет об эволюции существующих в настоящее время мобильных технологий и разработке новых технологий беспроводной связи. Предполагается сформулировать концепцию системы 5G, которая обеспечит необходимую эффективность, универсальность и масштабируемость, изучить ключевые технологические компоненты поддержки системы, а также оценить и продемонстрировать ее ключевые функциональные характеристики.

План проекта структурирован по восьми рабочим группам (WP1–WP8): шесть из них технические, одна нацелена

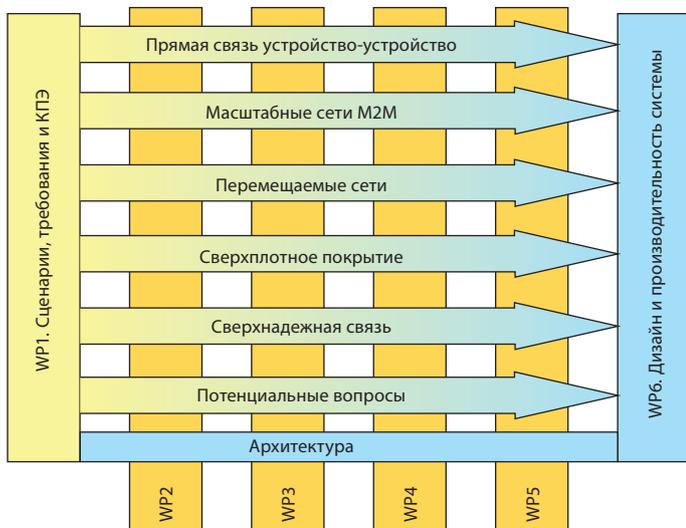


Рис. 1. Распределение РГ по решению программных проблем и их взаимодействие между собой

на распространение результатов проекта (WP7) и еще одна (WP8) осуществляет управление проектом (табл. 2).

Были выделены шесть главных горизонтальных проблем при создании концепции 5G, соответствующих основным вызовам мобильного рынка (рис. 1), которые решаются на основе матричного подхода к управлению проектом в шести вертикальных технических группах проекта.

По завершении исследований, наряду с задачами распространения их результатов, стандартизации и внедрения в регуляторную базу, предполагается:

- начиная с 2020 г. и далее принять участие или внести вклады в программу развития мобильных и беспроводных сетей 5G; представлять как минимум на двух важнейших конференциях по 5G;
- организовать по меньшей мере один технический семинар на важных конференциях и принять участие не менее чем в двух глобальных семинарах с неевропейским участием и представительством региональных регулирующих органов;
- распространить результаты научных исследований и связанные с ними технологические компоненты путем публикации не менее 40 научных статей;
- внести вклады на европейском уровне в СЕРТ и при подготовке к ВРК-15. Цель вкладов — достичь согласия по проекту METIS на уровне стран-участников СЕРТ и обеспечить гармонизацию полученных результатов на европейском уровне;
- вывести результаты научных исследований по проекту METIS на глобальный уровень регулирования путем участия и представления вкладов напрямую в ИТУ во время подготовительного процесса к ВРК-15.

Проект 5GIC стартовал в октябре 2012 г., когда британский фонд UKRPIF (UK Research Partnership Investment Fund) выделил Университету Суррея 11,6 млн фунтов государственных средств на исследования по 5G. Усилия фонда поддержали компании-производители (Huawei, Samsung, Telefonica Europe, Fujitsu Laboratories of Europe, Rohde & Schwarz и AIRCOM International), которые инвестировали в проект еще 24 млн фунтов.

Университет Суррея является восьмым в рейтинге университетов Великобритании и вторым среди телекоммуникационных университетов страны. Разработкой концепции 5G будет заниматься существующий уже 15 лет при университете научно-исследовательский центр по системам связи (Centre for Communication Systems Research, CCSR). Эта крупнейшая в Европе академическая исследовательская группа в области информационных и телекоммуникационных технологий насчитывает 150 ученых; центр получает наибольшее финансирование от ЕС в рамках программ FP6/7. При CCSR создан инновационный центр по 5G (5GIC), который и будет заниматься разработкой концепции 5G с привлечением ученых и студентов университета.

Проект 5GIC предполагает развивать концепцию 5G по трем ключевым направлениям:

- повышение скорости передачи данных до 10 Гбит/с на соту. Таким образом, пользователям в среднем будет доступна скорость передачи данных 200 Мбит/с;
- использование радиочастотного спектра (РЧС) в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ), что обусловлено нехваткой спектра в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ) и постоянно растущей потребностью в увеличении пропускной способности;
- повышение энергоэффективности сети для снижения операционных затрат на содержание огромного количества малых сот.

Проект ISRA. В июле 2013 г. Intel Labs объявила о создании Альянса стратегических исследований (Intel Strategic Research Alliance, ISRA). Он объединил усилия научных лабораторий и мобильных операторов в целях разработки технологий 5G, которые должны значительно улучшить качество обслуживания пользователей в условиях быстро растущего объема передаваемых данных в мобильных сетях, а также количества беспроводных устройств и разнообразия предоставляемых услуг.

Основной задачей проекта ISRA является создание технологии 5G, обеспечивающей:

- многократное увеличение пропускной способности сети для удовлетворения растущего спроса на объем передаваемых мультимедийных данных, возможность дополнительных подключений миллионов новых устройств;
- достижение высокого качества обслуживания во всей сети независимо от местоположения пользователя и помех, создаваемых другими пользователями;
- адаптацию качества услуг к используемым потребителями приложениям, чтобы обеспечить тем самым максимальную эффективность передачи информации в сети.

Первоначальные вложения Intel в проект ISRA составляют \$3 млн, однако надо учитывать, что он стартовал совсем недавно и, возможно, в ближайшем будущем к нему присоединятся другие инвесторы, т.е. сумма вложений может существенно увеличиться.

Альянс ISRA уже сконцентрировал внушительное количество научно-исследовательских центров из разных стран, включая Университет Южной Калифорнии, Нью-Йоркский университет, Принстонский университет, Стэнфордский университет, Университет Иллинойса, Университет Техаса, Университет Помпеу Фабра (Барселона, Испания), Университет Пердью, Корнелльский университет, Индийский технологический институт (Дели, Индия), Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе, Университет Райса, Университет Маккуори (Сидней, Австралия). Главным партнером альянса со стороны биз-

нес-сообщества стал американский мобильный оператор Verizon.

Требования к технологическому облику 5G. Появление технологии 5G вызвано необходимостью преодоления вызовов мобильного рынка. Предшествующие поколения технологии подвижной связи не способны решить следующие проблемы:

- взрывной рост мобильного трафика передачи данных — как абонентского, так и служебного;
- переход от соединений, сосредоточенных на задачах обеспечения связи в цепочке «человек-человек» (H2H) или «человек-машина (сервер)» (H2M), к соединениям, нацеленным на обеспечение связи в цепочке «машина-машина» (M2M);
- необходимость сократить капитальные затраты на развертывание сетей по сравнению с инвестициями, вкладываемыми в сети предыдущего поколения, и минимизировать операционные затраты для повышения их экономической эффективности.

Кроме того, что новому поколению мобильной связи предстоит сосредоточиться на преодолении фундаментальных технических и рыночных вызовов, необходимо решить вопрос о дальнейшем развитии мобильной связи: революция или эволюция на пути от LTE Advanced к 5G. Должны быть определены цели будущих инноваций и технологические решения в области 5G, которые соответствовали бы запросам конечного пользователя, а также значения показателей функционирования (end-user KPI) для новых технологических решений.

Прежде чем формулировать технические требования к сетям 5G, разработчикам и будущим потребителям услуг следует наметить параметры их технологического облика. Как считают ведущие мировые вендоры, сети 5G должны обеспечивать:

- возможность роста объема передаваемых данных более чем в 1000 раз в каждой области обслуживания за счет повышения спектральной эффективности, использования новых радиочастотных диапазонов и гетерогенных сетей (удельная пропускная способность на единицу площади покрытия ASE = 1,5...60 Гбит/с/км²);
- увеличение от 10 до 100 раз количества присоединенных абонентских устройств (до 300 тыс. на узел доступа; в настоящее время технология LTE обеспечивает работу до 200 абонентов в соте со скоростями 100/50 кбит/с в линиях вниз/вверх соответственно);
- увеличение от 10 до 100 раз типовых скоростей передачи данных на стороне пользователя;
- удлинение в 10 раз срока службы батарей для абонентских устройств с низкой мощностью;
- снижение в 10 раз задержки в цепочке «end-to-end» (менее 1 мс против 10 мс в LTE).

Использование спектра сетями 5G. Реализация приведенных выше технических условий, особенно к повышению скоростей передачи данных, потребует существенного расширения доступа к РЧС операторов 5G и определения новых полос частот для развития сетей радиодоступа.

Программа работ проекта METIS по поиску новых принципов модуляции сигналов и диапазонов частот для 5G синхронизирована с планами исследований Международного союза электросвязи (МСЭ) и Партнерского проекта 3GPP (рис. 2). Проект METIS предполагается завершить в рамках исследовательского периода МСЭ к WCR-15: он позволит наметить планы по



Рис. 2. Координация проекта METIS с планами МСЭ и 3GPP

расширению спектра в интересах 5G на исследовательский период до ВКР-18.

При реализации концепции эволюции задача расширения используемого спектра может быть решена за счет увеличения ширины полосы и количества агрегируемых частотных каналов технологии LTE без изменения спектральной эффективности, а в случае революционного подхода — путем перехода к использованию новой технологии модуляции, повышающей спектральную эффективность в несколько раз.

Как заявляет компания Orange, технология 5G должна представлять собой эволюцию технологии LTE в диапазонах ниже 6 ГГц, дополненную прорывом в более высокие частотные диапазоны — от 6 до 60 ГГц.

Samsung в своих взглядах на перспективы использования спектра и частотные назначения для технологии обращает внимание на Ка-диапазон, который, как предполагают в компании, может стать основным для развития 5G [6]. В ходе тестирования элементов мобильной сети на частоте 28 ГГц с использованием 64-элементной антенной решетки были достигнуты скорость передачи данных 1,056 Гбит/с и дальность связи 2 км, несмотря на жесткие условия распространения радиоволн в миллиметровом диапазоне.

Еще одна кандидатная полоса для внедрения 5G — диапазон 11 ГГц, в котором в рамках работ над 5G японский мобильный оператор NTT DoCoMo совместно с Токийским технологическим институтом исследовал возможности передачи данных со скоростью 10 Гбит/с в полосе шириной 400 МГц.

Расширение полосы частотных каналов, используемых в 5G, и повышение спектральной эффективности технологий позволят на порядок увеличить скорости передачи данных в сети. Как следует из табл. 3, сети 5G будут использовать частотные каналы с шириной более 100 МГц и спектральная эффективность сетей 5G за счет использования нового вида модуляции будет в несколько раз превышать достижимую в сетях 4G.

Потенциальные технологии развития для 5G. По мнению разработчиков альтернативных концепций 5G, потенциальные технологии и принципы эволюционного перехода от 4G к 5G могут быть сгруппированы по четырем направлениям [4, 5, 7—8]:

Новые радиointерфейсы, способы передачи и приема:

- новые методы многочастотной модуляции;
- технологии координации помех на основе перспективных методов приема.

Новая сетевая архитектура:

- создание ультраплотных сетей на основе малых сот по принципу «одна точка 1Tx/Rx на одного абонента»;
- централизованная архитектура: облачные сети радиодоступа (RAN) на основе SDR и медленно координируемые центральные контроллеры; облачные базовые сети CN на основе SDN;
- многомерные антенны MIMO;
- эволюционные технологии MIMO: активные/3D-антенны MIMO;

Таблица 3. От 3G к 5G: основные системные характеристики технологий; существующие и планируемая полосы пропускания частотных каналов (источник: проект 5GIC)

Технические характеристики	3G	HSPA+	LTE	LTE-A	5G
Ширина полосы, МГц	5	5	20	100	100+
Спектральная эффективность соты, бит/с/Гц/сота	0,5	2	4	~8	10+
Пиковая скорость, Мбит/с	2	Вниз: 42; вверх: 11	Вниз: 326; вверх: 86	Вниз: 1000; вверх: 375	Вниз: 10000+; вверх: 5000+
Задержка, мс	50	20	10	10	0,1—1
Удельная пропускная способность на единицу площади покрытия, Гбит/с/км ²					50

● физическое разделение трафика и управления между плоскостями управления и передачи данных.

Новые принципы и условия использования спектра:

- использование новых диапазонов: от 6 до 60 ГГц;
- гибкое совместное использование частотных ресурсов.

Умные и адаптивные сети связи:

● использование мобильных приложений с возможностью их оптимизации для снижения стоимости радиодоступа;

- распределение и управление ресурсами гетерогенных сетей;
- межсетевое взаимодействие различных технологий радиодоступа;
- самонастраивающиеся и самооптимизирующиеся сети.

Национальные усилия по 5G. Российские компании уже несколько лет стремятся войти в клуб мировых производителей оборудования мобильной связи новых поколений (НПФ «Микран», ОАО «Концерн «Созвездие», ЗАО «Современные беспроводные технологии» и др.). Для того чтобы поддержать отечественного производителя, правительство РФ создает протекционистские условия, в том числе включило в конкурсные условия на получение лицензий и частотного ресурса для строительства сетей 4G требование закупки оборудования только у российских производителей.

Существующие сегодня трудности национальных производителей оборудования связи (недостаток технологического опыта, короткие сроки разработки и поставок, отсутствие необходимого финансирования) могут быть преодолены на пути к 5G, так как срок коммерческого вывода этой технологии на рынок отнесен на 2020 г. Следовательно, в распоряжении российской промышленности и научного сообщества целых семь лет, плюс государственная поддержка инновационных усилий, обозначенная в Стратегии инновационного развития [3] и приказе Минкомсвязи № 59 от 22.03.2013 г. На пути к 5G в первую очередь должны быть предприняты следующие шаги:

- разработка национальной концепции и стратегии развития 5G;
- участие национальных производителей оборудования, операторов и НИУ Минкомсвязи РФ в исследованиях, которые ведут Партнерский проект 3GPP и различные проекты развития 5G;
- высвобождение радиочастотного спектра на основе его конверсии для потребностей 5G;
- формирование позиций и вкладов Администрации связи России по развитию и внедрению 5G на собраниях СЕРТ и МСЭ, включая позицию для ВКР-15;
- модернизация регуляторной базы отрасли связи в целях стимулирования инвестиций операторов и производителей оборудования в создание и развитие сетей 5G.

Если оценивать будущие выгоды от реализации национального проекта 5G, то они могут состоять в следующем:

● заблаговременное формирование российскими производителями электронных компонентов, микроэлектроники, передающей и антенной техники производственного потенциала в интересах развития 5G;

● проведение своевременной конверсии и высвобождение радиоспектра для развития 5G в диапазонах 6—60 ГГц;

● защита интеллектуальных прав России на генерируемые инновации в области технологических и проектных решений, а также программного обеспечения 5G;

● создание новой технологической платформы развития ИКТ в России (в дополнение к существующим технологическим платформам);

● формирование институциональной основы частного государственного партнерства инвесторов 5G;

● создание современной нормативной правовой базы регулирования, соответствующей вызовам современного рынка ИКТ с учетом внедрения 5G;

● расширение российского технологического пространства при создании и развитии 5G в рамках научно-технического партнерства и межгосударственного инновационного пространства с Казахстаном и Белоруссией.

Заключение. Таким образом, для России ценность проекта по созданию нового поколения мобильной связи 5G состоит в реализации масштабного национального проекта в области ИКТ, имеющего важное народно-хозяйственное и социальное значение, способствующего ускорению экономического развития страны и повышению эффективности электронного государственного управления, науки и образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ким А. В., Тихвинский В. О.** Новый мобильный горизонт: итоги MWC-13 // *Электросвязь*. — 2013. — № 3.
2. **Тихвинский В. О., Архипкин В. Я.** LTE World Summit-2013: на пути к 5G // *Электросвязь*. — 2013. — № 7.
3. Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 года // www.rg.ru/pril/63/14/41/2227_strategiia.doc.
4. Mobile and wireless communications Enablers for the 2020 Information Society. EU FP7 ICT-317669-METIS // www.metis2020.com
5. **Niri S. G.** Towards 5G // LTE World Summit-2013.
6. **Hardouin E.** 5G: an operator's perspective // LTE World Summit-2013.
7. **Osseiran A.** The 5G Mobile and Wireless Communications: Challenges and Scenarios // LTE World Summit-2013.
8. **Azar Y., Wong G. N., Wang K., Mayzus R., Schulz J. K., Zhao H., Gutierrez F., Hwang D., Rappaport T. S.** 28 GHz Propagation Measurements for Outdoor Cellular Communications Using Steerable Beam Antennas in New York City: 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC). — Budapest, Hungary. June 9—13, 2013.

Получено 26.07.13