

Эволюция сетей мобильной связи

Дунайцев Р.А. (СПбГУТ)

roman.dunaytsev@spbgut.ru

Что такое «поколение»?

- За свою историю сети мобильной связи претерпели существенные изменения, и эта эволюция продолжается по сей день
- Меняются и модернизируются технологии передачи, перечень услуг, предоставляемых абонентам и т.д.
- Для того, чтобы зафиксировать самые важные преобразования, было введено понятие «поколение» (generation, G)

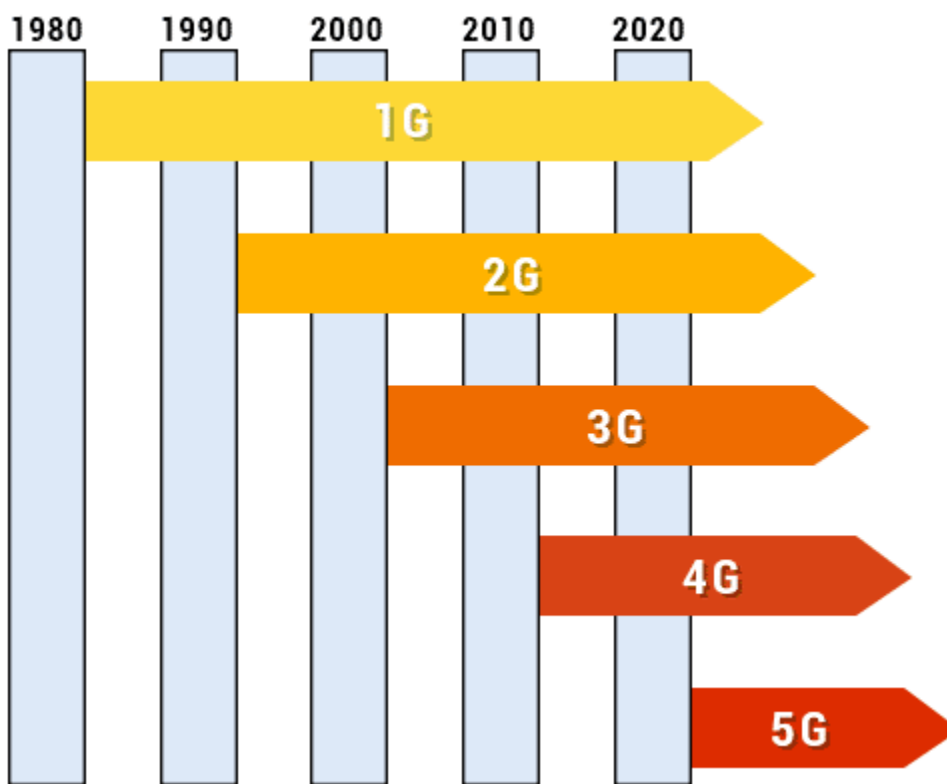
Что такое «поколение»?

- **Поколение мобильной связи** – это набор функциональных возможностей работы сети в рамках определенных стандартов, включающих регистрацию абонента, установление сеанса связи, передачу информации между абонентским терминалом (User Equipment, UE) и базовой станцией (БС) по радиоканалу, шифрование, роуминг в других сетях, а также набор услуг, предоставляемых абоненту

Что такое «поколение»?

- Эволюция систем мобильной связи на сегодняшний день насчитывает несколько поколений: 1G, 2G, 3G и 4G
- Ведутся активные работы в области создания сетей 5G и 6G
- Стандарты различных поколений, в свою очередь, подразделяются на стандарты **аналоговых систем связи (1G)** и **цифровых (2G, 3G, 4G, 5G, 6G, ...)**

Что такое «поколение»?



Первое поколение (1G)

- Сети 1G были аналоговыми и разрабатывались исключительно для выполнения голосовых вызовов
- Основные недостатки:
 - относительно низкая абонентская емкость;
 - отсутствие шифрования и, как следствие, возможность прослушивания разговоров;
 - отсутствие эффективных методов борьбы с замираниями сигналов, вызванных окружающим ландшафтом, а также передвижением абонентов;
 - большой вес и высокая стоимость абонентских терминалов;
 - проблемы осуществления роуминга.

Первое поколение (1G)

- Для одновременной передачи информации используются разные участки частотного спектра – применяется **технология множественного доступа с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiple Access, FDMA)**
- Практически в каждой стране Европы была создана своя собственная аналоговая система связи, несовместимая с остальными с точки зрения оборудования и функциональных возможностей
- Быстрый рост торговых, экономических и культурных связей привел к невозможности их дальнейшей эксплуатации

Первое поколение (1G)

- В результате возникла необходимость разработки единой общеевропейской системы мобильной связи с высокой пропускной способностью и охватом зоной покрытия всей европейской территории
- Также предполагалось, что единый рынок с общими стандартами приведет к сокращению стоимости абонентских терминалов и сетевого оборудования

Второе поколение (2G)

- С целью разработки новой общеевропейской системы мобильной связи в 1982 г. Европейской комиссией по телекоммуникациям (Conference of European Posts and Telegraphs, CEPT) была создана специальная группа
- Результатом ее труда в 1990 г. стала спецификация цифрового стандарта общеевропейской связи – **Global System for Mobile Communications (GSM)**

Второе поколение (2G)

- Основные преимущества:
 - относительно высокая абонентская емкость сети;
 - шифрование передаваемой информации;
 - возможность предоставления услуги передачи данных;
 - большая помехоустойчивость;
 - возможность реализации роуминга;
 - небольшой вес и относительно невысокая стоимость абонентских терминалов.

Второе поколение (2G)

- Для одновременной передачи совместно с FDMA стала использоваться **технология множественного доступа с временным разделением каналов (Time Division Multiple Access, TDMA)**
- Т.е. каждому абоненту на время сеанса связи стал предоставляться не только участок частотного спектра, но и определенный временной интервал передачи
- Таким образом, на одном участке спектра удалось разместить 8 временных интервалов (каналов), существенно увеличив емкость сети

Второе поколение (2G)

- **Восходящий канал (uplink)** – радиолиния передачи сигнала от абонентского терминала к БС
- **Нисходящий канал (downlink)** – радиолиния передачи от БС к абонентскому терминалу
- Абонентский трафик по линиям вверх и вниз асимметричен, кроме одного случая: телефонии
- Появление сети Интернет и растущие потребности абонентов в ее использовании с абонентских терминалов стали основным толчком для поиска решений по увеличению скорости передачи данных в радиоканале

Второе поколение (2G)

- Одним из первых решений стала **технология высокоскоростной передачи данных с коммутацией каналов (High Speed Circuit Switched Data, HSCSD)**, суть которой заключалась в выделении одному абоненту, при наличии свободных каналов, не одного, а нескольких (до 8) временных интервалов
- Максимальная скорость в таком случае достигала 115,2 кбит/с
- При этом канал закрепляется за абонентом на все время сеанса связи и освобождается только после его завершения (т.н. **технология коммутации каналов**)
- Вследствие наличия пауз при передаче голоса и данных канальный ресурс используется неэффективно

Второе поколение (2G)

- Последующим развитием GSM стала **технология пакетной радиосвязи общего пользования (General Packet Radio Service, GPRS)**
- GPRS сосуществует с сетью GSM, повторно используя базовую структуру сети доступа
- Максимальная скорость составляет 170 кбит/с

Второе поколение (2G)

- Следующим шагом увеличения скорости передачи данных стала **технология улучшенной передачи данных для эволюции стандарта GSM (Enhanced Data for GSM Evolution, EDGE)**
- Она предусматривала введение новой схемы модуляции, в результате чего стала достижима скорость передачи данных 473,6 кбит/с
- Зачастую GPRS называют **2.5G**, а EDGE – **2.75G**
- В этот период в стандартах появляется четкое разделение всей структуры сети на сеть радиодоступа и ядро сети (т.н. опорную сеть)
- Сеть радиодоступа GSM/EDGE получила название **GSM EDGE Radio Access Network (GERAN)**

Третье поколение (3G)

- Появление новых услуг, связанных с передачей данных, потребовало повышения скорости передачи в сетях мобильной связи и обеспечения ее высоких качественных характеристик в целях создания комфортной среды абонентам
- Для решения этих задач уже в 1990-е гг. были разработаны новые стандарты мобильной связи 3G
- Задачей сетей 3G являлось объединение в единую глобальную телекоммуникационную сеть наземных и спутниковых систем персональной подвижной связи
- Речь идет о глобальном роуминге абонентских терминалов с предоставлением абонентам самого широкого спектра услуг, включая мультимедийные услуги

Третье поколение (3G)

- Принципиальным изменением стало широкое применение **технологии кодового разделения каналов (Code Division Multiple Access, CDMA)**
- Т.е. абоненты получают всю полосу частот для передачи, а их каналы разделяются при помощи кодовой модуляции

Третье поколение (3G)

- Согласно программе ИМТ-2000 (International Telecommunications 2000) Международного союза электросвязи (МСЭ), под сетью 3G понимается интегрированная мобильная сеть, которая обеспечивает:
 - для неподвижных абонентов скорость не менее 2048 кбит/с;
 - для абонентов, движущихся со скоростью не более 3 км/ч, – 384 кбит/с;
 - для абонентов, движущихся со скоростью не более 120 км/ч, – 144 кбит/с.

Третье поколение (3G)

- Для удовлетворения этим требованиям Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) была разработана **универсальная мобильная телекоммуникационная система (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)**, стандартизованная в соответствии с партнерским проектом по стандартизации сетей 3G (3rd Generation Partnership Project, 3GPP)

Третье поколение (3G)

- Дальнейшим развитием сетей 3G стала **технология высокоскоростного пакетного доступа (High Speed Packet Access, HSPA)**, которая получила обозначение 3.5G
- Максимальная скорость достигала 336 Мбит/с в нисходящем направлении и 69 Мбит/с в восходящем
- Сеть радиодоступа, объединяющая в себе сеть БС стандарта 3G (NodeB) и радиоконтроллеров (Radio Network Controller, RNC), получила название **UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)**

Четвертое поколение (4G)

- В 2008 г. сектор радиосвязи МСЭ (МСЭ-Р) установил ряд требований для нового стандарта международной подвижной беспроводной широкополосной связи 4G – **International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced)**
- В частности, скорость передачи для высокоподвижных абонентов (например, в поезде или автомобиле) должна составлять 100 Мбит/с, а для абонентов с небольшой подвижностью (например, пешеходу или фиксированному абоненту) должна составлять 1 Гбит/с

Четвертое поколение (4G)

- В качестве новых сетей были разработаны стандарты **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access – всемирная совместимость для микроволнового доступа) и **LTE** (Long Term Evolution – долгосрочное развитие)
- Так как первые версии этих стандартов поддерживали скорости значительно меньше 1 Гбит/с, их нельзя было назвать технологиями, соответствующими IMT-Advanced, хотя они часто упоминались поставщиками услуг в спецификациях и рекламе как 4G
- В 2010 г. МСЭ-Р признал, что эти технологии допустимо рассматривать как 4G

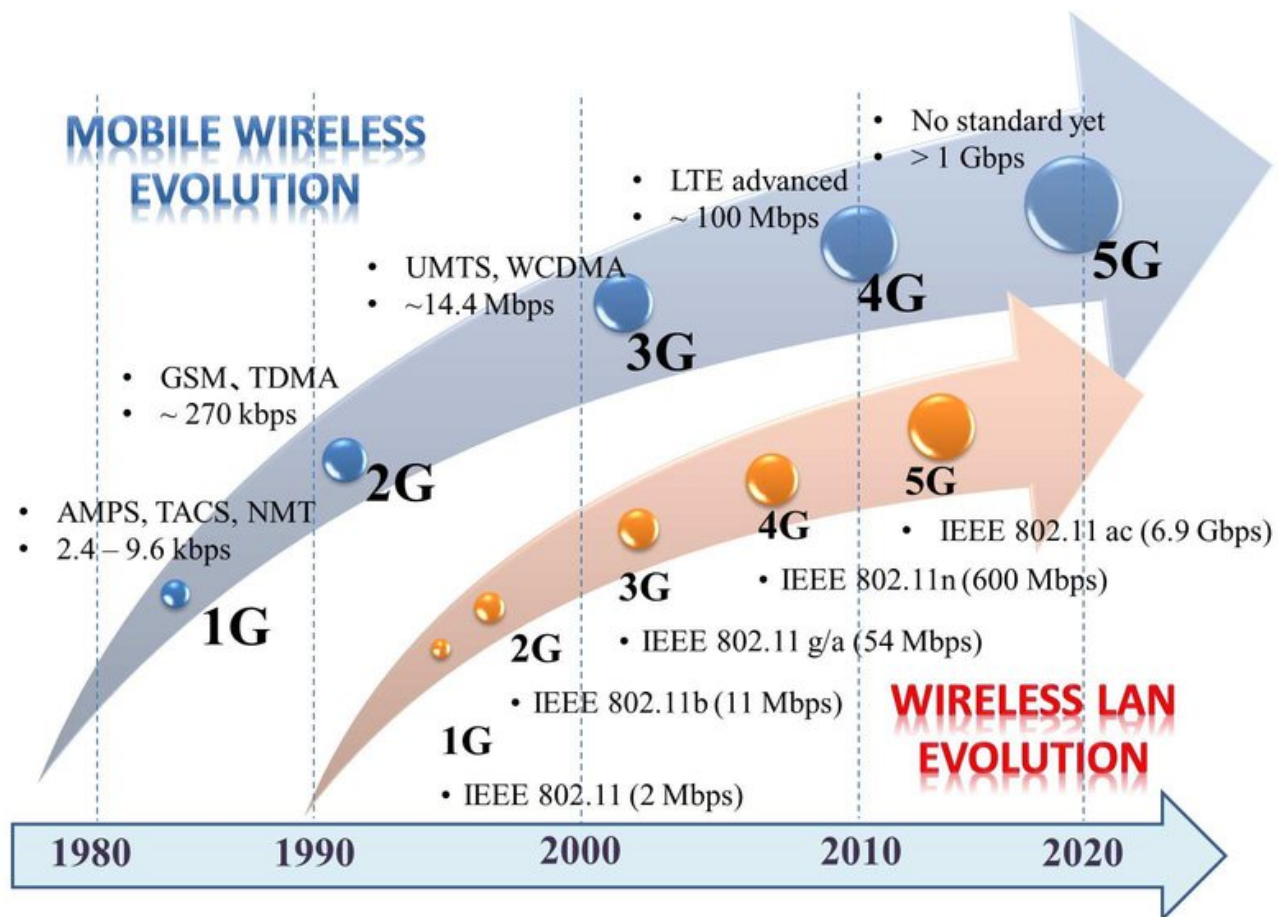
Четвертое поколение (4G)

- Основой сетей 4G является **технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM)**
- Кроме того, для повышения эффективности использования радиочастотного ресурса применяется **технология одновременной передачи данных с помощью T антенн и их одновременного приема R антеннами (Multiple Input/Multiple Output, MIMO – множество входов/множество выходов)**
- В конкурентной борьбе стандартов WiMAX и LTE победа досталась LTE, поскольку подсистему радиодоступа LTE было легко подсоединить к уже действующей сети GSM/UMTS, а для организации роуминга WiMAX пришлось бы построить всемирную сеть заново

Пятое поколение (5G)

- В 2010-х гг. начались работы по созданию сетей 5G
- К этим сетям предъявляются следующие требования (по сравнению с LTE-Advanced):
 - увеличение в 10-100 раз скорости передачи данных в расчете на абонента;
 - увеличение в 1000 раз среднего потребляемого трафика абонентом в месяц;
 - возможность обслуживания большего (до 100 раз) числа подключенных к сети терминалов;
 - многократное уменьшение потребления энергии абонентскими терминалами;
 - сокращение в 5 и более раз задержек в сети;
 - снижение общей стоимости эксплуатации сети.

Пятое поколение (5G)



Пятое поколение (5G)

The interactive Ookla 5G Map tracks 5G rollouts in cities across the globe. Updated weekly from verified public sources and Ookla data, you can follow operators' newest 5G networks on [@Ookla5GMap](#).



Шестое поколение (6G)

- Появление сетей 6G ожидается в 2030 г.
- Если смена поколений 3G-4G-5G обуславливалась, в основном, необходимостью увеличения скоростей и снижения задержек передачи данных, то необходимость сетей 6G будет продиктована изменением самого подхода к построению сетевой инфраструктуры

Шестое поколение (6G)

- Например, невозможно вписать в традиционную концепцию такие факторы, как:
 - резкое ужесточение норм на безопасность передачи данных;
 - появление новых мест размещения БС (на БПЛА, на аэростатах, автомобилях и т.п.);
 - обеспечение принципиально новых услуг (передача тактильных ощущений, голографических изображений и т.п.);
 - виртуализация процессов и инфраструктуры сетей.

Шестое поколение (6G)

- Сеть 6G будут обслуживать такие глобальные системы, как:
 - пищевые (FoodNet);
 - коллективной и индивидуальной безопасности (SafeNet);
 - энергетические (EnergyNet);
 - медицинские (HealthNet);
 - искусственного интеллекта (NeuroNet);
 - и т.д.
- Таким образом, подготовка к переходу к сетям 6G необходима всем отраслям

Стандартизация

- Для разработки единого стандарта 3G в 1998 г. объединились 6 региональных организаций стандартизации, которые вошли в 3GPP:
 - Европейский институт телекоммуникационных стандартов (European Telecommunications Standards Institute, ETSI);
 - Японская ассоциация радиопромышленности и бизнеса (Association of Radio Industries and Business, ARIB);
 - Китайская ассоциация стандартизации электросвязи (China Communications Standards Association, CCSA);
 - Американский альянс по промышленным телекоммуникационным решениям (Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS);
 - Корейская ассоциация телекоммуникационных технологий (Telecommunications Technology Association, TTA);
 - Японский комитет телекоммуникационных технологий (Telecommunications Technology Committee, TTC).

Стандартизация

- Первоначальной целью 3GPP была разработка технических спецификаций (Technical Specifications, TS) и технических отчетов (Technical Reports, TR) для мобильных сетей 3G
- В настоящее время 3GPP регламентирует:
- **радиоинтерфейсы 3GPP:**
 - 2G: GSM, GPRS, EDGE
 - 3G: WCDMA, HSPA
 - 4G: LTE, LTE-A

Стандартизация

- **опорную сеть 3GPP:**
 - 2G/3G: опорная сеть GSM
 - 3G/4G: улучшенное пакетное ядро (Evolved Packet Core, EPC)
- **сервисный уровень 3GPP:**
 - услуги GSM
 - подсистемы предоставления мультимедийных услуг на основе протокола IP (IP Multimedia Subsystem, IMS)
 - сервисы экстренных вызовов, а также оповещения и уведомления населения о чрезвычайных ситуациях
 - и т.д.

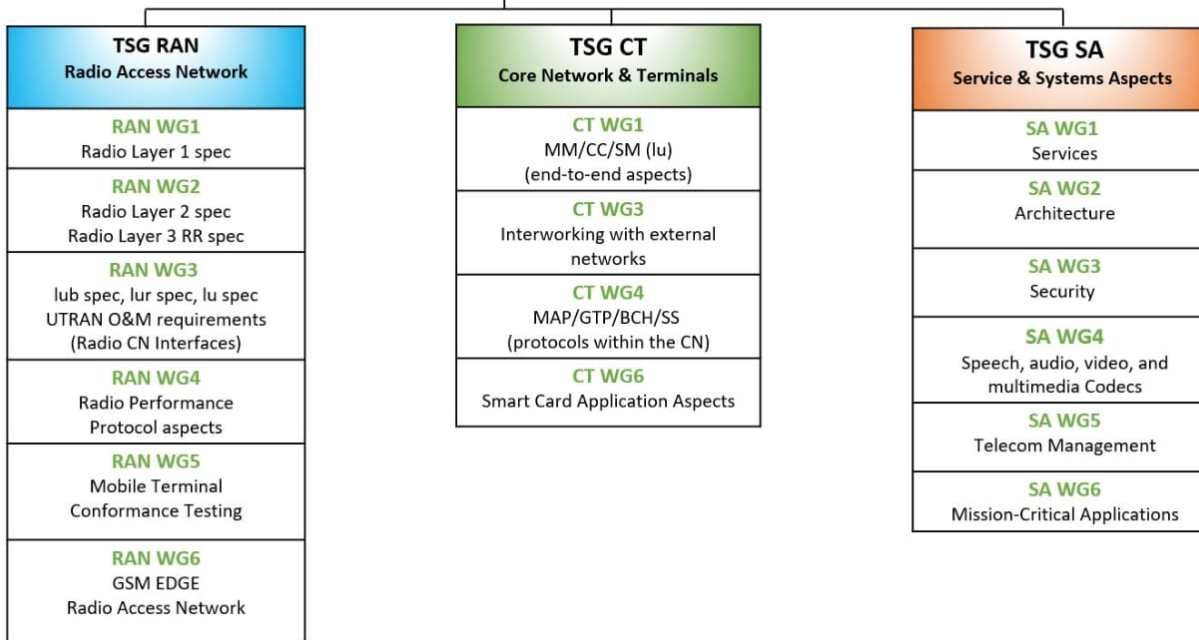
Стандартизация

- Проектно-координационная группа (Project Coordination Group, PCG) 3GPP включают в себя следующие **группы разработки технических спецификаций (Technical Specification Group, TSG)**:
 - Radio Access Network, RAN (сеть радиодоступа);
 - Core Network & Terminals, CT (ядро сети и терминалы);
 - Service & Systems Aspects, SA (услуги и системные аспекты).

Стандартизация



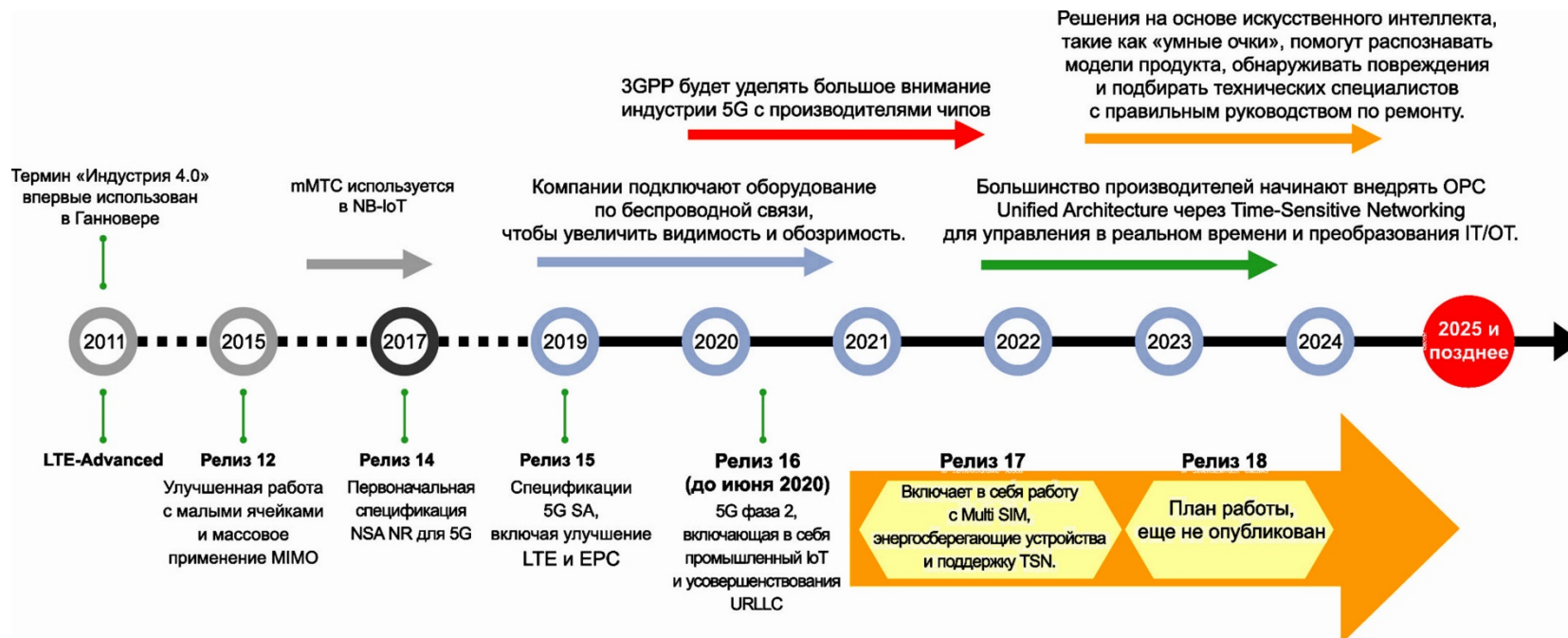
Project Coordination Group (PCG)



Стандартизация

- Развитие стандартов мобильной связи отражается в **версиях (Release)** спецификаций 3GPP
- Изменения в еще не утвержденный Release вносятся в виде предложений по изменению (Change Request) и утверждаются на пленарных заседаниях TSG примерно 4 раза в год

Стандартизация



Литература

- 1) Мобильная связь на пути к 6G / А. Н. Степутин, А. Д. Николаев ; рец.: М. А. Сиверс, В. Г. Скрынников. - 2-е изд. - М. : ИНФРА - Инженерия ; Вологда. Т. 1. - 2018. - 384 с.
- 2) Мобильная связь на пути к 6G / А. Н. Степутин, А. Д. Николаев ; рец.: М. А. Сиверс, В. Г. Скрынников. - 2-е изд. - М. : ИНФРА - Инженерия ; Вологда. Т. 2. - 2018. - 418 с.
- 3) Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. - СПб. : БХВ Петербург. 2014. - 160 с.