

# Эволюция сетей мобильной связи

Дунайцев Р.А. (СПбГУТ)

[roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto: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*)

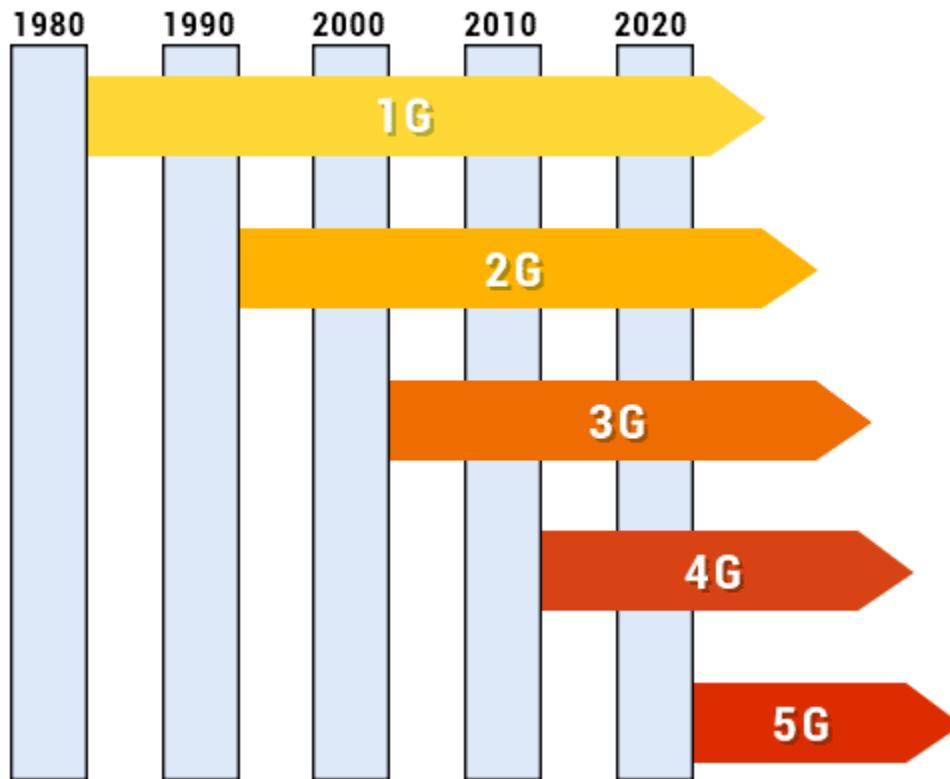
# Что такое «Поколение»?

- **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 передачи голоса и данных канальный ресурс используется нерационально

# 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 IMT-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

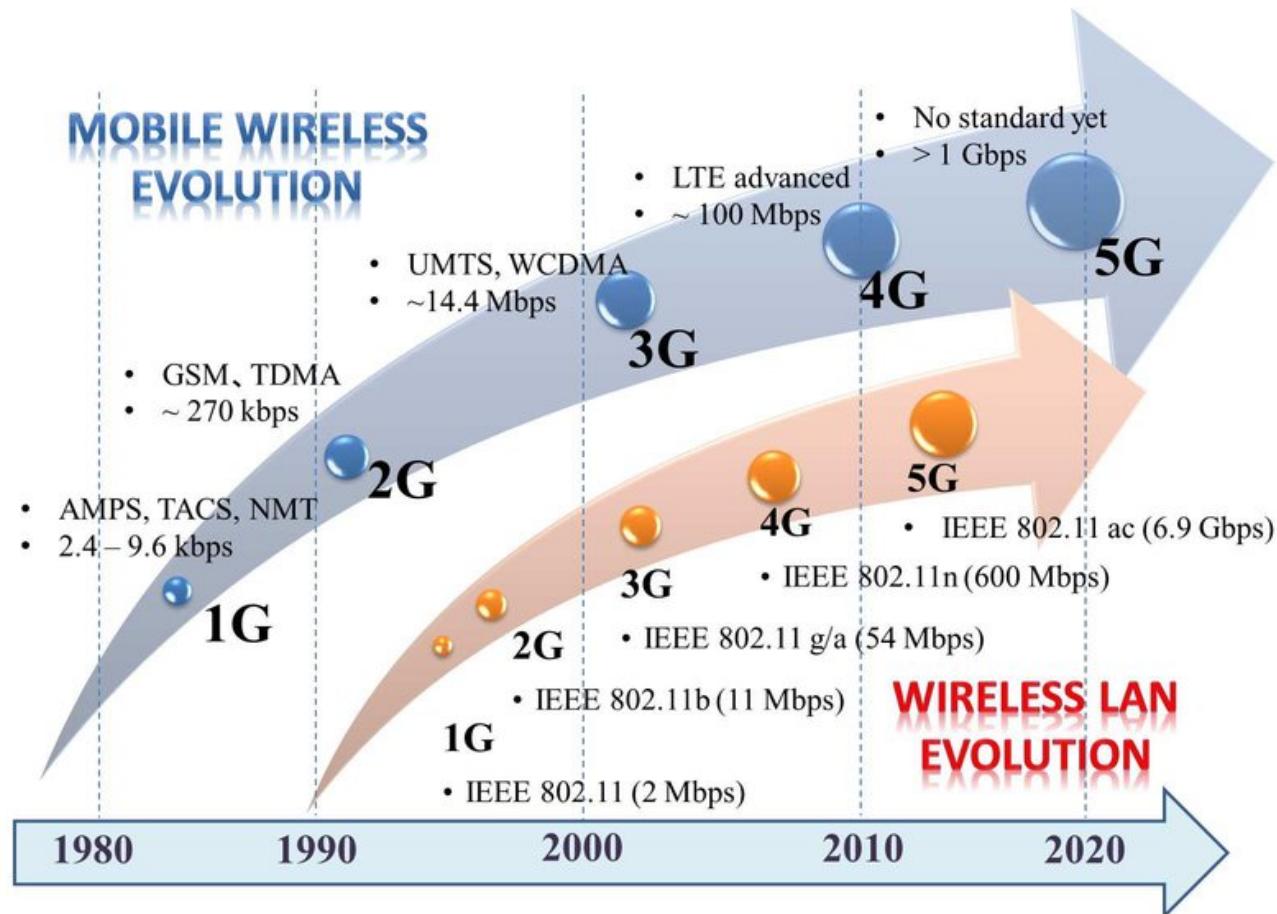
# Четвертое поколение (4G)

- 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)



# 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

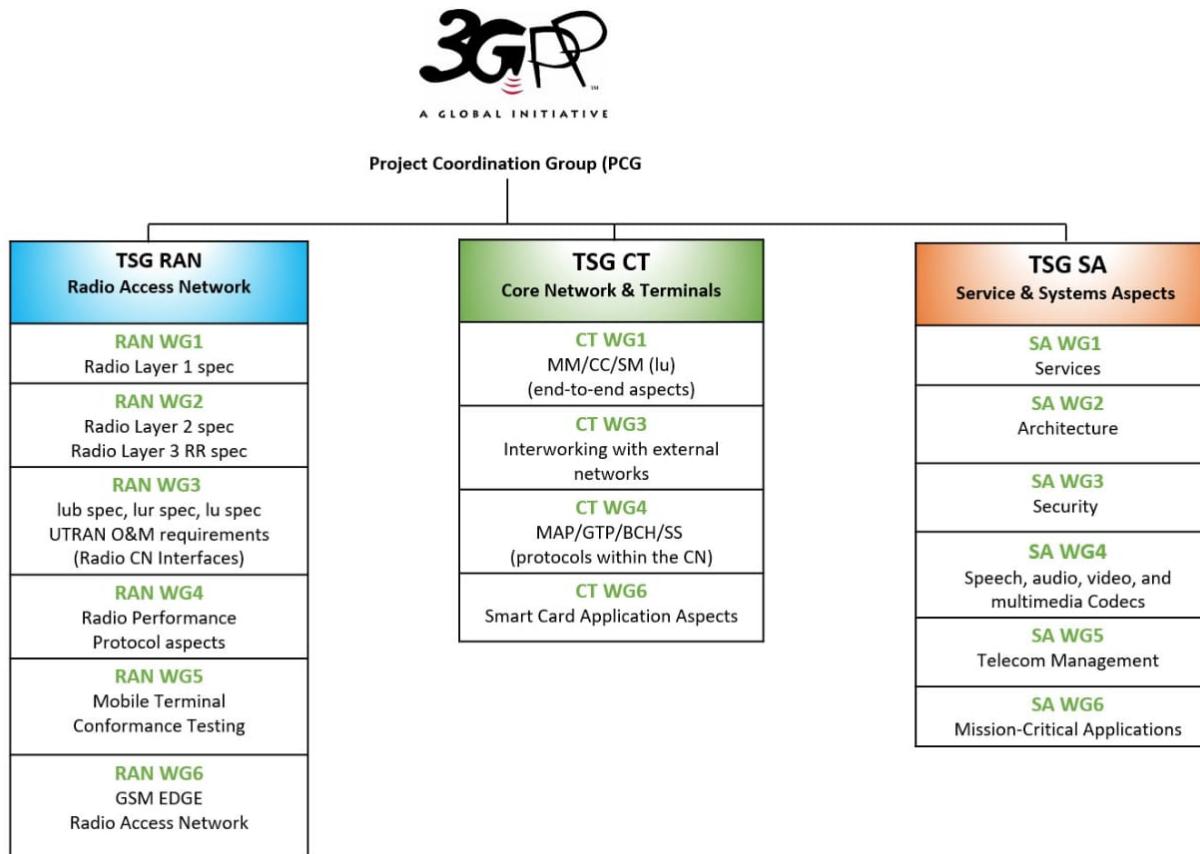
# Стандартизация

- **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 включает 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).

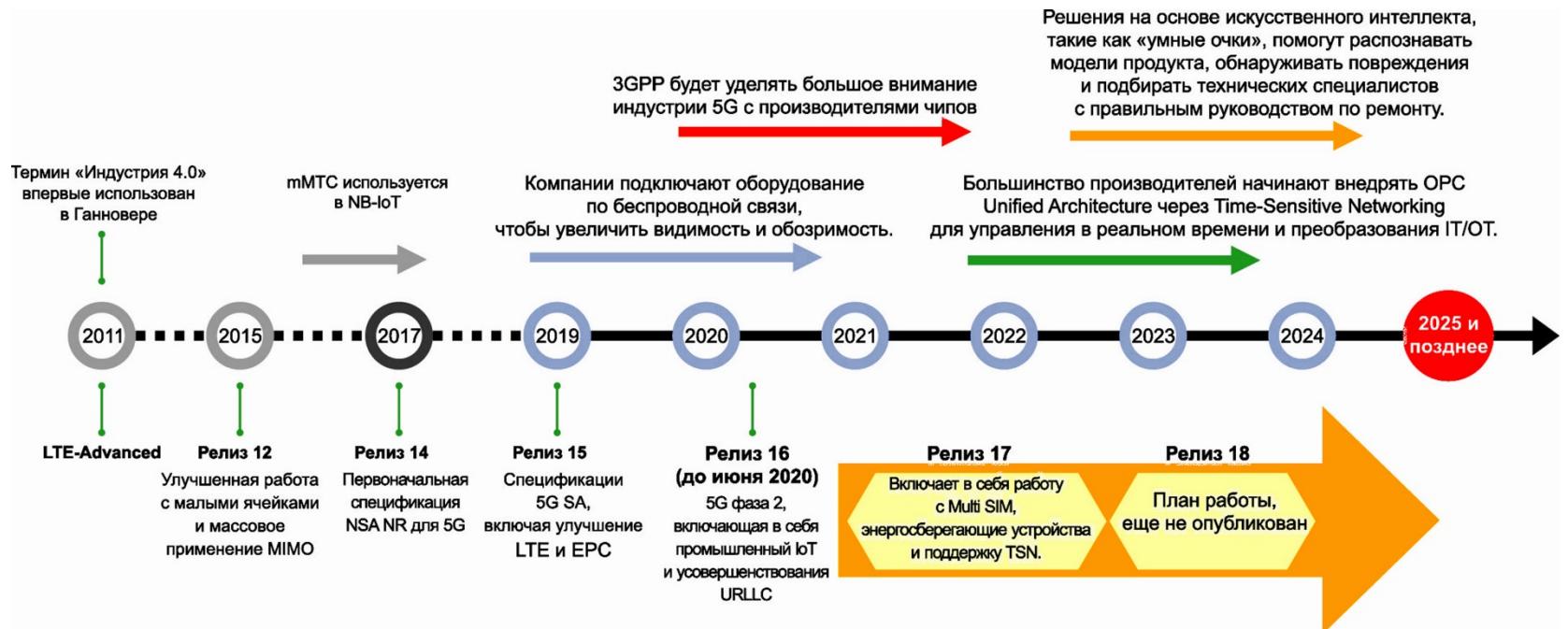
# Стандартизация



# 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.