



Возможности технологии 5G для создания сетей широкополосного беспроводного доступа в малых и средних населенных пунктах



Заместитель Генерального директора
ООО «АйКомИнвест» по
инновационным технологиям,
член Президиума РАЕН,
д.э.н., проф. Тихвинский В.О.

Региональный семинар МСЭ для стран СНГ

«Оптимальные решения по обеспечению широкополосного доступа в малых и средних населенных пунктах»
г. Москва, Российская Федерация, 17-19 февраля 2015 года

Стратегия дифференциации локальных рынков в телекоммуникациях определяет выделение малых и средних городов в отдельный сектор рынка.



Характеристики малых и средних населенных пунктов влияющие на структуру телеком рынка:

- ❑ малочисленность население;
- ❑ низкоэтажная застройка;
- ❑ маленькая площадь населенных пунктов;
- ❑ высокая потребность в проникновении социальных и культурных услуг: телемедицина, виртуальные театры и кинотеатры, виртуальные музеи, дистанционное образование;
- ❑ сельскохозяйственная или природно-ресурсная ориентация местной промышленности.

Преодоление «цифровое неравенства» как главный приоритет в стратегии развития телекоммуникаций в малых и средних населенных пунктов .

Скорость
передачи данных

Рост в 10–100 раз в расчёте на абонента — до 10 Гбит/с (UL) и до 5 Гбит/с (DL) .

Потребляемый
трафик абонента

Рост в 1 000 раз — до 500 Гб на пользователя в месяц.

Количество
абонентских уст-в

Увеличение количества подключаемых абонентских устройств соте в 10–100 раз (до 300 000 на узел). Рост M2M устройств с 50 млрд. до 500 млрд.

Срок жизни
батарей

Десятикратное увеличение времени автономной работы абонентских устройств с небольшим энергопотреблением, таких как сенсоры M2M.

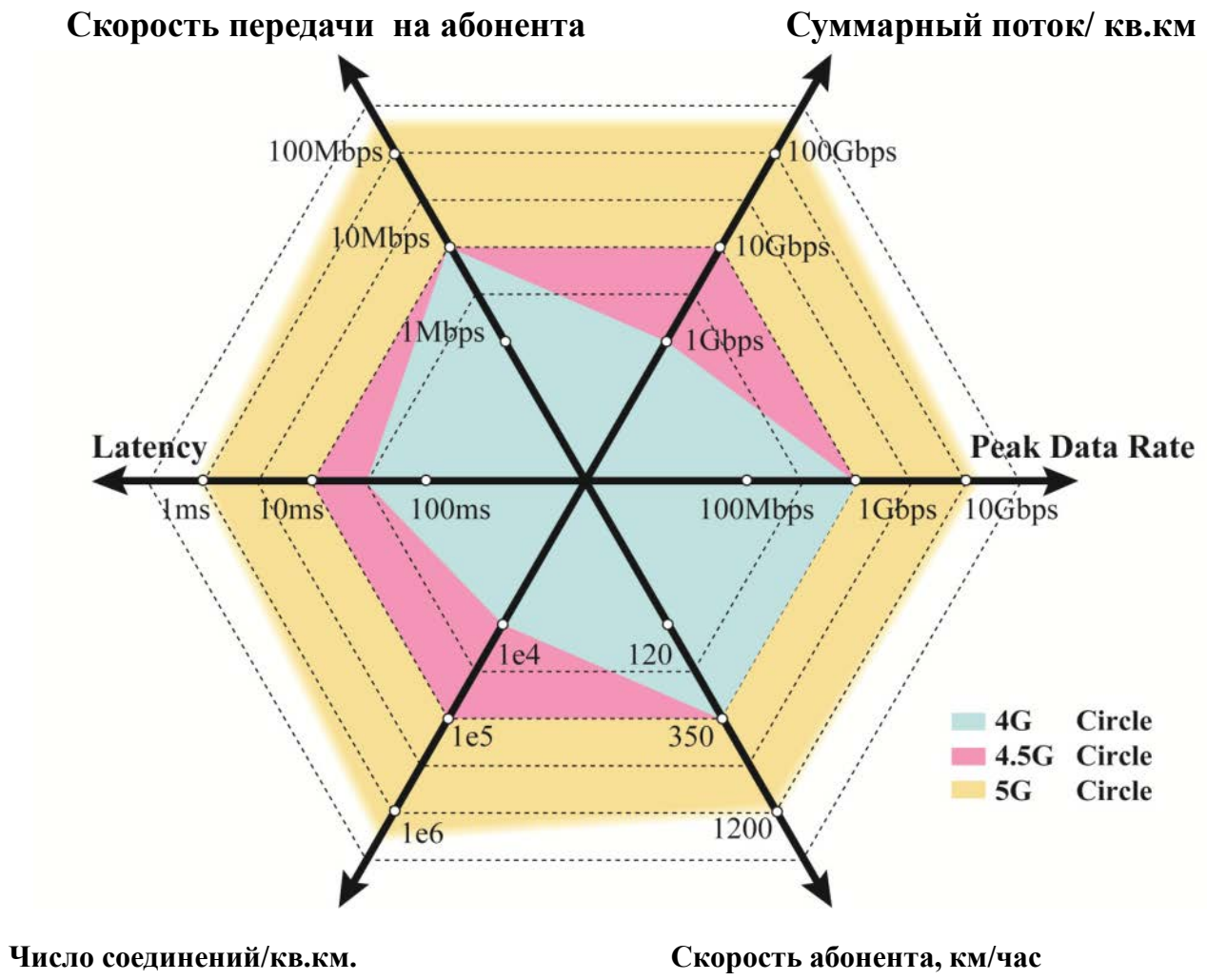
Задержки в сети

Сокращение времени задержки в цепочке E2E с 5 мс до 1 мс и менее.

Энергоэффектив-
ность и OPEX

Снижение стоимости эксплуатации и энергопотребления сетей 5G до 10% от текущего потребления сетей 4G.

Сравнение технических требований к сетям мобильной связи 4G и 5G



- **Мультимедийные услуги**
(Ultra HD видео, 3D видео, онлайн игры)
- **Облачные сервисы**
(государственные услуги, бизнес приложения)



- **Сервисы виртуальной реальности**
(образование, развлечения)
- **Сервисы дополненной реальности**
(здравоохранение, военная промышленность, образование, развлечения)
- **Сервисы социальных сетей**
(развлечения, торговля)



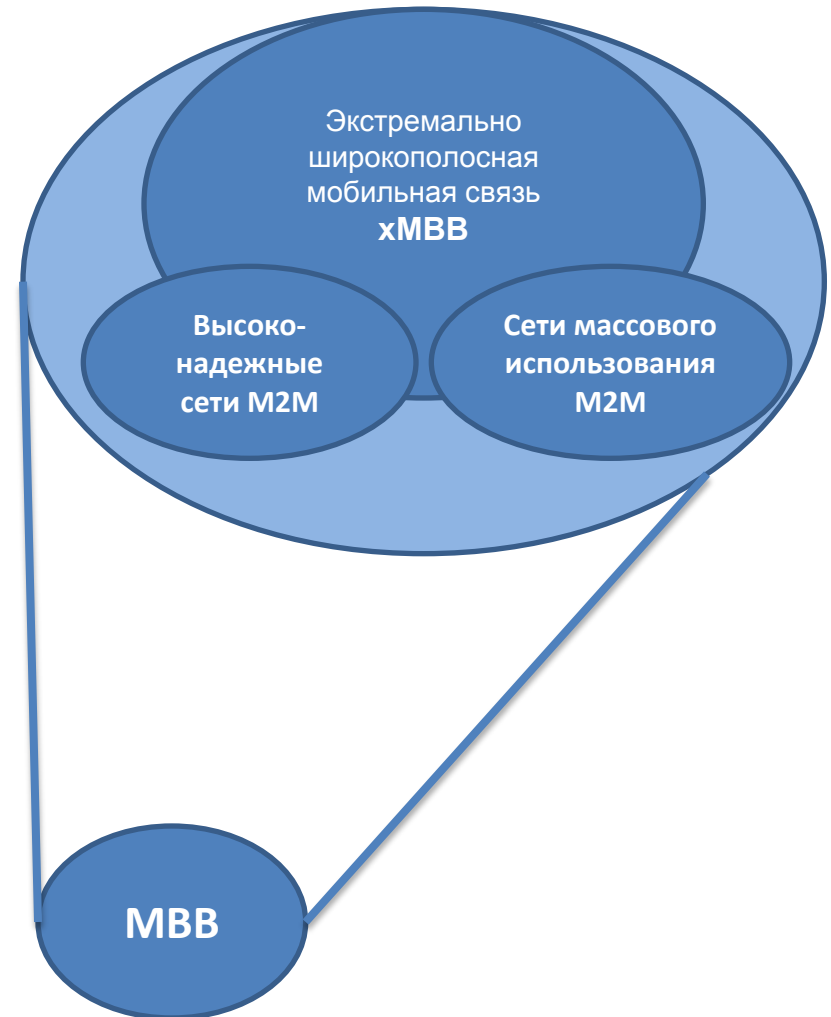
- **M2M сервисы**
(энергетика, транспорт, здравоохранение, торговля, общественная безопасность, промышленность, ЖКХ)
- **Персональные услуги**
(транспорт, здравоохранение, бытовая техника, развлечения)



Ключевые услуги 5G:

- Экстремально широкополосный мобильный доступ (Extreme Mobile BroadBands: xMBB)
- Массовое использование устройств M2M (Massive M-MTC)
- Высоконадежная/критичная к использованию связь M2M устройств (M-MTC)

Более 67% трафика потребляемого в сетях операторов LTE – видеотрафик (33% - видеотрафик Youtube, 34% - видеотрафик U+TV).



Изменение сущности услуги на будущем рынке 5G

**≥4G: Телекоммуникации
контентных услуг**

**5G: Услуги
управления и
контроля**



Есть ли рынок 5G на ферме?



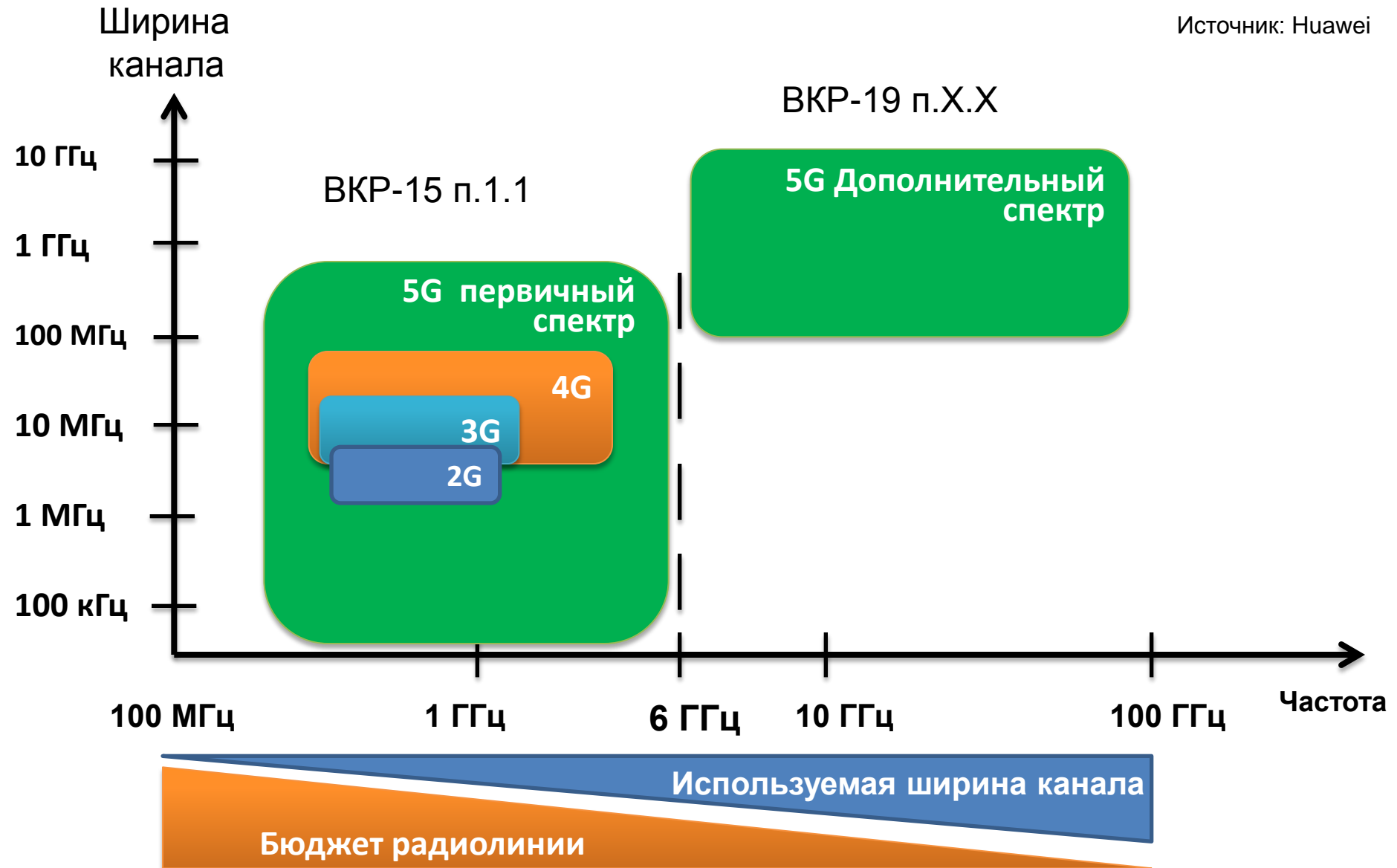
Когда человек присоединяется к мобильной сети – его мир изменяется.

Когда все вокруг становится присоединенным, то изменяется весь мир.



Потребности в спектре для реализации технологических решений 5G

Источник: Huawei





- ❑ Множественный доступ на физическом уровне (PHY) со скоростями несколько Гбит/с
- ❑ Использование новых участков сантиметрового и миллиметрового диапазонов частот;
- ❑ Полосы радиоканалов со значительной шириной: от 100 МГц до 2 ГГц;
- ❑ Очень короткие задержки в сети радиодоступа: время переспроса для алгоритма HARQ RTT менее 1 мс;
- ❑ Низкая стоимость узлов доступа и низкая стоимость абонентских устройств;
- ❑ Доступ в сеть и многоузловая маршрутизация на основе универсального радиоинтерфейса и использовании общего спектра;
- ❑ «Бесшовная» мобильность между инфраструктурой 5G (UDN) и сотовыми системами для больших зон покрытия LTE/2G-3G.

Обеспечивающие технологии передачи сигналов

Massive MIMO

Novel Multiple Access

Full Duplex

FBMC

Filter-bank Multi-carrier (FBMC)

Flexible Duplex

Reduced interference FDD
Interference TDD

Adv. Coding and Modulation

Ключевые технологические решения

Ultra-dense networking

Low latency & high reliability

M2M

D2D

High frequency communications

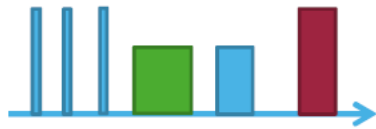
300MHz 3GHz 30GHz 300GHz

Spectrum sharing

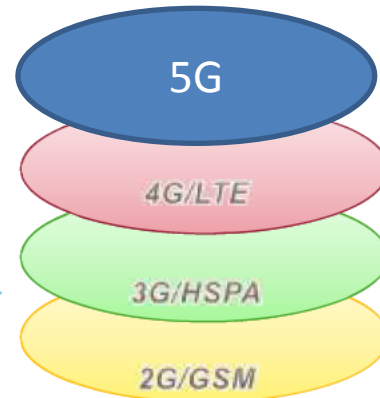
Применение новых технологических принципов в мобильных сетях 5G

Технологическая гетерогенность построения сетей 5G (HetRAT) состоит в возможности одновременного использования сетей радиодоступа на различных радиотехнологиях 5G/4G/WLAN

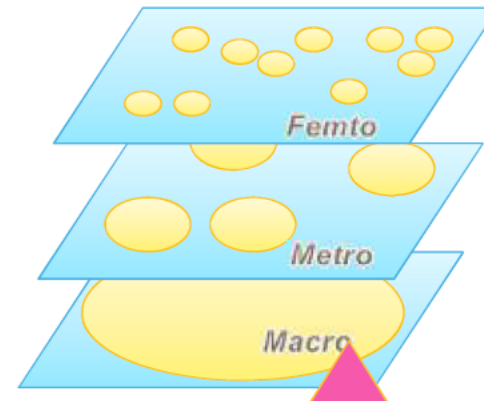
Мульти диапазонность



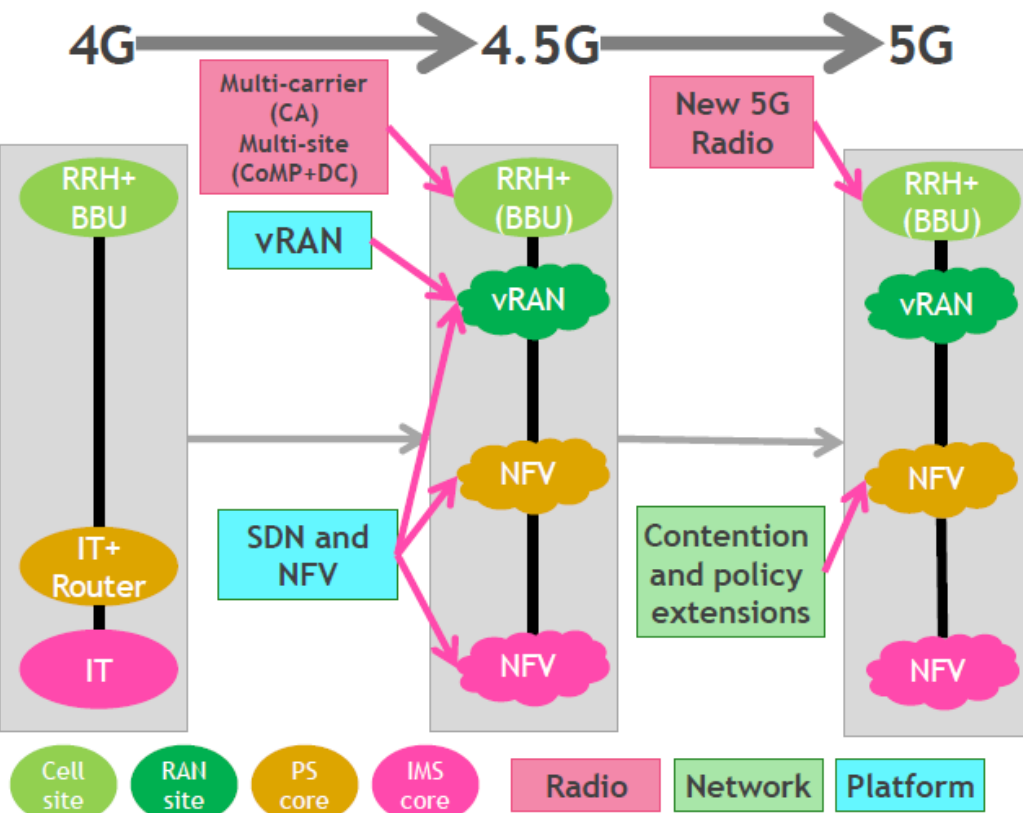
Технологическая гетерогенность



Инфраструктурная гетерогенность



Инфраструктурная гетерогенность построения сетей (HetNet) состоит в возможности одновременного использования и управления в одной сети базовых станций различного уровня – макро/ микро/ пико и фемто.



Виртуализация применяемых сетевых платформ:

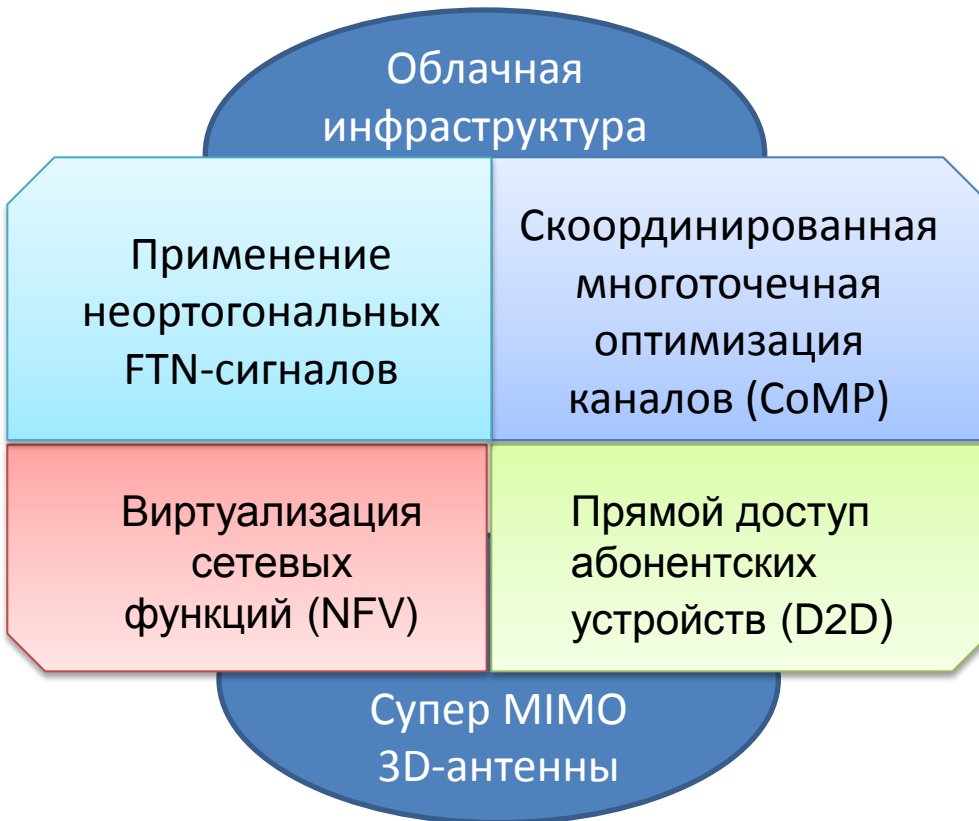
- Виртуализация обработки сигналов в сотевых сайтах vRAN;
- Виртуализация функция базовой сети CN: NFV и SDN.

В сети радиодоступа RAN:

- объединение несущих: агрегация спектра;
- объединение сайтов: дуальное взаимодействие и CoMP;
- объединение сотового и беспроводного доступа WLAN: сети основанные на межсетевом взаимодействии.

В базовой сети CN (EPC):

- Оказание услуг передачи речи и мультимедиа на основе технологий VoLTE и WebRTC;
- объединение сетевых возможностей сотового и беспроводного доступа: SaMOG и ePDG.
- Политика управления, базирующая на функциях: ANDSF и PCRF;



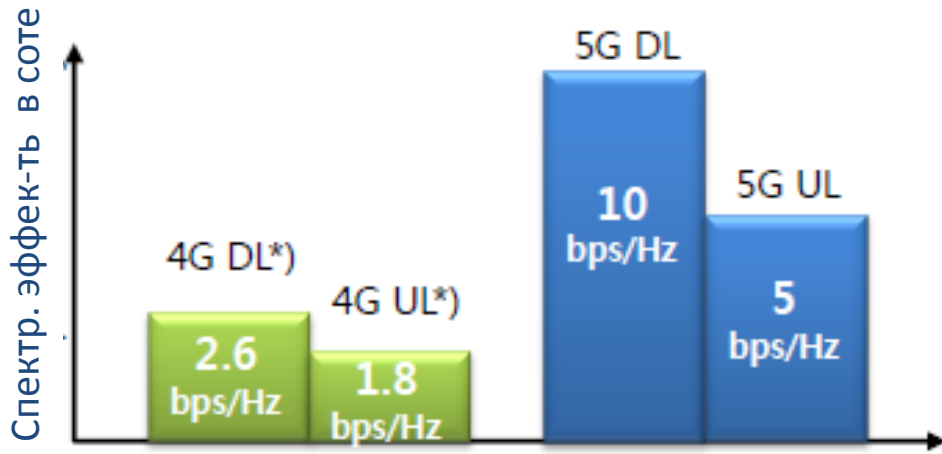
Целевая направленность технологических решений 5G

❑ **Создание ультра – плотных сетей,** обусловленная использованием полос частот в диапазонах выше 28 ГГц для обеспечения полос частот с непрерывным спектром шириной более 1000 МГц в канале DL и более 500 МГц в канале UL;

❑ **Универсальное управление ресурсами:** сочетание распределения ресурсов со случайным доступом CSMA и детерминированного планирования ресурсов сети;

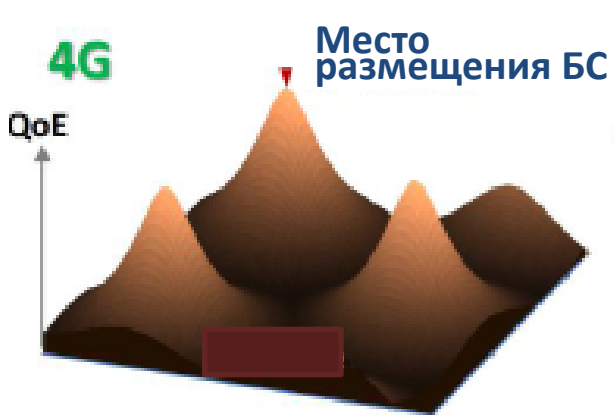
❑ **Виртуализация сетевых функций:** Cloud RAN (SDR), SDN и NFC.

Сравнение спектральной эффективности сетей 4G и 5G



Спектральная эфф-ть на границе соты
 Канал DL 0.075 бит/с/Гц/сота
 Канал UL 0.05 бит/с/Гц/сота

В любой точке покрытия
 Канал DL 1 Гбит/с
 Канал UL 0,5 Гбит/с



Одним из условий будущего развития 5G будет повышение спектральной эффективности передаваемых сигналов за счет применения новых сигнально-кодовых конструкций на основе неортогональных сигналов и FTN-сигналов отличных от OFDM-сигналов, используемых в сетях 4G.

Новые сигнально кодовые конструкции 5G

Традиционные технологии ортогонального множественного доступа:

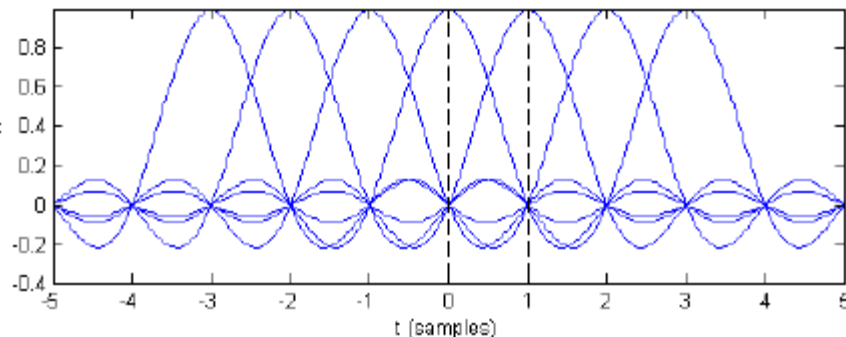
- FDMA (1G);
- TDMA(2G);
- CDMA(3G);
- OFDMA(4G).

Неортогональный множественный доступ NOMA будет иметь следующие преимущества:

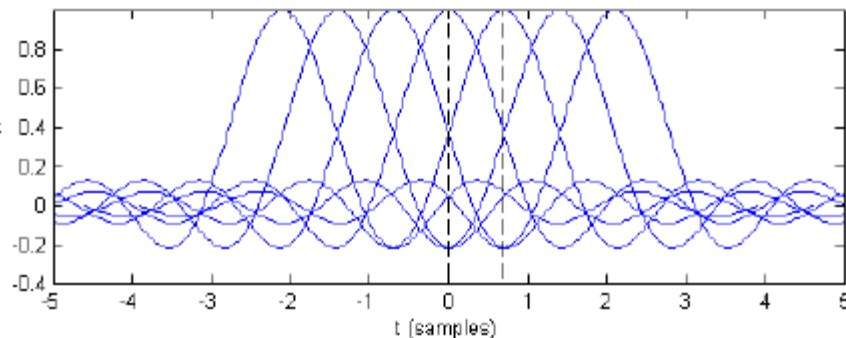
- лучшее подавление помех;
- большую емкость сети;
- меньшие задержки для M2M приложений;

Использование FTN- сигналов в сетях 5G

Orthogonal Transmission Using Sinc Pulses



Non-Orthogonal Transmission Using Faster-Than-Nyquist Signaling



При использовании FTN – сигналов формируемый сигнал передается с периодом повторения T секунд и этот период уменьшается до $\tau \cdot T$, где $\tau < 1$.

Обработка сигнала аналогична OFDM, но поднесущие не являются ортогональными

FTN – сигналы были предложены в 1975 г. Сотрудником Bell Labs. Д.Э. Мазо.

Сигнал Мазо использует более высокую скорость модуляции, тем самым вводится межсимвольная интерференция на стороне передатчика.

Форма базового сигнала $s(t) = \sum_n a_n h(t - nT)$

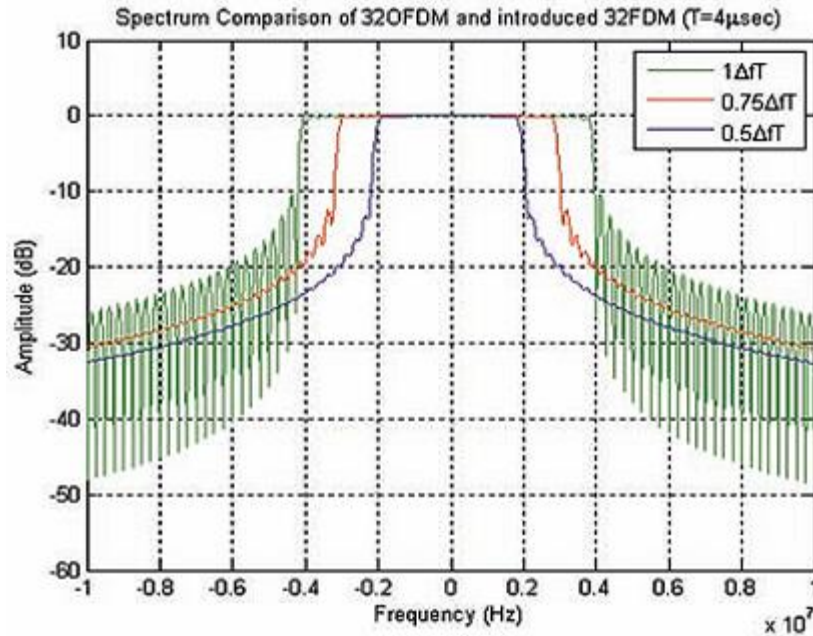
Сокращение длительности символов $\tau T \leq T$

Мин. евкл-во расст. сохраняется $\tau > \text{Mazo limit}$

Позволяет более высокую скорость передачи данных на Гц полосы (Бит/Гц)

Более высокая спектральная эффективность при той же энергии

Новая форма сигнала: $s(t) = \sum_n a_n h(t - n\tau T)$



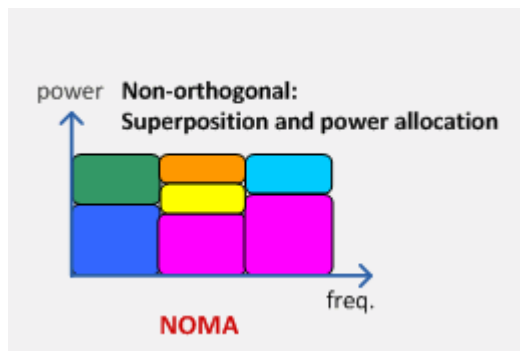
Сопоставление ширины полосы частот сигналов OFDM ($\Delta fT=1$) и Fast-OFDM ($\Delta fT=0,5$) для пакета из 32 поднесущих [3].

Выдача патента на изобретение метода OFDM в ноябре 1966 г. Роберту Чэнгу и последующая журнальная публикации идеи OFDM открыла эру OFDM - сигналов.

Fast-OFDM (F-OFDM), базирующийся на принципе OFDM и отличающийся использованием частотного разнесения поднесущих, в 2 раза меньшего, чем в случае OFDM.

В основе метода Fast-OFDM лежит тот факт, что действительная часть коэффициента корреляции двух комплексных поднесущих равна нулю, если разнос по частоте между поднесущими кратен целому числу $1/2T$. При этом существенно, что, несмотря на двукратное уплотнение по частоте, сигналы по-прежнему остаются ортогональными друг другу.

Конкурентные предложения по использованию неортогональных сигналов в 5G



В рамках проекта METIS предложены альтернативные сигнально-кодовые конструкции для сетей 5G, а именно

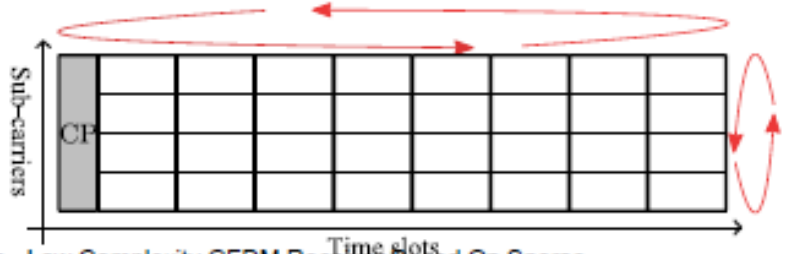
- **Cyclic Prefix OFDM (CP-OFDM)**; - OFDM – сигнал с циклическим префиксом.
- **Universal Filtered OFDM (UF-OFDM)**; - сигнал OFDM с универсальной фильтрацией внеполосных излучений.
- **Filter Bank Multicarrier** – гребенчатый фильтрованный многочастотный сигнал

Компания **Huawei** предлагает применение для 5G сигналов SCMA (Sparse code multiple access) многостанционного доступа в сети мобильной связи, основанный на разреженных кодах, а компания **Samsung** и проект METIS, координируемый компанией Ericsson предлагает FBMC (Filter Bank Multicarrier) - гребенчато фильтруемый многочастотный сигнал на основе модуляции FQAM (Hybrid Modulation of FSK и QAM).

Неортогональные сигнальные конструкции 5G (предложения 5GNOW)

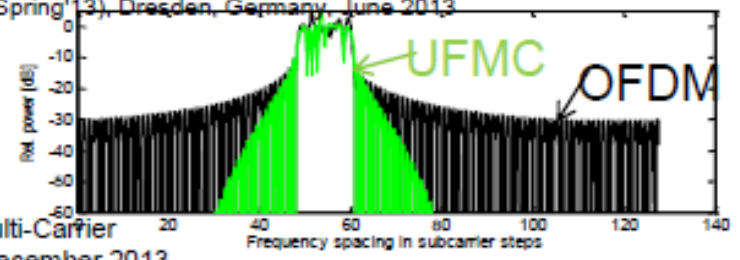


GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) - Мультиплексированный сигнал на основе обобщенного частотного разделения



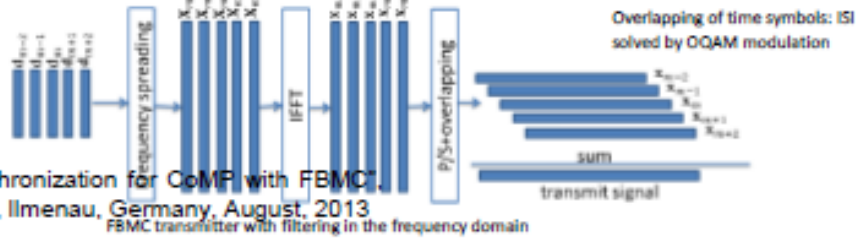
I. Gaspar, N. Michailow, A. Navarro Caldevilla, E. Ohlmer, S. Krone and G. Fettweis, „Low Complexity GFDM Receiver Based On Sparse Frequency Domain Processing”, 77th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring'13), Dresden, Germany, June 2013

UFMC (Universal Filtered Multicarrier) – Универсальный фильтруемый многочастотный сигнал



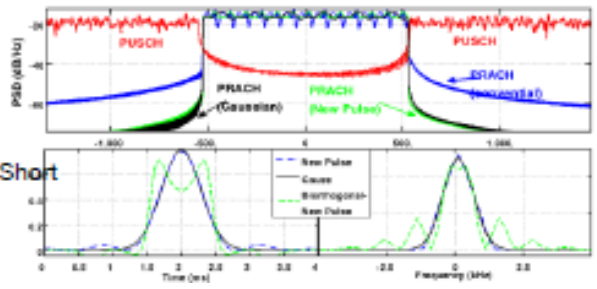
V. Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S.t. Brink, J.-F. Frigon, "Universal-Filtered Multi-Carrier Technique for Wireless Systems Beyond LTE", IEEE Globecom'13, Atlanta, December 2013

FBMC (Filter Bank Multicarrier) – гребенчатый фильтрованный многочастотный сигнал



Nicolas Cassiau, Dimitri Kténas, Jean Baptiste Doré, "Time and frequency synchronization for CoMP with FBMC", Tenth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS'13), Ilmenau, Germany, August, 2013

BFDM (Bi-orthogonal Frequency Division Multiplexing) – би-ортогональное частотно-разделяемое мультиплексирование сигналов

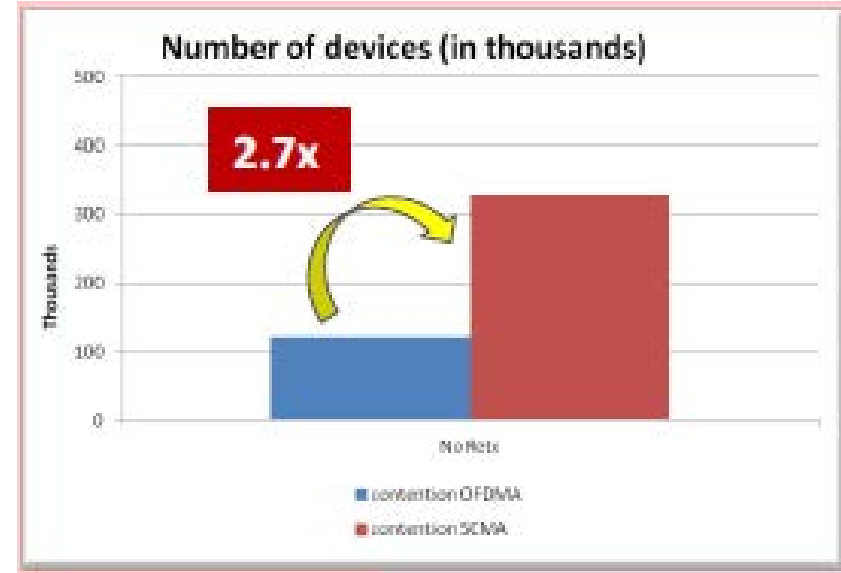


G. Wunder, M. Kasparick, P. Jung, "Bi-orthogonal Waveforms for 5G Random Access with Short Message Support", IEEE European Wireless, 2014, invited paper

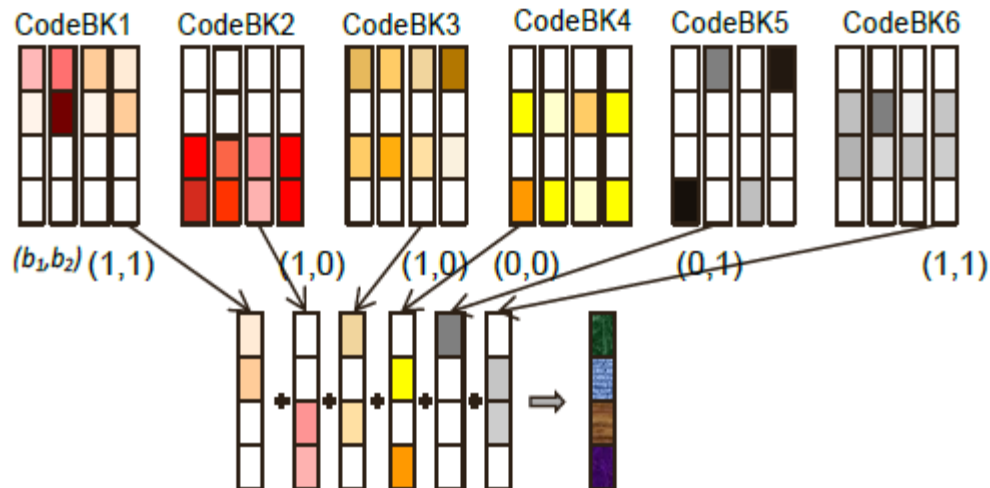
Неортогональные сигнальные конструкции 5G (предложения Huawei)

SCMA (Sparse code multiple access) - это метод кодового разделения сигналов при обеспечении многостанционного доступа в сети мобильной связи, основанный на разреженных кодах.

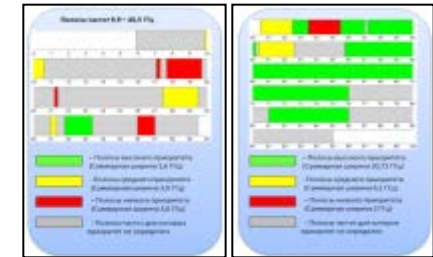
Этот метод кодовой модуляции сигналов позволяет обеспечить в 2,7 раза больше пользователей в соте по сравнению с сетями 4G, использующими OFDMA, и иметь меньшую задержку в сети. Компания Huawei предлагает его использовать в прототипах 5G.



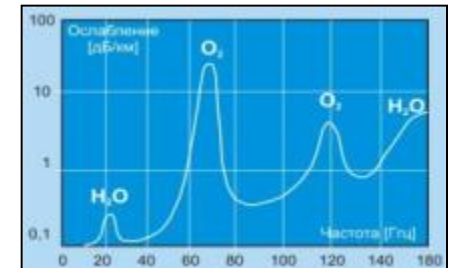
Кодовые книги SCMA



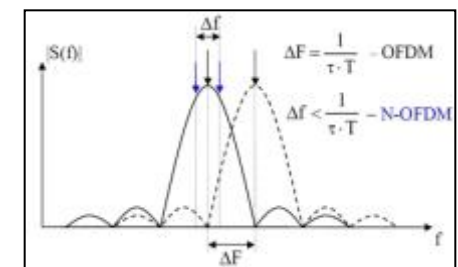
- Использование спектра радиочастот в России, необходимого для развития 5G



- Условия распространения радиоволн миллиметрового диапазона для 5G



- Моделирование сигналов с неортогональным частотным мультиплексированием, с повышенной спектральной эффективностью, для 5G



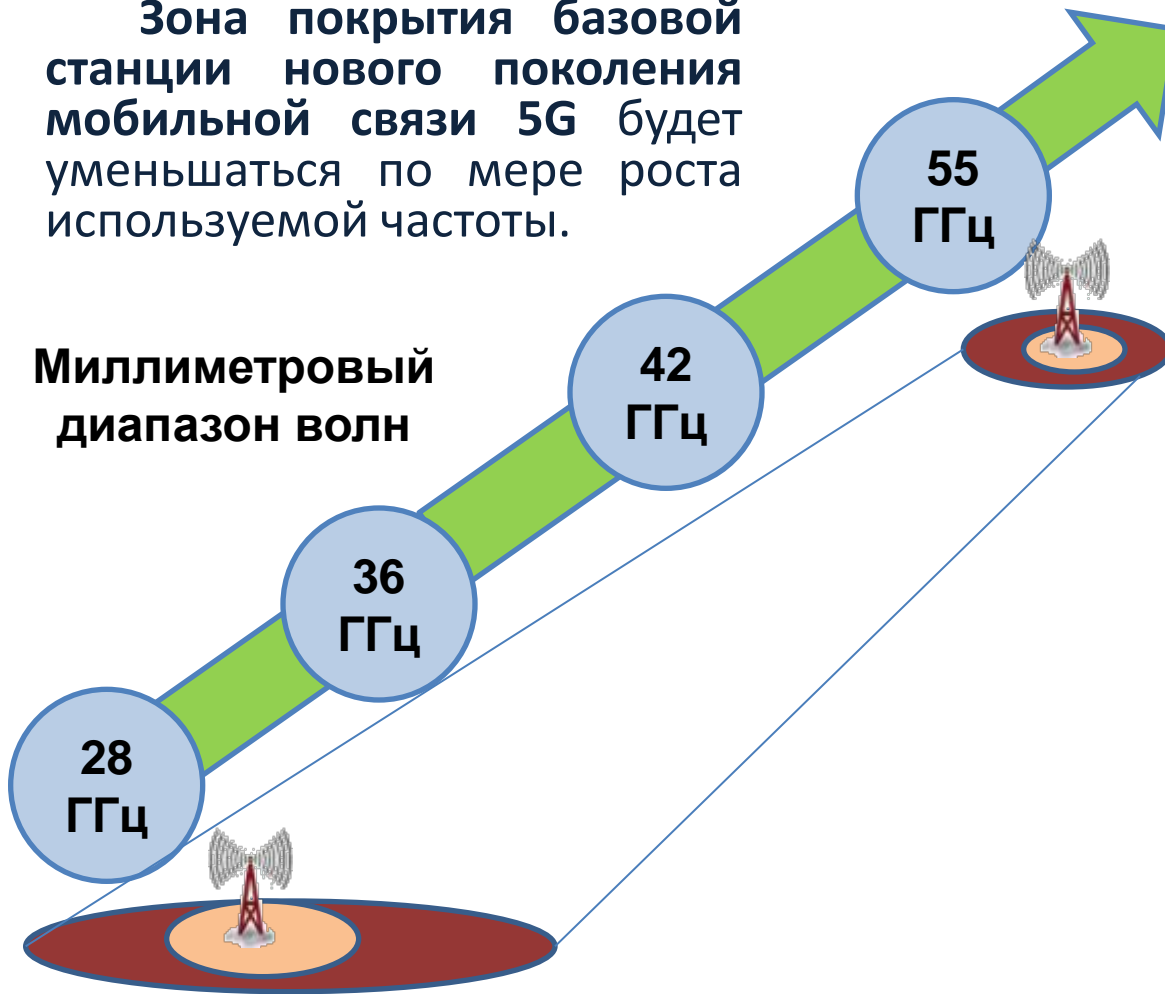
- Разработка требований к качеству услуг 5G и виртуализация функций QoS



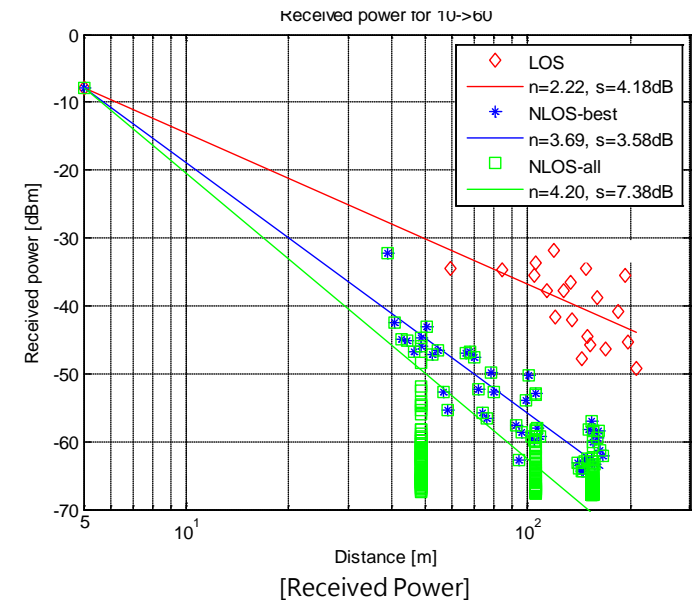
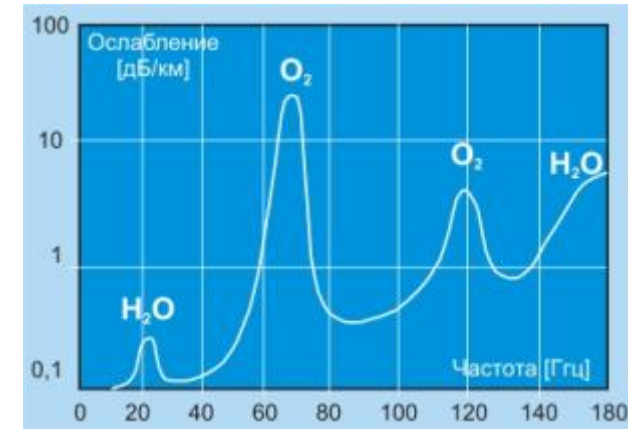
Особенности зон покрытия мобильной связи 5G для различных диапазонов

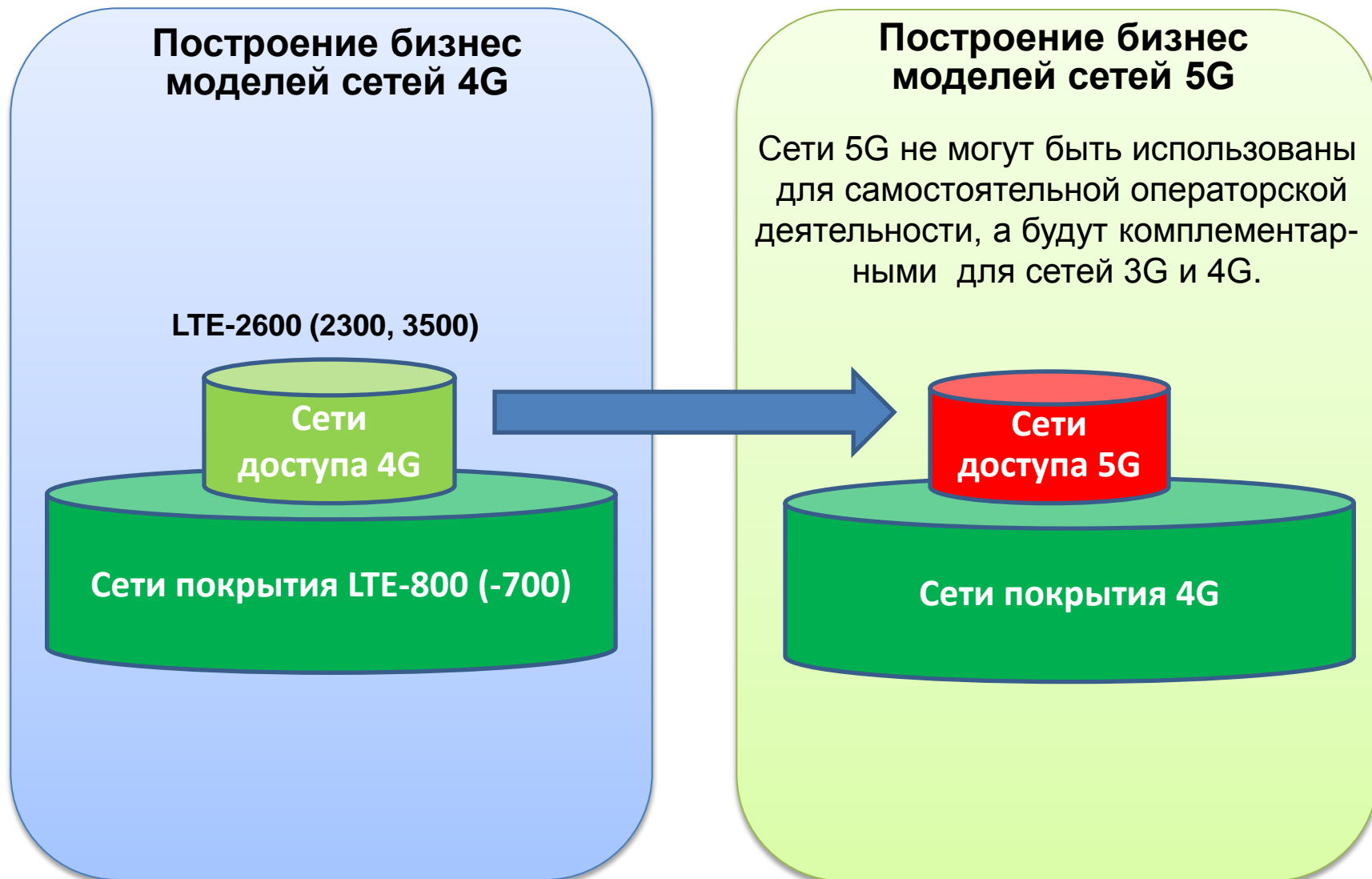
Зона покрытия базовой станции нового поколения мобильной связи 5G будет уменьшаться по мере роста используемой частоты.

Миллиметровый диапазон волн

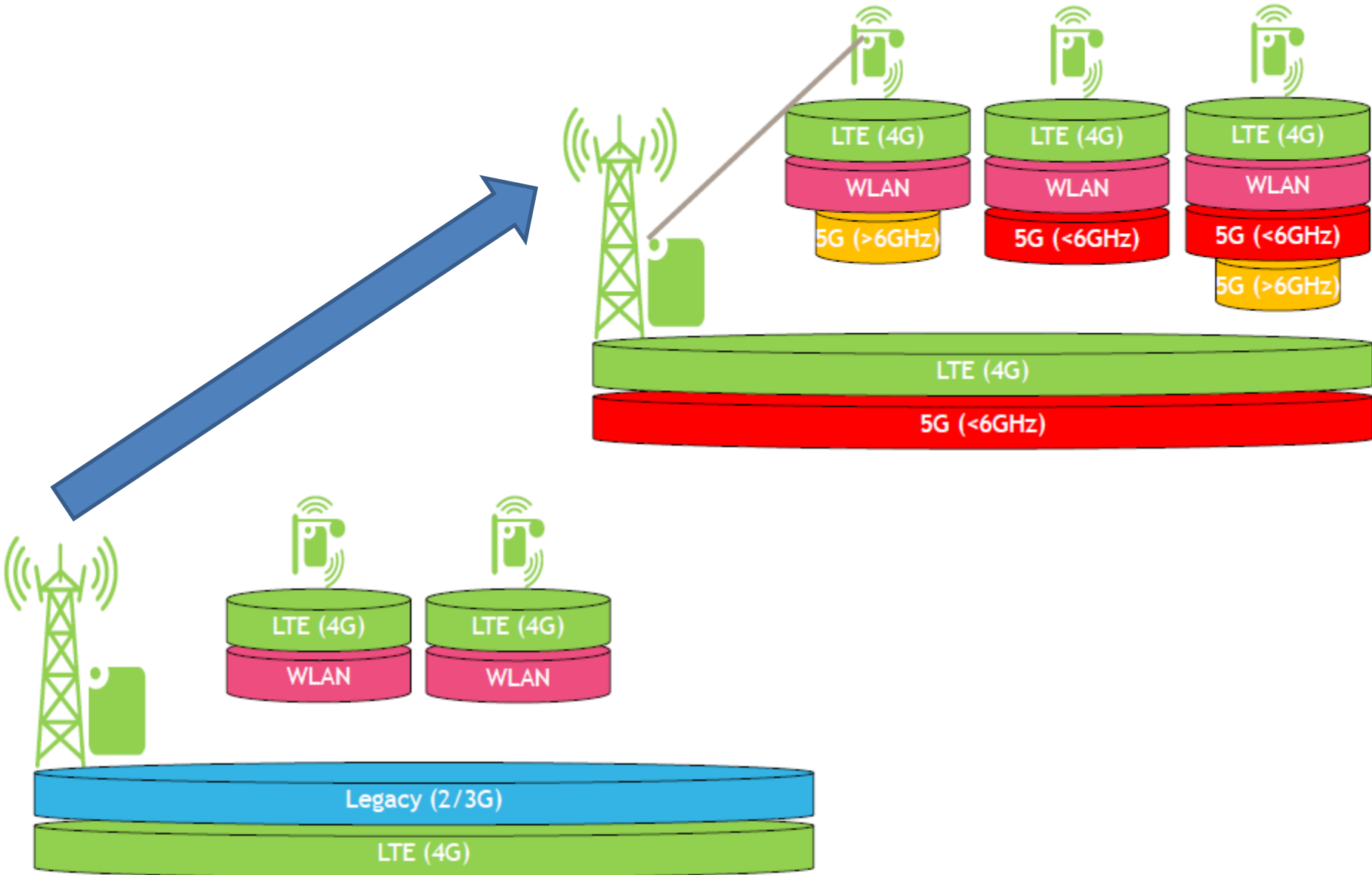


Зона мобильной связи – 200 м
Зона фиксированной связи при
Условиях LOS – до 2 км





Гетерогенность сетей и переход от бизнес модели операторской деятельности 4G к 5G

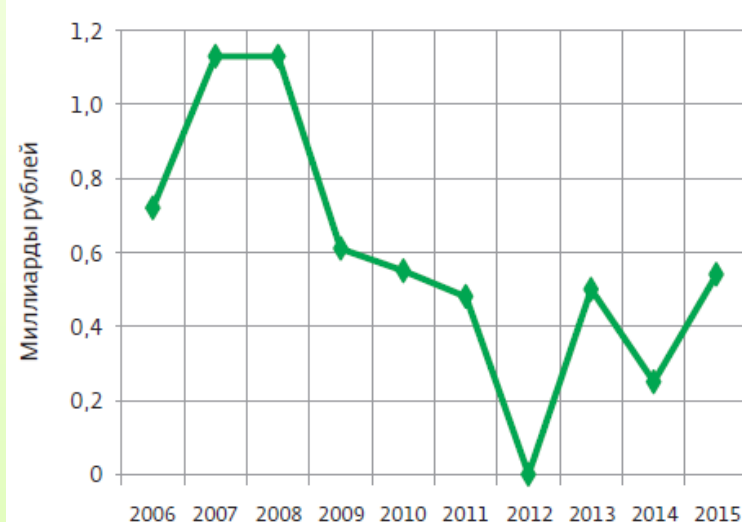


Загрузка спектра в диапазонах ММВ в РФ

Полоса частот, ГГц	Количество РЭС фиксированной службы	Количество РЭС других служб
27,5–29,5	312 – СБД	25 – РЭС фиксированной спутниковой службы
31–31,3	20 – РРЛ	Не используется
40,5–42,5	262 – СБД	Не используется
42,5–43,5	84 – СБД	Не используется
57,2–58,2	558 – РРЛ	Не используется
58,2–63,25	Безлицензионный диапазон	Нет сведений
71–76	Безлицензионный диапазон	Нет сведений
81–86	Безлицензионный диапазон	Нет сведений

В полосах частот 71-76/81-85 ГГц работают более 11 000 РРЛ, используемых в транспортных сетях мобильных операторов

Расходы на конверсию, выделяемые Государственным бюджетом РФ



Доклады:

- **Концепция развития 5G в России**, III международный форум «Broadband Russia Forum 2013, 27-28 ноября 2013, Москва.
- **Результаты исследований проекта 5GRUS**, Региональный семинар МСЭ-Д для стран СНГ «Сети мобильной связи LTE: технологии и практика», 3-5 марта 2014, Москва.
- **Результаты исследований по использованию сигналов с неортогональным частотным мультиплексированием для 5G**, VI –й Международный бизнес-форум «LTE Russia & CIS 2014 - Эволюция сетей мобильной связи», 20-21 мая 2014, Москва.
- **Результаты исследований по использованию спектра радиочастот в России, необходимого для 5G**, 6-ая международная конференция МСЭ-Т «Калейдоскоп-2014», 3-5 июня 2014, Санкт-Петербург.
- **Перспективы развития 5G, технологии и использование спектра**, 11-ый международный семинар «Актуальные вопросы автоматизированного планирования, оптимизации и учёта радио и транспортной подсистем сетей подвижной связи, широкополосного радиодоступа и цифрового ТВ», 18-19 июня 2014, Санкт-Петербург.



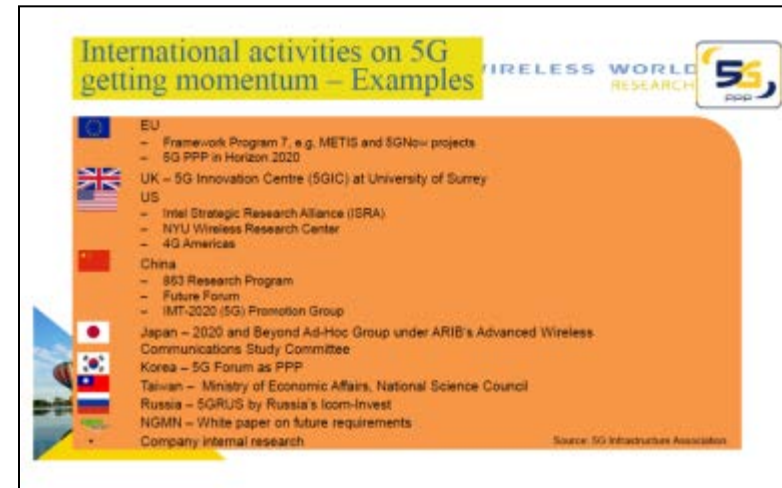
Статьи:

- **Концептуальные аспекты создания 5G**, журнал Электросвязь, № 10, 2013.
- **Перспективы миллиметрового диапазона для 5G в России**, журнал Первая миля, № 2, 2014.
- **Spectrum occupation and perspectives millimeter band utilization for 5G networks**, Proceedings of ITU-T Conference “Kaleidoscope-2014”.
- **Перспективы и требованиям к QoS в сетях 5G**, журнал Электросвязь, публикация в ближайшем номере.



32-ое заседание WWRF форума, Марракеш, Марокко, 20-22 мая 2014

В докладе председателя
проекта 5G PPP Вернера
Мора отмечен вклад компании
ООО «АйКомИнвест» в
развитие проекта 5G от России



International activities on 5G getting momentum - Examples

- EU**
 - Framework Program 7, e.g. METIS and 5GNow projects
 - 5G PPP in Horizon 2020
- UK** - 5G Innovation Centre (5GIC) at University of Surrey
- US**
 - Intel Strategic Research Alliance (ISRA)
 - NYU Wireless Research Center
 - 4G Americas
- China**
 - 863 Research Program
 - Future Forum
 - IMT-2020 (5G) Promotion Group
- Japan** - 2020 and Beyond Ad-Hoc Group under ARIB's Advanced Wireless Communications Study Committee
- Korea** - 5G Forum as PPP
- Taiwan** - Ministry of Economic Affairs, National Science Council
- Russia** - 5GRUS by Russia's Icom-Invest
- NGMN** - White paper on future requirements
- Company internal research

Source: 5G Infrastructure Association

Всемирный саммит 5G, Амстердам, Нидерланды, 24-25 июня 2014

В докладе члена правления 5G
PPP Марникса Боте оценена
деятельность компании ООО
«АйКомИнвест» по развитию
проекта 5G от России



International activities on 5G getting momentum

- EU**
 - Framework Program 7, e.g. METIS and 5GNow projects
 - 5G PPP in Horizon 2020
- UK** - 5G Innovation Centre (5GIC) at University of Surrey
- US**
 - Intel Strategic Research Alliance (ISRA)
 - NYU Wireless Research Center
 - 4G Americas
- China**
 - 863 Research Program
 - Future Forum
 - IMT-2020 (5G) Promotion Group
- Japan** - 2020 and Beyond Ad-Hoc Group under ARIB's Advanced Wireless Communications Study Committee
- Korea** - 5G Forum as PPP (MoU signed on June 16/17 between 5G PPP and 5G Forum)
- Taiwan** - Ministry of Economic Affairs, National Science Council
- Russia** - 5GRUS by Russia's Icom-Invest
- CR** White Paper
- NGMN** - White paper on future requirements
- Company internal research

Source: 5G Infrastructure Association



5G network

1. Технологическое развитие сетей 5G будет направлено на создание ультра-плотных сетей доступа на основе новых видов сигнально-кодовых конструкций, повышающих на порядок спектральную эффективность по сравнению с сетями 4G, на оптимальное управление ресурсами и на полную виртуализацию сетевых функций.
2. Будущее развитие сетей 5G будет связано с использованием облачных технологий, которые потребуют изменения правил регулирования в отрасли и бизнес-моделей, используемых операторами.
3. Лицензирование деятельности операторов 5G как моно-технологических операторов, использующих только эту технологию на основе сот радиусом 50-100 м для услуг передачи данных на скоростях 10/5 Гбит/с пока нецелесообразно. Бизнес – модели будут строиться в основном на основе предоставления услуг совмещенных сетей 4G/5G.
4. Возможности использования сетей 5G в малых и средних населенных пунктах будут сильно зависеть от наличия каналов доступа к высокоскоростным транспортным сетям, позволяющим поддерживать транспортировку трафика данных и управления к удаленным центрам обработки данных (ЦОД), которые станут инфраструктурной основой виртуальных сетевых элементов vRAN(SDR), vCN(SDN) и NFV-модулей.

Thank you for attention

www.icominvest.ru

Russia, Moscow, 119034,
28, Ostozhenka str.

Phone +7 (495) 2218989

Mobile +7(926) 6820606

