

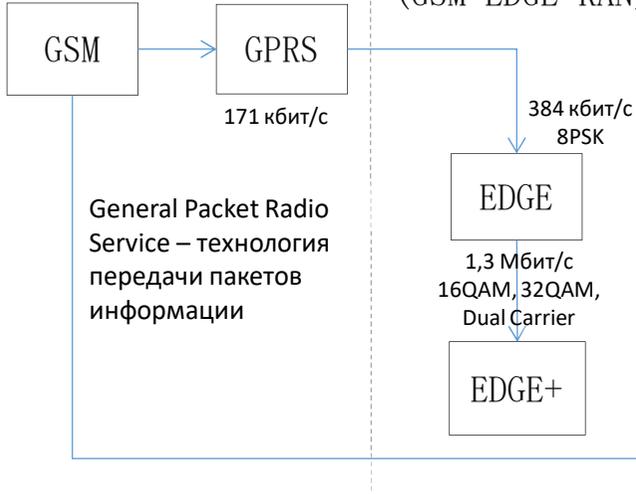
## Лекция №У. Эволюция архитектуры сетей мобильной связи (PLMN)

- I
  - 1. Эволюция стандартов 3GPP
  - 2. Особенности радиоинтерфейсов сетей мобильной связи
  
- II
  - 3. Общая структура сетей мобильной связи
  - 4. Архитектура сети GSM
  - 5. Архитектура сети GSM/GPRS
  - 6. Архитектура совмещённой сети GSM/GPRS. Интеллектуальные сети и платформы CAMEL
  - 7. Архитектура совмещённой сети GSM/UMTS (2.5G/3G)
  - 8. Архитектура сети LTE
  - 9. Варианты предоставления абонентам голосовых сервисов в сети LTE. Архитектура подсистемы IMS
  
- III
  - 10. Эволюция архитектуры сети LTE (4G) в направлении 5G. Архитектура CUPS.
  - 11. Архитектура сети 5G
  - 12. Варианты построения совмещённых сетей 4G/5G
  - 13. Архитектура базовых станций 4G (eNB), 5G (gNB)

# 1. Эволюция стандартов 3GPP

1991-1999 гг.

GERAN  
(GSM EDGE RAN)



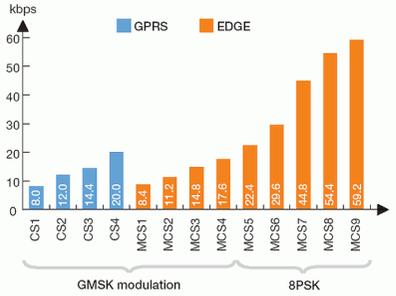
General Packet Radio Service – технология передачи пакетов информации

EDGE  
1,3 Мбит/с  
16QAM, 32QAM,  
Dual Carrier

EDGE+

IN/CAMEL

Enhanced Data rates for GSM Evolution – технология увеличения скорости передачи данных GPRS



2G

2000-2010 гг.

2 Мбит/с  
UMTS  
(UTRAN)

IN/CAMEL

Universal Mobile Telecommunications System)– универсальная мобильная телекоммуникационная система, сеть радиодоступа UTRAN с радиointерфейсом WCDMA

3G

14,4  
Мбит/с  
HSPA

QPSK, 16QAM, адаптация каналов по CQI, временное мультиплексирование: все кодовые ПСП в интервале TTI для одного UE, dual carrier

HSPA+  
21 Мбит/с  
MIMO, 64QAM

High Speed Packet Access – технология повышения скорости передачи радиointерфейса WCDMA

3.5G

2010-2018 гг.

LTE  
(E-UTRAN)

Long-Term Evolution – стандарт высокоскоростной широкополосной связи на основе ортогонального частотного мультиплексирования

4G

LTE-Advanced

LTE-Advanced – технология увеличения скорости передачи данных LTE (в основном за счет агрегации частотных каналов)

Control and User Plane Separation of EPC nodes – эволюция архитектуры ядра сети

4.5G

CUPS

2019 г.

5G (NR)

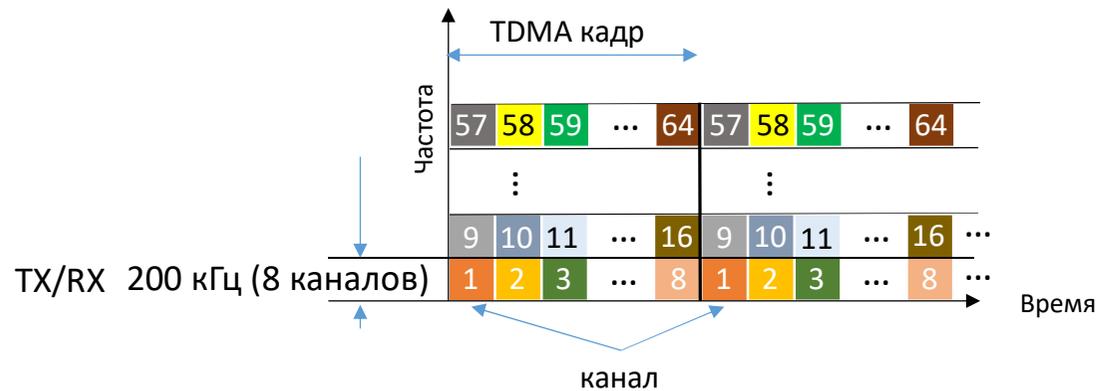
New Radio – технология увеличения скорости и уменьшения задержек передачи данных на радиointерфейсе.

Виртуализация сетевых элементов

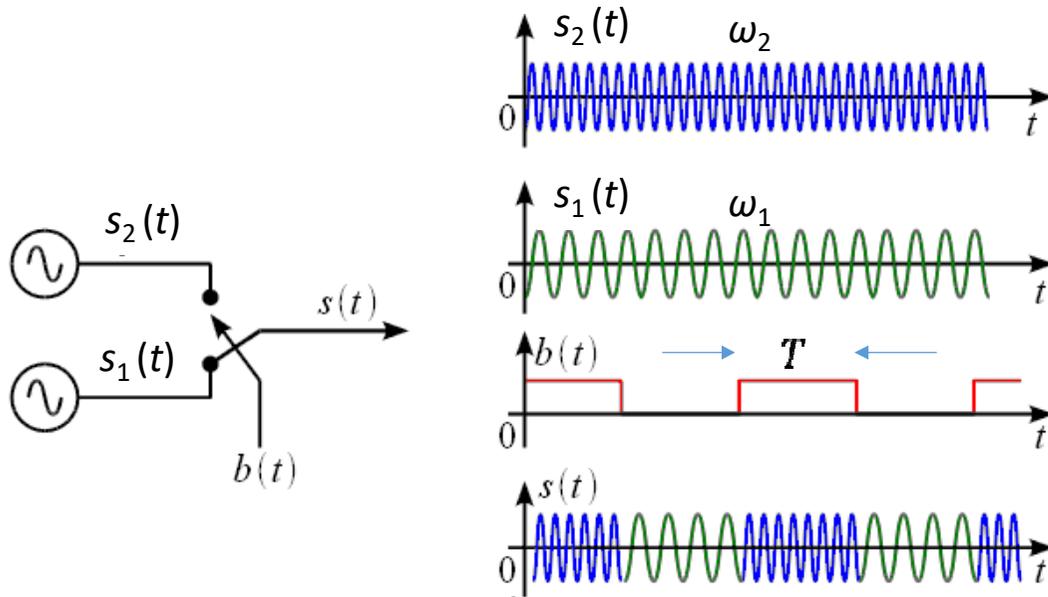
5G

## 2.1. Особенности радиointерфейса GSM. Основные характеристики.

Характеристики	GSM-850	GSM-900	GSM-1800	GSM-1900
Частоты передачи MS и приёма BTS, МГц	824 - 849	890 - 915	1710 - 1785	1850 - 1910
Частоты приёма MS и передачи BTS, МГц	869 - 894	935 - 960	1805 - 1880	1930 - 1990
Дуплекс	FDD	FDD	FDD	FDD
Многостанционный доступ	TDMA	TDMA	TDMA <td TDMA	
Дуплексный разнос частот приёма и передачи, МГц	45	45	95	80
Вид модуляции	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK
Количество частотных каналов связи с шириной 1 канала связи в 200 кГц	124	124	374	299
Ширина полосы канала связи, кГц	200	200	200	200
Количество речевых каналов на несущую	8/16			



## 2.1. Особенности радиointерфейса GSM. Модуляция GMSK.



Радиосигнал с частотной манипуляцией

Параметры частотной манипуляции:

$\omega_2$  – верхняя частота

$\omega_1$  – нижняя частота

$\omega_0 = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$  – средняя (несущая) частота

$\omega_D = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2}$  – девиация (отклонение) частоты

$$\omega_D + \omega_0 = \omega_2$$

$$\omega_D - \omega_0 = \omega_1$$

$\beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\pi} T$  – индекс частотной манипуляции

$\beta$  ↑ выше помехоустойчивость  
↓ уже спектр

Радиосигнал с частотной манипуляцией  $s(t)$  можно представить как сумму двух амплитудно манипулированных сигналов  $s_1(t)$  и  $s_2(t)$ .

Спектр ЧМн сигнала шире спектра АМн сигнала.

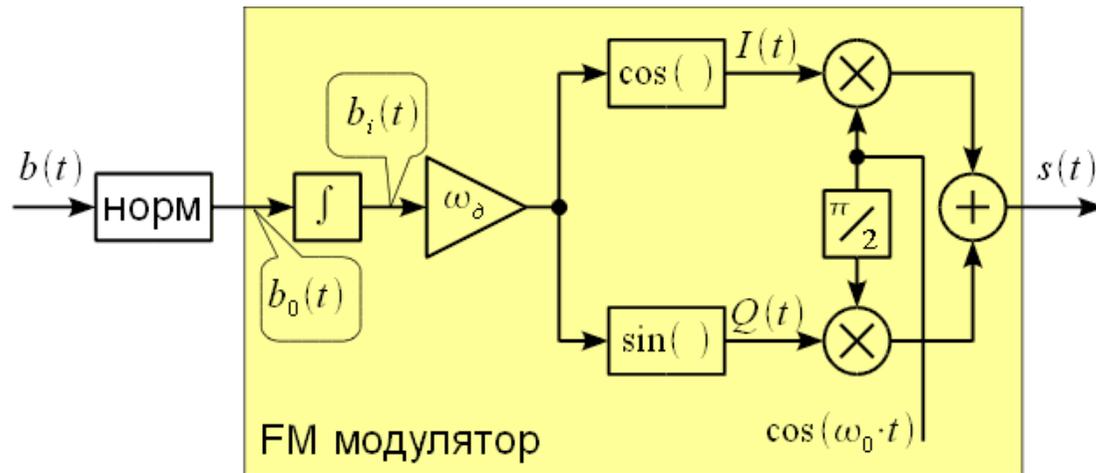
## 2.1. Особенности радиointерфейса GSM. Модуляция GMSK.

$\beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\pi} T = 0.5$  – минимальное значение, при котором обеспечивается ортогональность сигналов  $s_1(t)$  и  $s_2(t)$ :

$$\int_0^T s_1(t)s_2(t)dt = 0$$

$$s(t) = A_0 \cos\left(\omega_0 t \pm \int_0^t \omega_d dt\right) = A_0 \cos\left(\omega_0 t \pm \omega_d \int_0^t dt\right) = A_0 \cos\left(\omega_0 t + \omega_d \int_0^t b_0(t) dt\right) =$$

$$= A_0 \cos(\omega_0 t) \cos\left(\omega_d \int_0^t b_0(t) dt\right) + A_0 \sin(\omega_0 t) \sin\left(\omega_d \int_0^t b_0(t) dt\right)$$



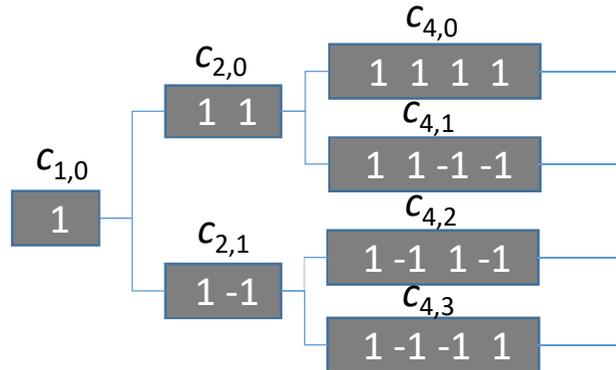
**GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)** – гауссовская частотная манипуляция с минимальным индексом  $\beta=0.5$

Гауссовская – информационные символы (видеоимпульсы) до модуляции пропускаются через гауссовский фильтр для сужения спектра сигнала

## 2.2. Особенности радиointерфейса WCDMA (UMTS). Основные характеристики.

Ширина спектра канала, МГц	5
Диапазон частот, МГц	2110-2170 (DL) 1920-1980 (UL)
Метод дуплекса	FDD
Вид многостанционного доступа	DS-CDMA
Коэффициент расширения спектра (SF)	4-512
Модуляция	QPSK, BPSK
Скорость передачи сигнальных символов (чипов), МБод	3,84

Ортогональный код формируется при помощи функций Уолша



Абонентские терминалы WCDMA работают одновременно в одной полосе частот канала. Для выделения сигналов из их смеси используется принцип **кодového разделения**.

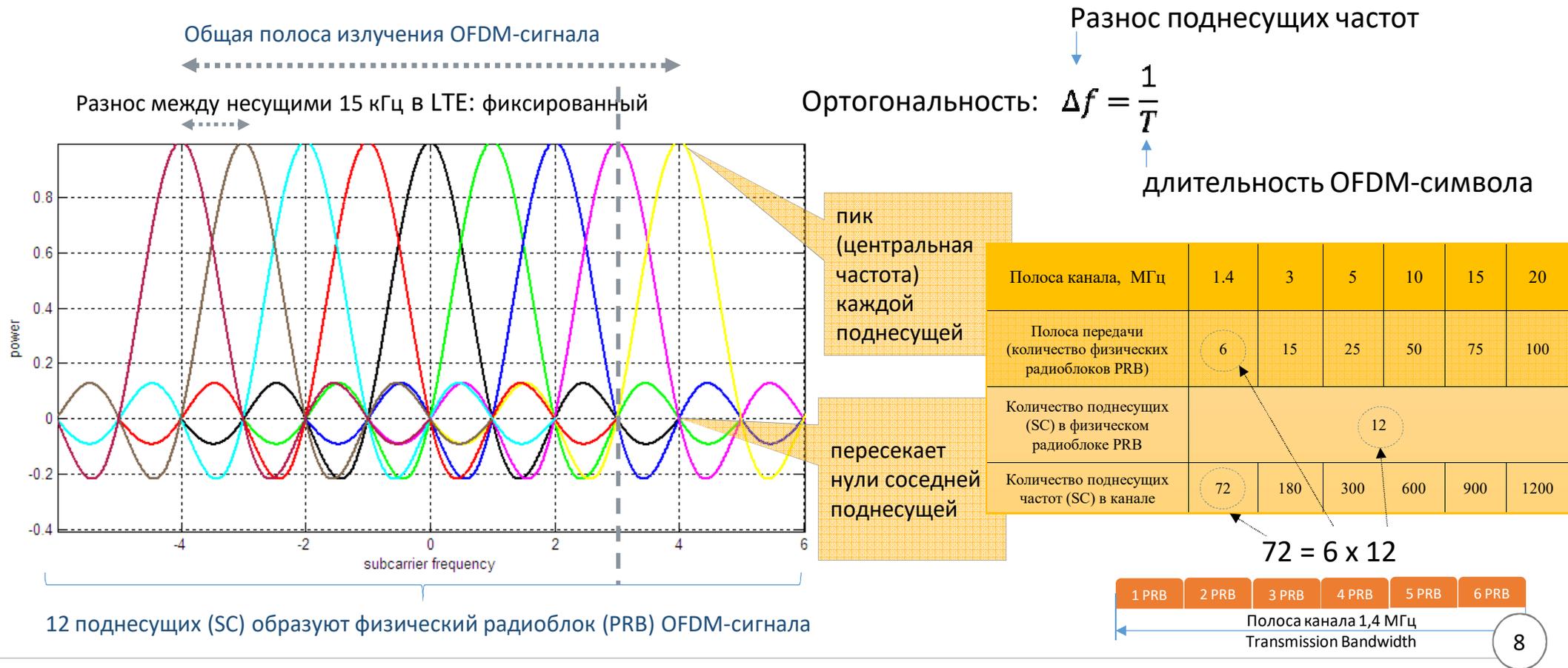


### 2.3. Особенности радиointерфейса LTE. Основные характеристики.

Ширина спектра канала, МГц	1,4/3/5/10/15/20					
Модуляция	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM	
Количество бит информации на один символ	2	4	6	8	10	
Вид многостанционного доступа в линии «вниз» (DL)	OFDMA					
Вид многостанционного доступа в линии «вверх» (UL)	SC-FDMA					
Структура канала	Совокупность радиосигналов на ортогональных поднесущих частотах					
Максимальное количество параллельных пространственных потоков MIMO в линии «вниз» (DL)	8					
Максимальное количество параллельных пространственных потоков MIMO в линии «вверх» (UL)	4					
Пиковая скорость передачи данных для каналов (МГц)	1,4	3	5	10	15	20
- один пространственный поток MIMO, Мбит/с	7,4	18	30	61	75	125
- два пространственных потока MIMO, Мбит/с	14,6	36	57	124	187	251
- три пространственных потока MIMO, Мбит/с	22	55	84	185	284	375
- четыре пространственных потока MIMO, Мбит/с	29	73	115	245	375	502

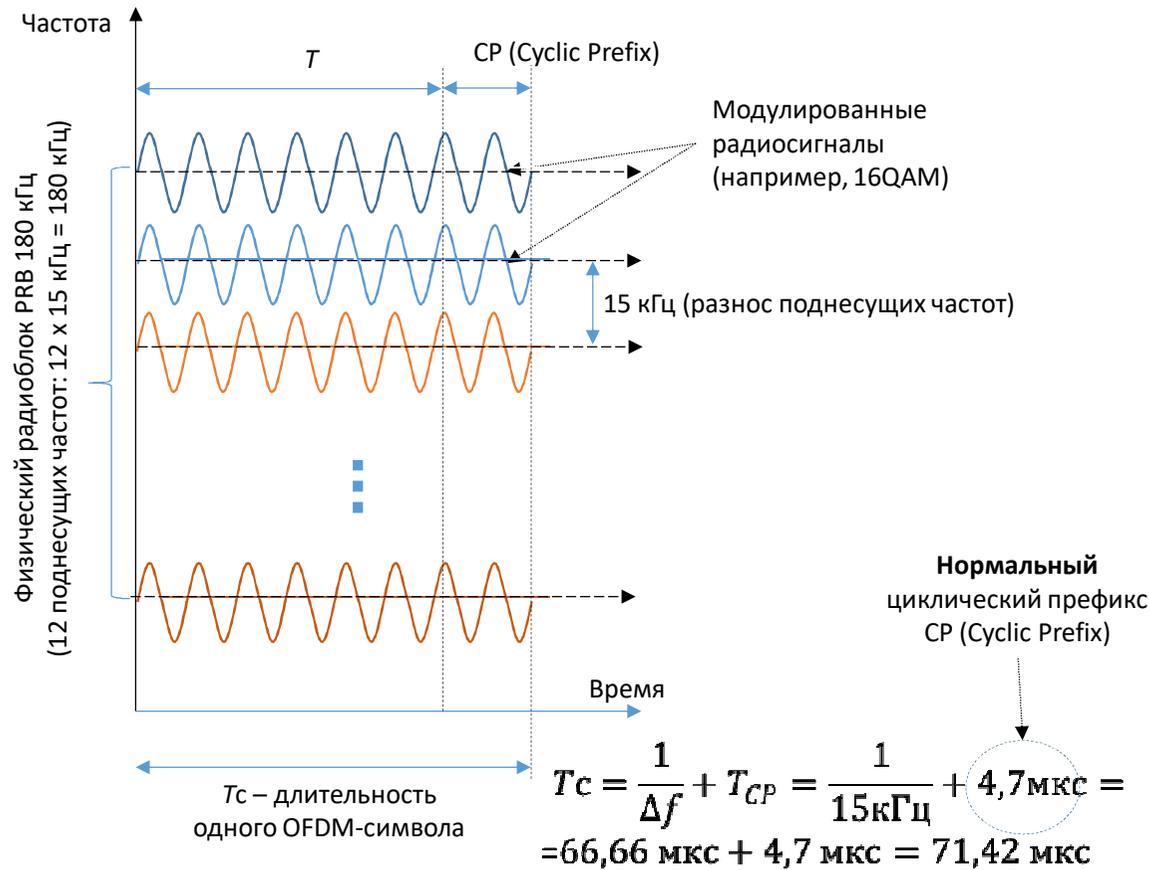
## 2.3. Особенности радиointерфейса LTE. Принцип ортогональных поднесущих в радиосигнале.

Групповой радиосигнал в широкополосном канале LTE – совокупность десятков, сотен отдельно модулированных радиосигналов на ортогональных поднесущих частотах.



## 2.3. Особенности радиointерфейса LTE. Принцип ортогональных поднесущих в радиосигнале.

Групповой радиосигнал в широкополосном канале LTE – совокупность отдельно модулированных радиосигналов на ортогональных поднесущих частотах, распределенных.



Разнос поднесущих частот

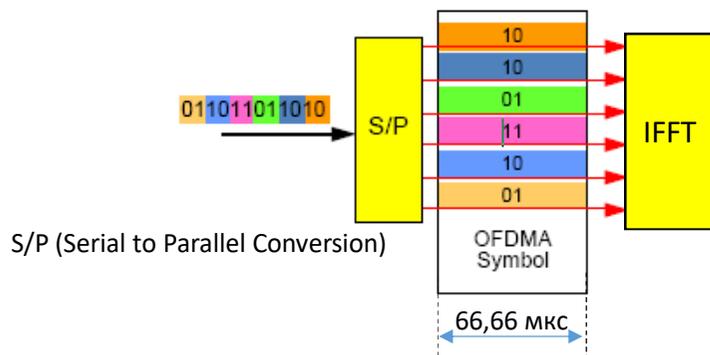
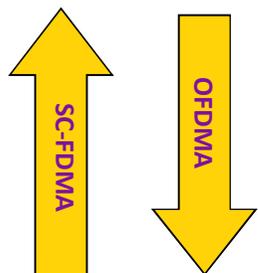
$$\Delta f = \frac{1}{T}$$

длительность полезного OFDM-символа

Параметры физического радиоблока PRB (Physical Radio Block)		
Тип циклического префикса	Количество поднесущих частот в PRB	Количество OFDM-символов в PRB
Нормальный CP	12	7
Расширенный CP	12	6

71,42 мкс x 7  
= 0,5 мс – длительность одного физического радиоблока PRB

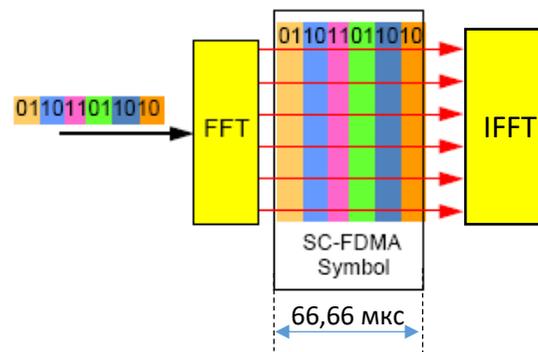
## 2.3. Особенности радиointерфейса LTE. Виды мультиплексирования в линиях «вниз» (DL) и «вверх» (UL)



### OFDMA

Одно преобразование Фурье при формировании радиосигнала

FFT – прямое преобразование Фурье  
IFFT – обратное преобразование Фурье



### SC-FDMA

Два преобразования Фурье при формировании радиосигнала

- При использовании OFDMA данные передаются параллельно на множестве поднесущих
- При использовании SC-FDMA данные передаются на одной поднесущей

## 2.3. Особенности радиointерфейса LTE. Временная структура радиointерфейса LTE (частотный дуплекс FDD)

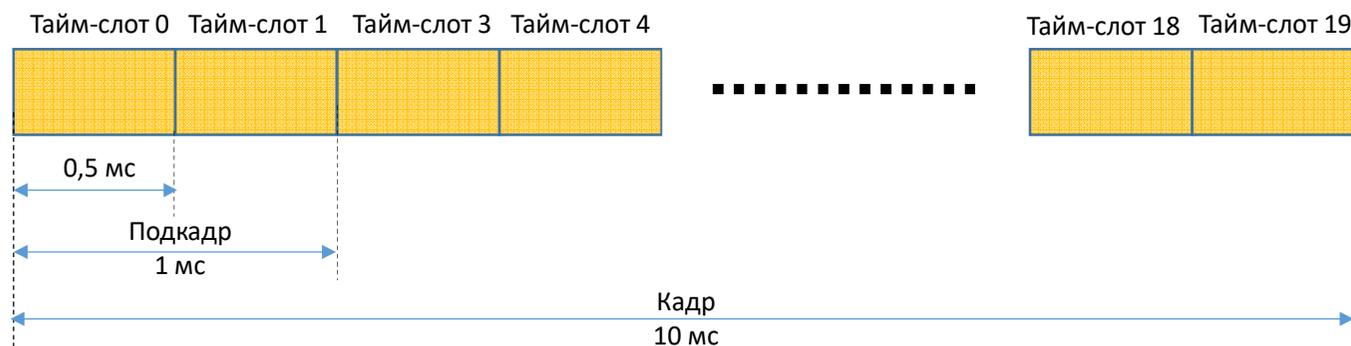
Временная (кадровая) структура радиointерфейса Uu сети радиодоступа E-UTRAN подразделяется на два типа:

- тип 1 – кадровая структура с частотным дуплексом FDD;
- тип 2 – кадровая структура с временным дуплексом TDD.

### Кадровая структура FDD (тип 1).

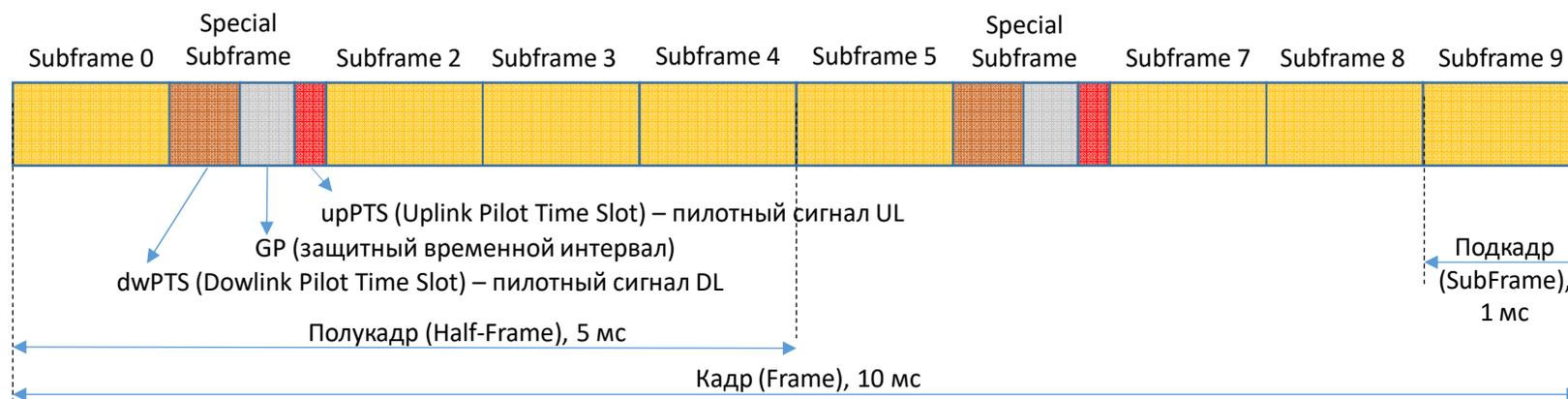
Кадровая структура FDD радиointерфейса Uu сети радиодоступа E-UTRAN состоит из кадров длительностью 10 мс. Каждый кадр состоит 20 из тайм-слотов (0-19) длительностью  $T_{\text{слот}} = 0.5$  мс.

Два соседних временных тайм-слота объединяются в один подкадр длительностью 1 мс. Таким образом, один кадр содержит 10 таких подкадров.



## 2.3. Особенности радиointерфейса LTE. Временная структура радиointерфейса LTE (временной дуплекс TDD)

Uplink Downlink конфигурация (DL:UL)	Downlink-to-Uplink Switch-point (периодичность точки переключения)	Номер подкадра (SubFrame Number)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 (1:3)	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1 (1:1)	5 мс	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2 (3:1)	5 мс	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3 (2:1)	10 мс	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4 (7:2)	10 мс	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5 (8:1)	10 мс	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6 (3:5)	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

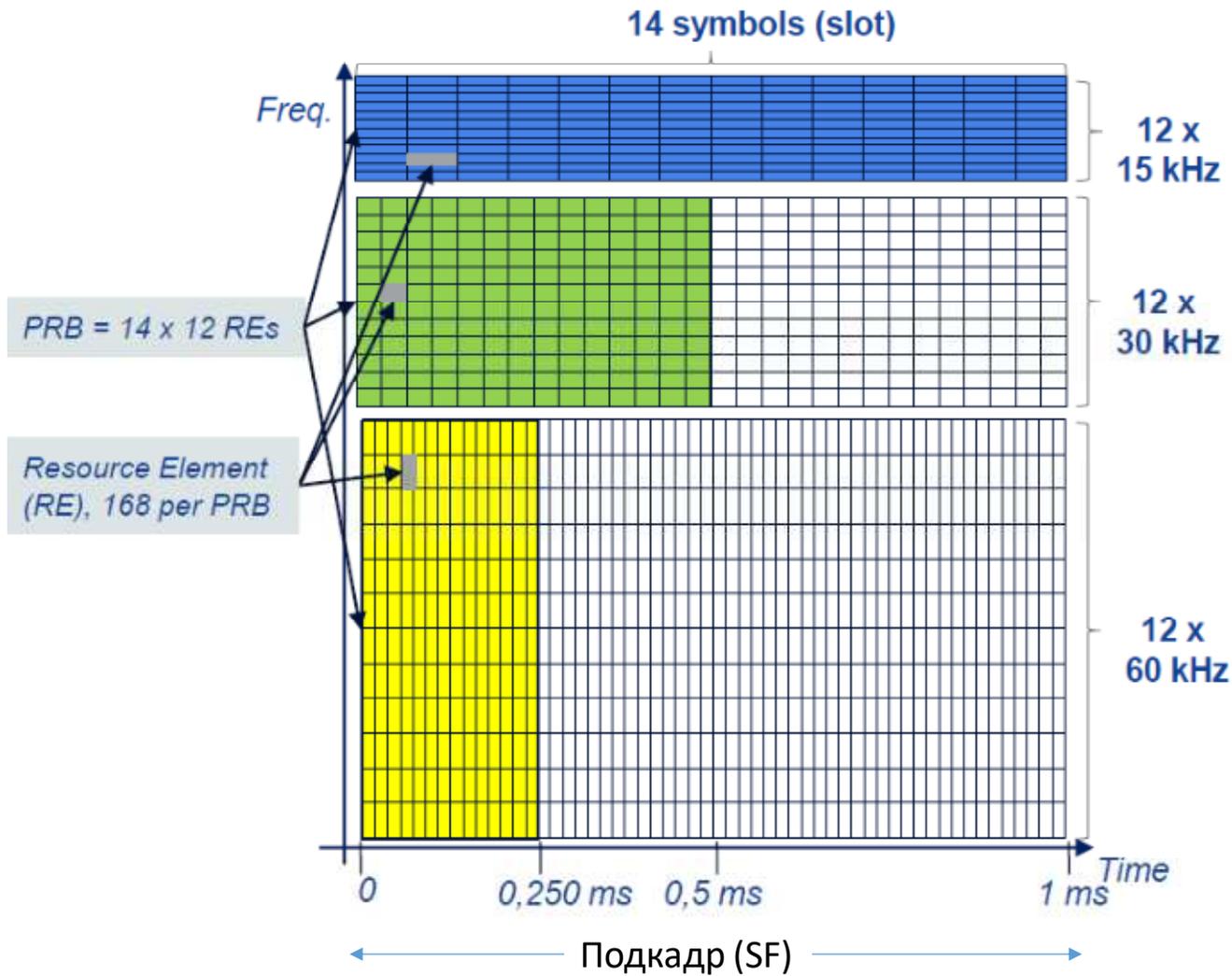


## 2.4. Особенности радиointерфейса NR. Основные характеристики

Параметр	FR1 (450 МГц – 6 ГГц)	FR1 (24.25 ГГц – 52.6 ГГц)
Полоса канала, МГц	5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 90, <b>100</b>	50, 100, 200, <b>400</b>
Разнос поднесущих, кГц	15, 30, 60	60, 120, 240
Модуляция	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM	
Дуплекс	FDD, TDD	TDD
Многостанционный доступ	CP-OFDM (DL) CP-OFDM, DFT-s-OFDM (UL)	

Диапазон частот	SCS, кГц	Полоса канала, МГц	Пиковая скорость, Мбит/с	
			DL	UL
FR1	15	50	288,9	309,1
FR1	30	100	584,3	625
FR1	60	100	577,8	618,1
FR2	60	200	1 080	1 180
FR2	120	400	2 150	2 370
Сравнение с LTE	15	20	100	100

## 2.4. Особенности радиointерфейса NR. Основные характеристики



Радиоинтерфейс NR имеет гибкую структуру и адаптируется к сервису.

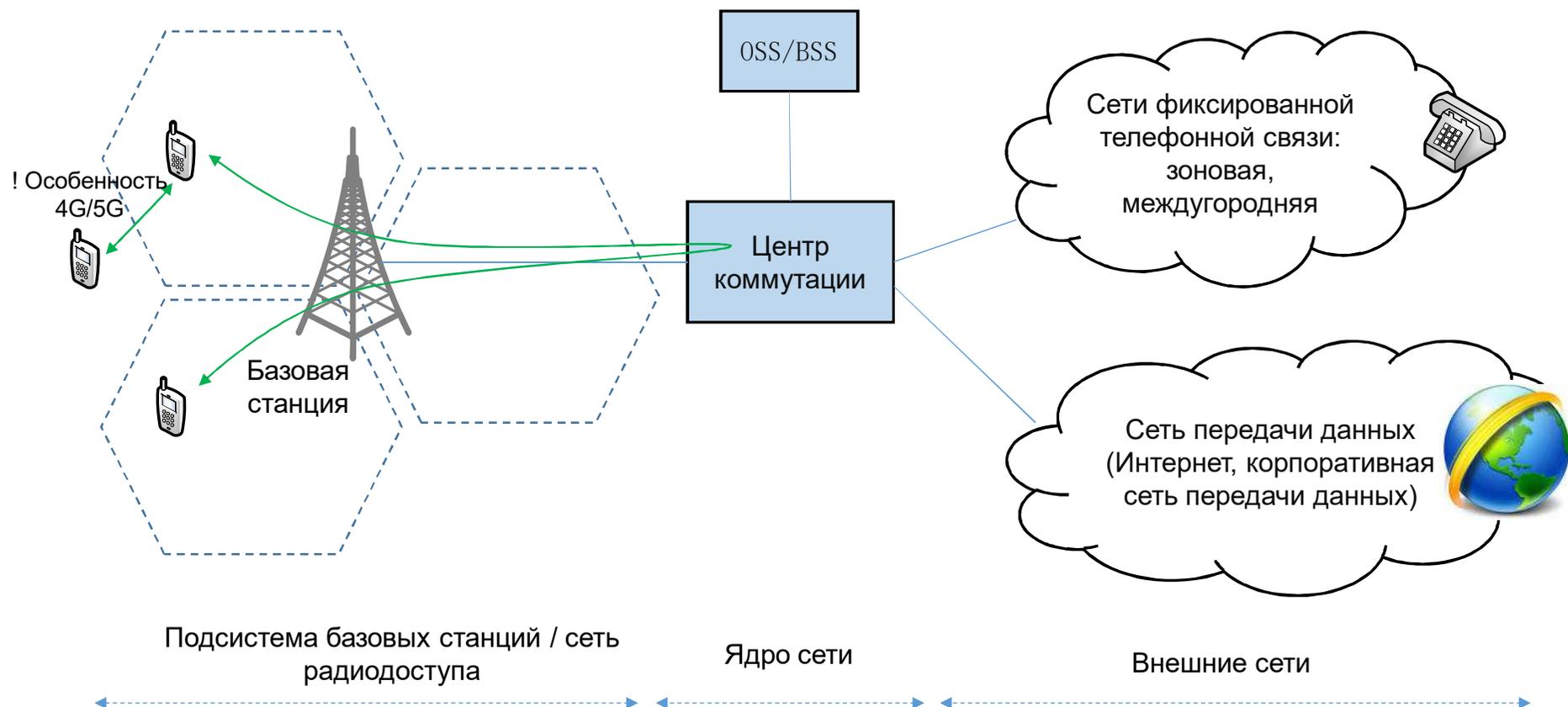
Структура радиointерфейса NR для сервисов, требующих ультрамалые задержки (URLLC), имеет большой разнос поднесущих SCS, и соответственно меньшую длительность символов.

Разнос поднесущих, кГц	Количество OFDM символов в тайм-слоте	Количество тайм-слотов в подкадре
15	14	1
30	14	2
60	14	4
120	14	8

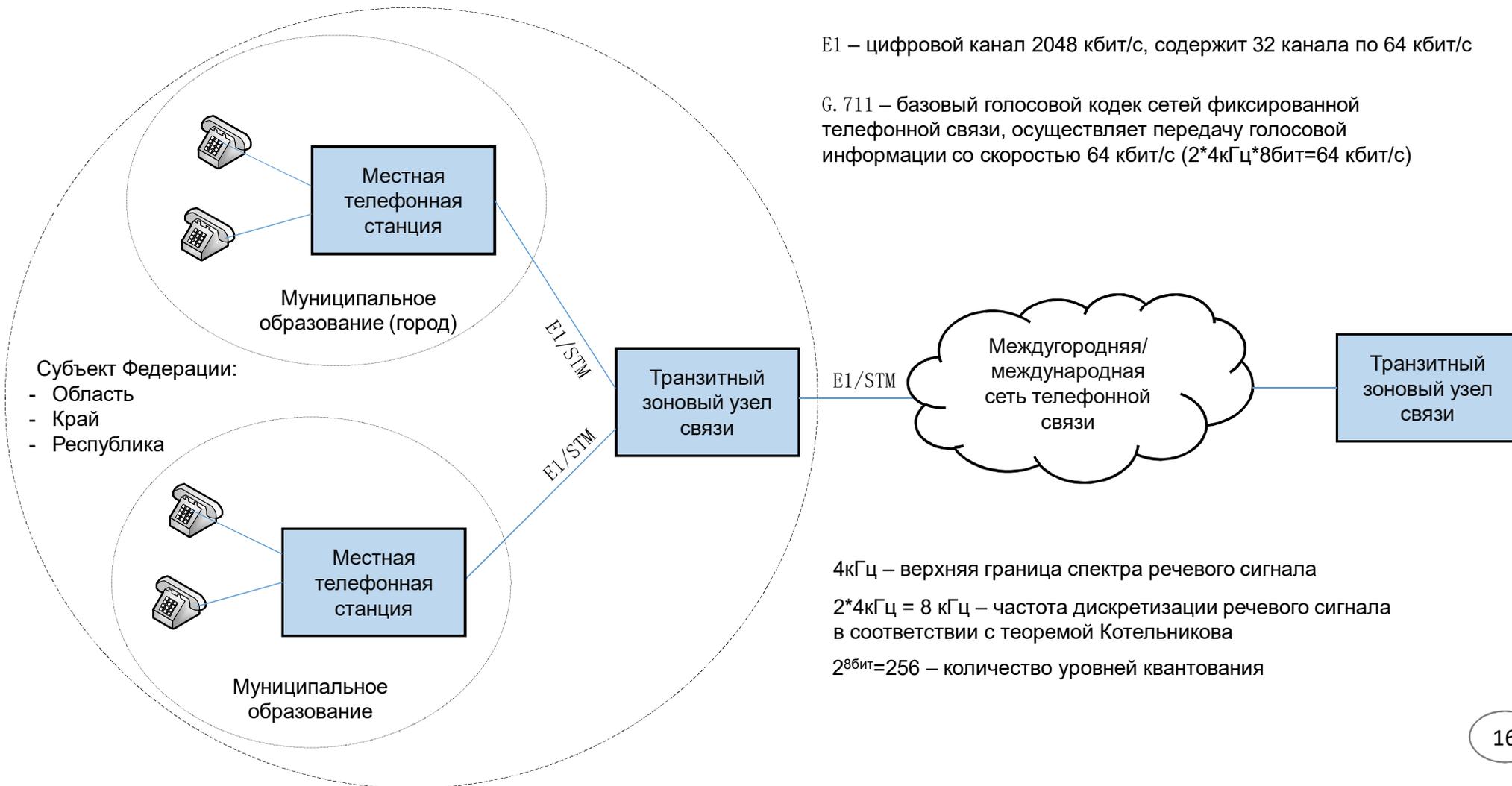
### 3. Общая структура сетей мобильной связи

OSS (Operation Support System) – система управления и эксплуатации

BSS (Business Support System) – биллинговая система



## 4. Архитектура сети GSM. Ранее существующая архитектура TDM сетей фиксированной телефонной связи – основа развертывания мобильных сетей связи стандарта GSM



E1 – цифровой канал 2048 кбит/с, содержит 32 канала по 64 кбит/с

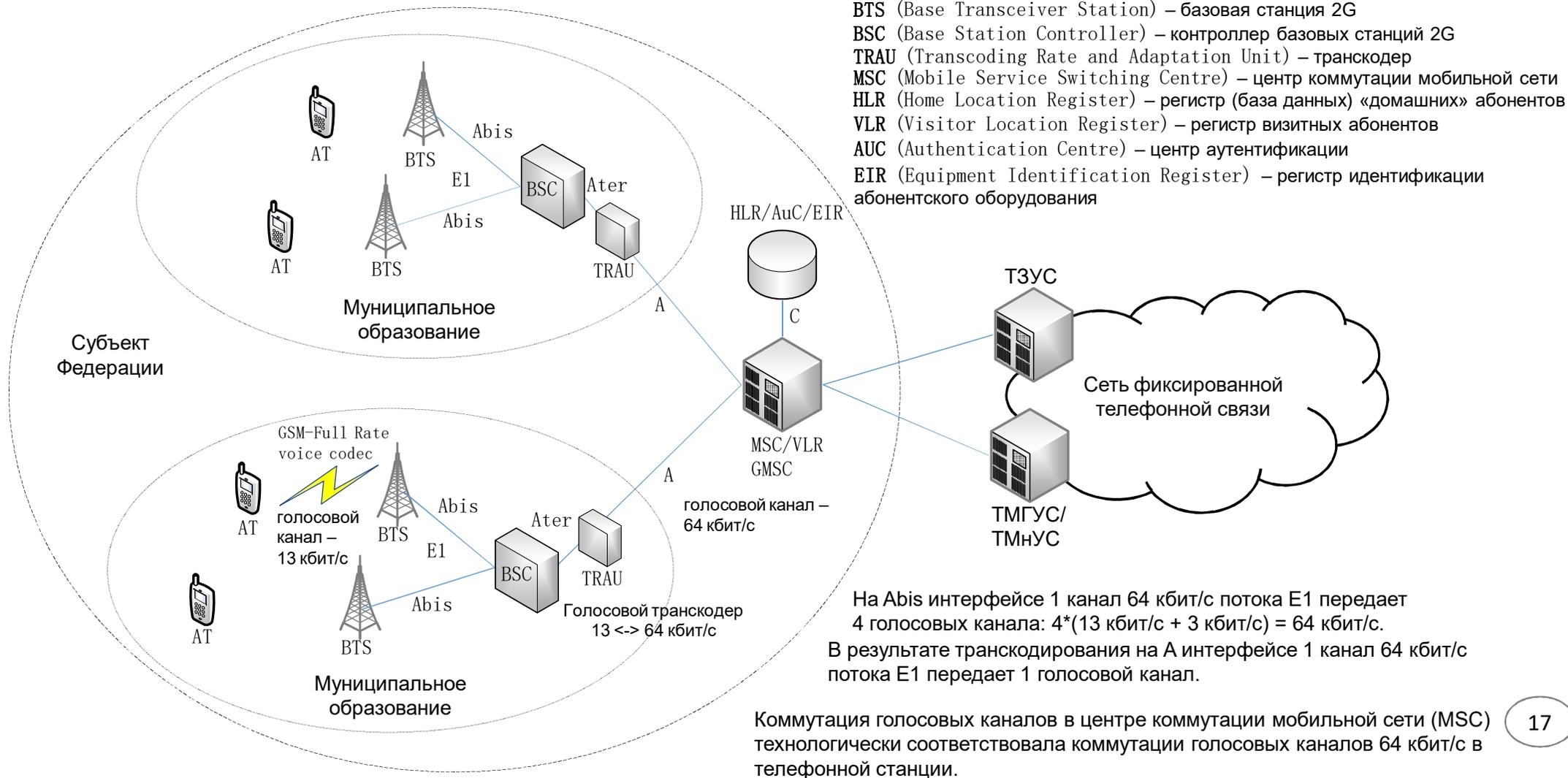
G. 711 – базовый голосовой кодек сетей фиксированной телефонной связи, осуществляет передачу голосовой информации со скоростью 64 кбит/с ( $2 \cdot 4 \text{кГц} \cdot 8 \text{бит} = 64 \text{ кбит/с}$ )

4кГц – верхняя граница спектра речевого сигнала

$2 \cdot 4 \text{кГц} = 8 \text{ кГц}$  – частота дискретизации речевого сигнала в соответствии с теоремой Котельникова

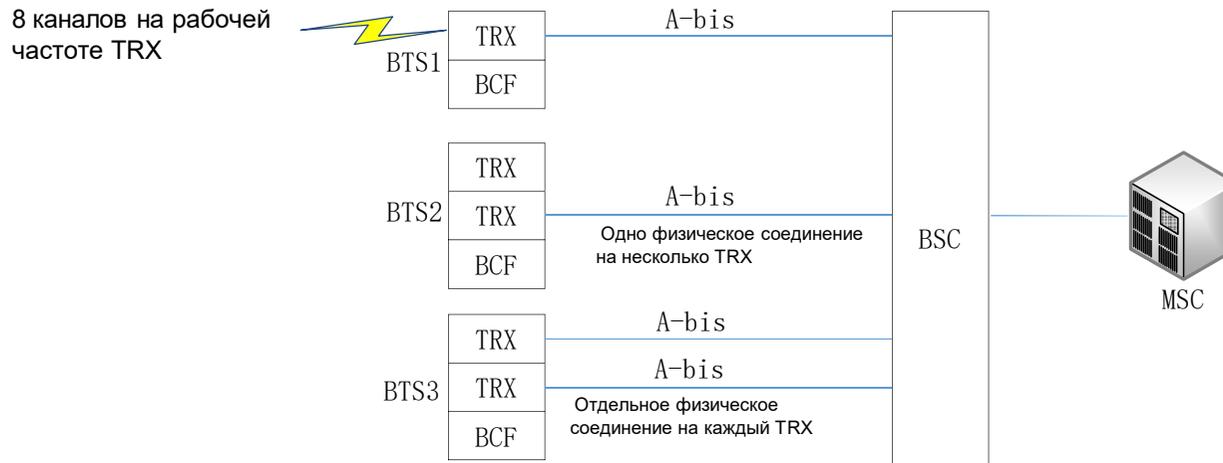
$2^{8 \text{бит}} = 256$  – количество уровней квантования

## 4. Архитектура сети GSM. Ранее существующая архитектура TDM сетей фиксированной телефонной связи – основа развертывания мобильных сетей связи стандарта GSM



## 4. Архитектура сети GSM.

Совокупность базовых станций **BTS** и контроллеров **BSC** образуют подсистему базовых станций **BSS**.



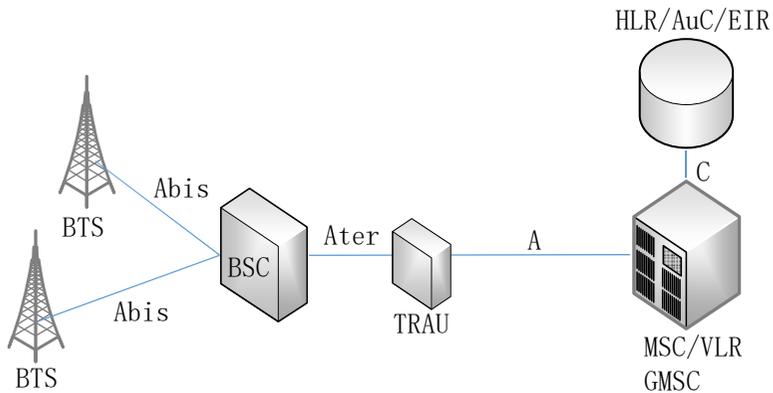
Назначение функции контроля базовой станцией BCF (Base Control Function):

- реализацию общих функций для TRX, например, псевдослучайную перестройку рабочей частоты (ППРЧ), временную синхронизацию
- формирование аварийных сообщений
- управление электропитанием (включение/выключение) приемопередатчиков

Назначение контроллера BSC подсистемы базовых станций BSS:

- **управление каналами** базовых станций (тайм-слотами каналов BCCH/CCCH, TCHs, SDCCCH и др.) в соответствии с настроенной на BSC конфигурацией
- **управление радиоресурсами** базовой станции и **соединениями** с абонентскими терминалами (установление, завершение) на радиоинтерфейсе
- **управление мощностью** излучения базовой станции и абонентского терминала
- **шифрование** передаваемых сообщений
- **управление хендвером**
- **транскодирование голосовых потоков**
- **управление пейджингом**

## 4. Архитектура сети GSM.



### Назначение шлюзового коммутатора GMSC:

- получение от HLR информации о коммутаторе MSC/VLR, обслуживающем вызываемого абонента
- взаимодействие с подсистемой CAMEL по управлению входящими голосовыми вызовами
- запрос у обслуживающего коммутатора MSC/VLR роумингового номера абонента MSRN для маршрутизации входящих вызовов
- маршрутизация входящих вызовов в направлении в направлении обслуживающего коммутатора MSC/VLR

### Назначение домашнего регистра HLR:

- хранение **постоянной информации** (профилей) обо всех «домашних» абонентах сети:
  - нумерация (IMSI, MSISDN),
  - доступные услуги
  - параметры качества услуг
  - блокировка услуг абонента
- хранение **временной информации** обо всех абонентах сети:
  - статус регистрации в сети,
  - номер обслуживающего коммутатора MSC/VLR (global title)
  - временные идентификаторы,
  - разрешённые услуги и пр.

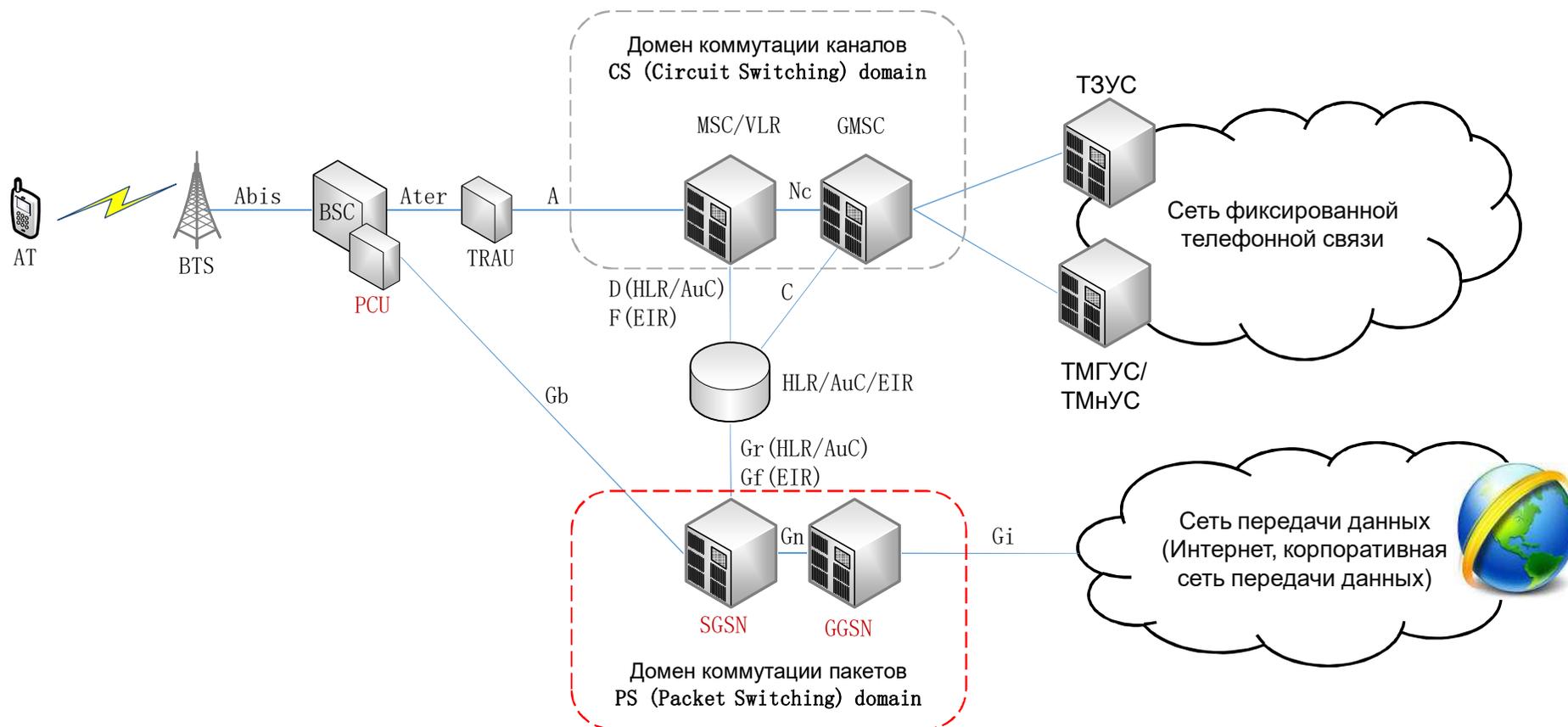
### Назначение центра аутентификации AuC:

- хранение ключей аутентификации абонентов
- обеспечение аутентификации абонентов, сети

### Назначение визитного регистра VLR:

- хранение информации об абонентах (домашних, роуминговых), зарегистрированных в сети и находящихся в зоне обслуживания коммутатора MSC: местоположение, временные идентификаторы, разрешённые услуги и пр.)
- участие в аутентификации абонентов

## 5. Архитектура сети GSM/GPRS. Стандартизация пакетной сети GPRS – значимый этап в развитии услуги передачи данных и доступа в Интернет на базе сетей мобильной связи

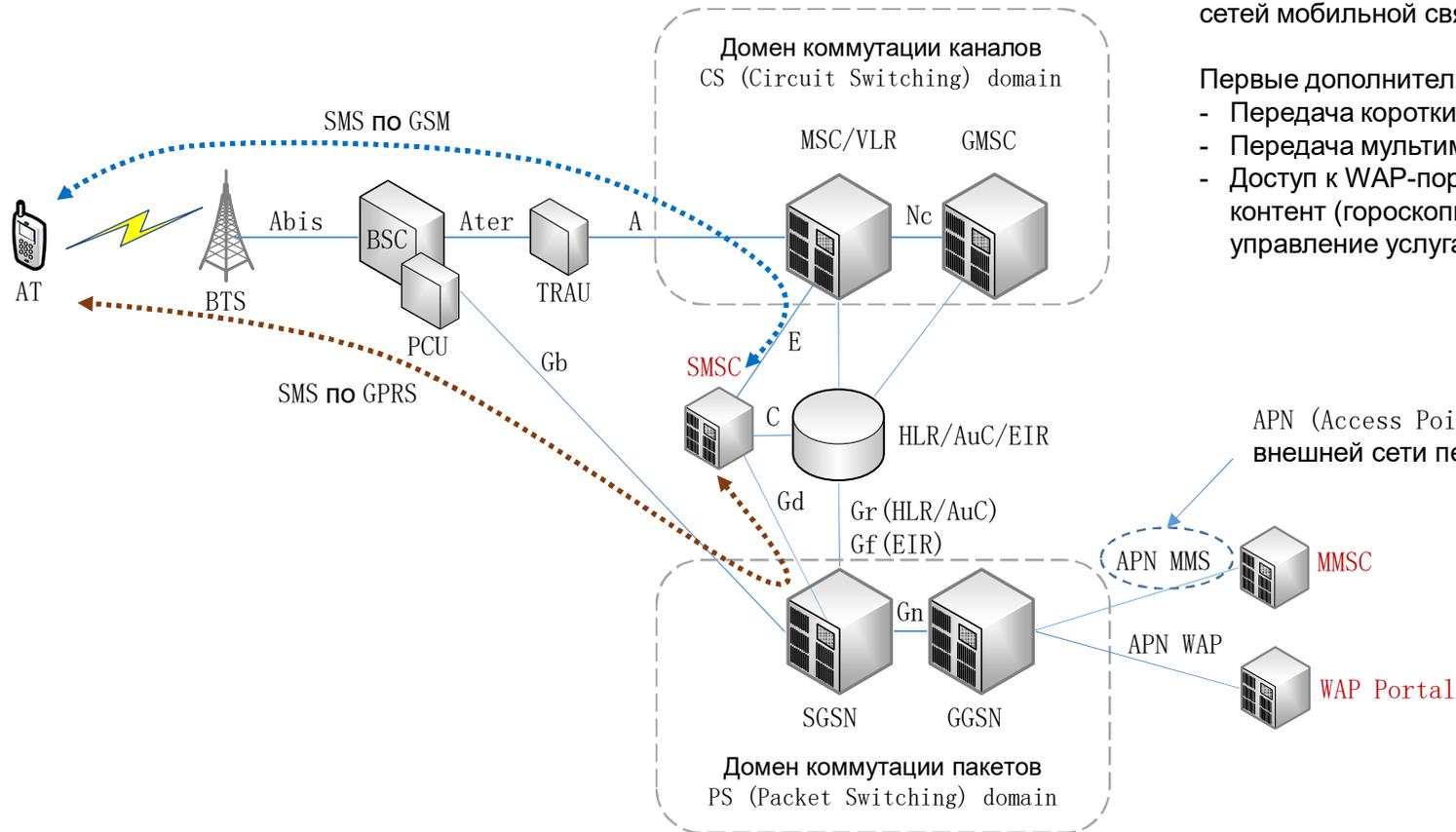


SGSN (Serving GPRS Support Node) – сервисный узел обслуживания абонентов GPRS

GGSN (GPRS Gateway Support Node) – шлюзовой узел GPRS

PCU (Packet Control Unit) – контроллер пакетов GPRS

## 5. Архитектура сети GSM/GPRS. Первые сервисные платформы



Дополнительный сервис (VAS) – стимул проникновения сетей мобильной связи в жизнь человека.

Первые дополнительные услуги:

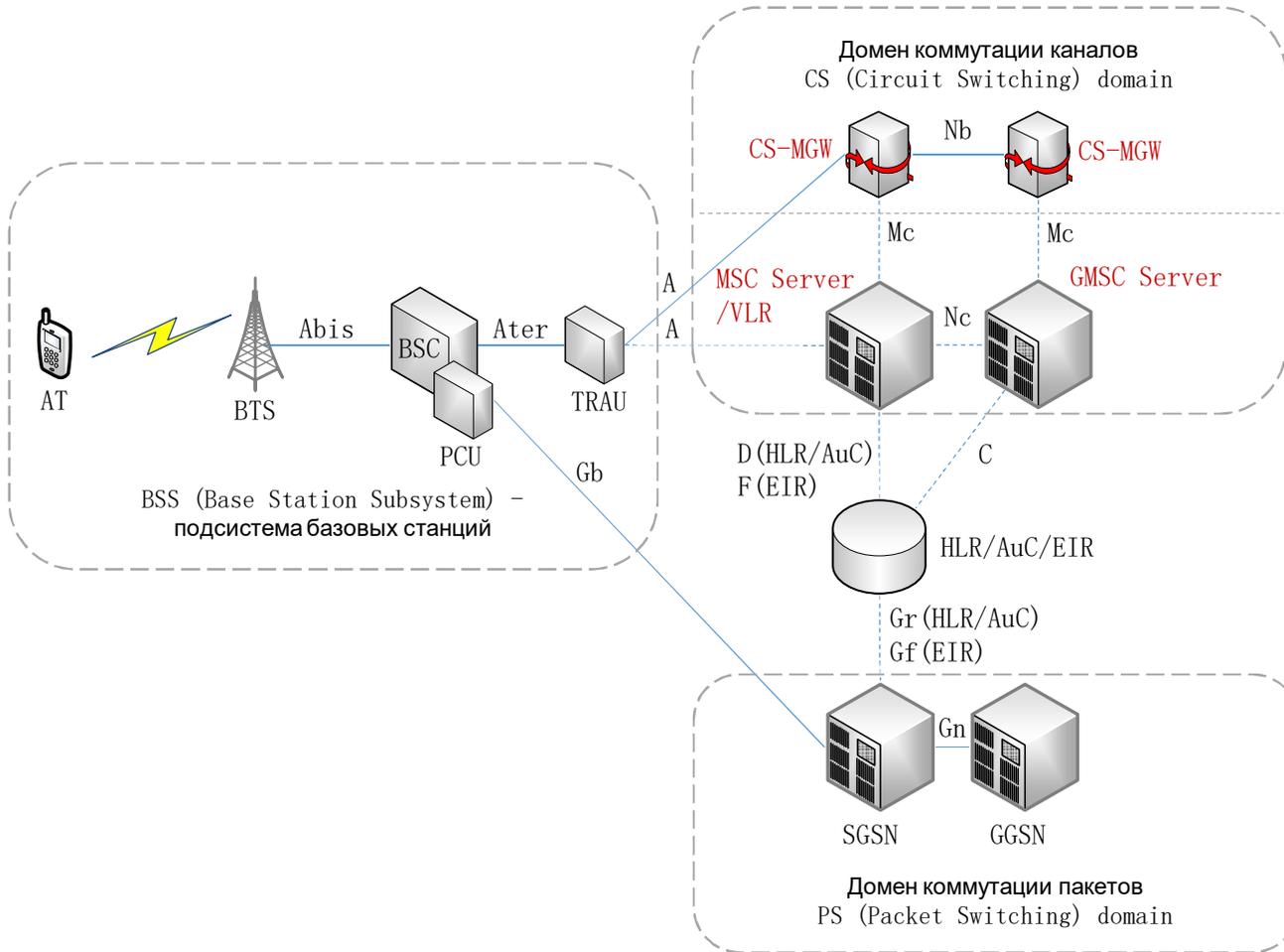
- Передача коротких сообщений СМС
- Передача мультимедийных сообщений ММС
- Доступ к WAP-порталу оператора, содержащего контент (гороскопы, анекдоты, мелодии и др.), управление услугами

APN (Access Point Name) – имя точки доступа к внешней сети передачи данных.

SMSC – центр передачи коротких сообщений СМС

MMSC – центр передачи мультимедийных сообщений ММС

## 5. Архитектура сети GSM/GPRS. Сети нового поколения NGN



Плоскость  
пользователя  
User Plane

Плоскость  
управления  
Control  
Plane

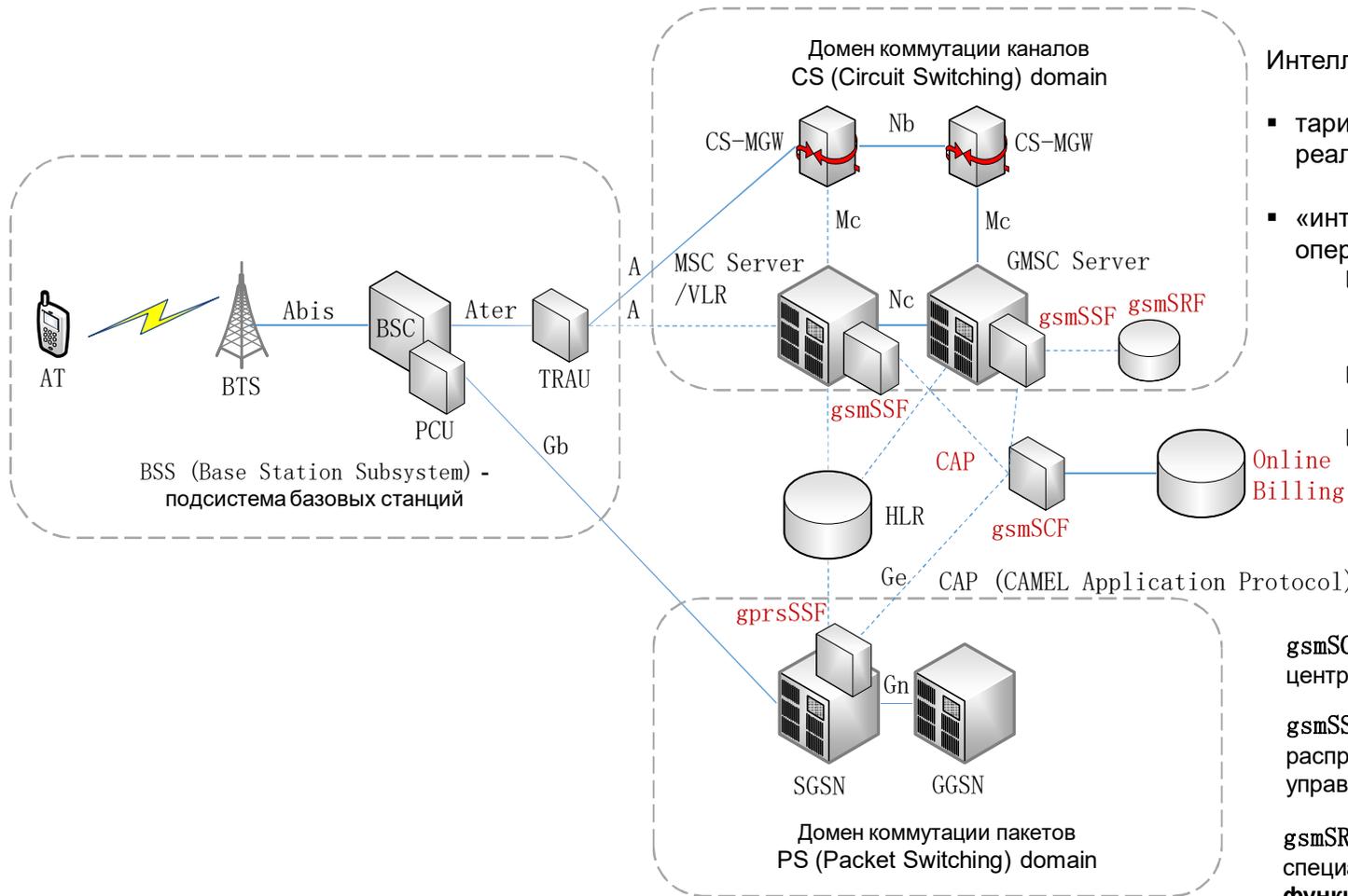
Концепция сетей нового поколения NGN имеет преимущества с точки зрения масштабируемости и построения распределенных узлов связи:

- централизации управления;
- децентрализации (локализации) медиа трафика.

Концепция сетей нового поколения NGN внесла изменения в архитектуру сети GSM: центр коммутации сети мобильной связи MSC разделился на два элемента:

- MSC сервер (MSC Server) – осуществляющий управление голосовыми вызовами и ресурсами медиа шлюзов CS-MGW
  - Медиа шлюз (CS-MGW) – осуществляют передачу медиа трафика в соответствии с требуемым качеством QoS, транскодирование
- CS-MGW (Circuit Switched - Media Gateway) – медиа шлюз

## 6. Архитектура сети GSM/GPRS. Интеллектуальные сети и платформы CAMEL



Интеллектуальные сети и платформы CAMEL – это:

- тарификация голосовых и видео вызовов в режиме реального времени (Prepaid Service);
- «интеллектуальная» (кастомизированная под оператора) логика обработки голосовых вызовов:
  - ❑ раздельная обработка вызовов в зависимости от номера вызываемой и вызывающей стороны;
  - ❑ замена сигналов КПВ (контроля посылки вызовов) мелодией
  - ❑ сервис коротких номеров (сервисные номера, виртуальные приватные сети)

**gsmSCF** (GSM Service Control Function) - центральная **функция управления** медиа вызовами

**gsmSSF** (GSM Service Switching Function) - распределенная **функция применения логики** управления и коммутации медиа вызовами

**gsmSRF** (GSM Specialised Resource Function) – специализированная ресурсная функция (например, **функция воспроизведения мелодии взамен КПВ**)

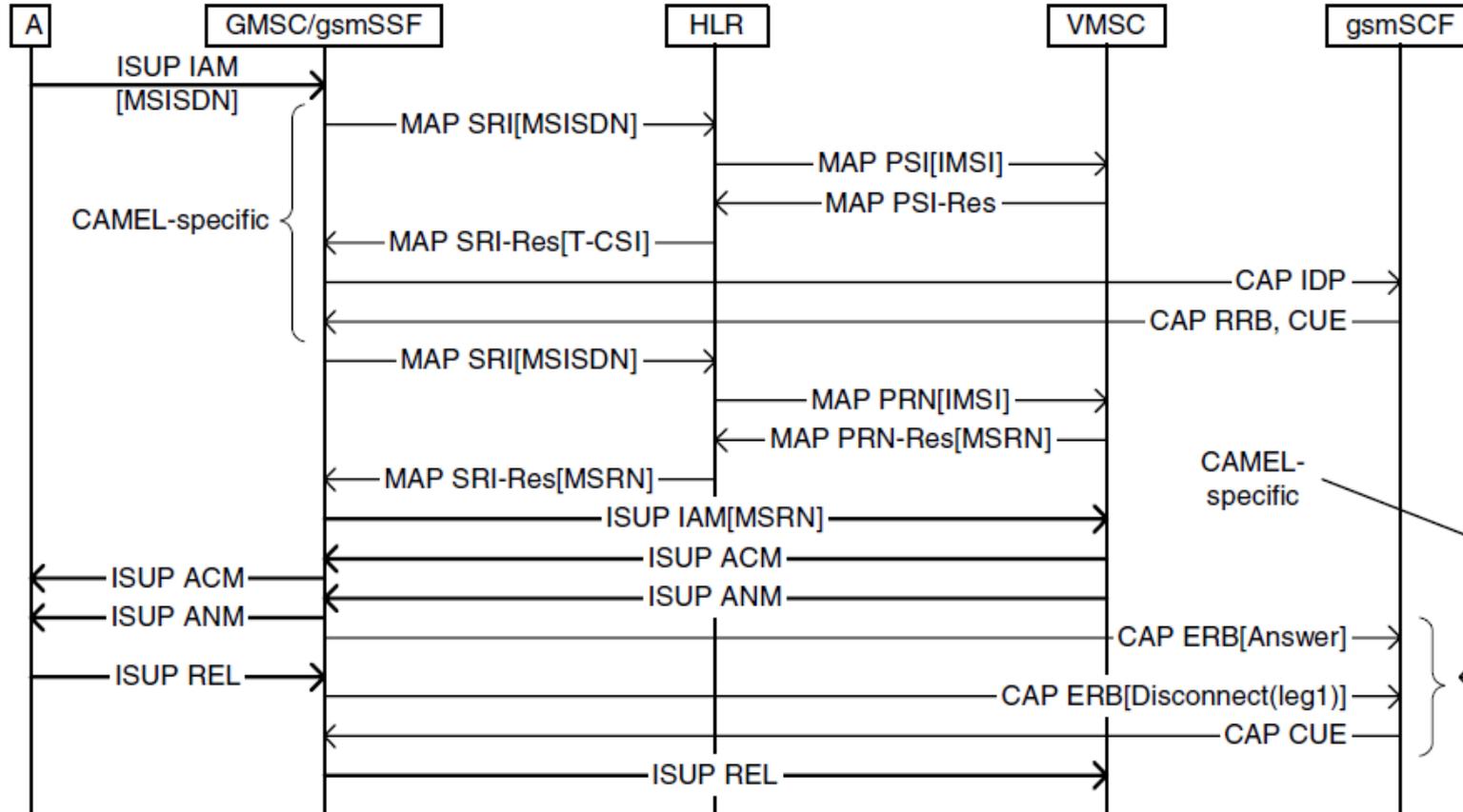
**CAP** (CAMEL Application Protocol) – прикладной протокол CAMEL

## 6. Архитектура сети GSM/GPRS. Интеллектуальные сети и платформы CAMEL

Фазы CAMEL	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3
Характеристики	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Для вызовов, инициированных или адресованных от/к мобильной сети</li> <li>• Без тарификации</li> <li>• Без информационных сообщений</li> <li>• Ограниченный набор «точек состояния» DP (Detection Points) базовой модели вызовов BCSM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тарификация</li> <li>• Новые точки DP базовой модели вызовов BCSM</li> <li>• Автоинформаторы и тональные сигналы</li> <li>• Прием сигналов тонального набора</li> <li>• USSD-связь между SCP и мобильным терминалом</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тарификация GPRS</li> <li>• Тарификация исходящих SMS</li> <li>• SCP-управление ожиданием вызова (CW), переадресацией (CF) и конференц-связью (MPTY)</li> </ul>
Типовые услуги	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Фильтрация вызовов</li> <li>• Перенаправление вызовов (Call Forwarding)</li> <li>• Маршрутизация вызова (Call Routing)</li> <li>• Простейшие VPN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prepaid-услуги</li> <li>• Сообщения при установлении, при разрыве соединения (Announcements)</li> <li>• Бесплатный вызов (Free phone)</li> <li>• Персональные скидки и скидки, зависящие от местоположения абонента (Location Dependent Discount)</li> <li>• Начисление платы за входящие звонки (Reverse Charging)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prepaid-услуги для GPRS</li> <li>• Множественные абонентские профили</li> </ul>

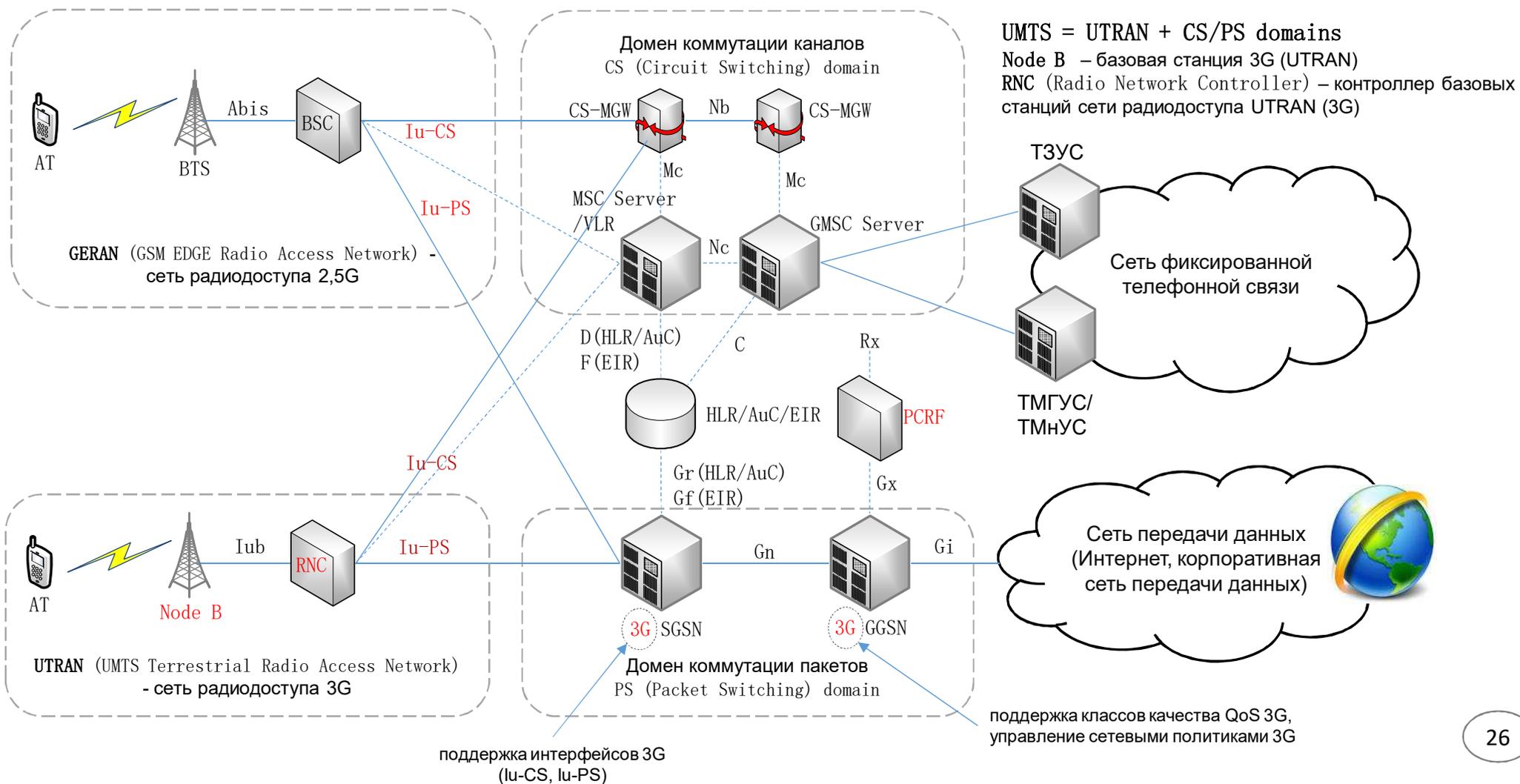
## 6. Архитектура сети GSM/GPRS. Интеллектуальные сети и платформы CAMEL

Сигнальная диаграмма входящего голосового вызова



## 7. Архитектура совмещенной сети GSM/UMTS (2.5G/3G)

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – универсальная мобильная телекоммуникационная система связи.



## 8. Архитектура сети LTE (4G)

EPS (Evolved Packet System) – эволюционная пакетная система связи.

EPS – 100 % пакетная система связи (All over IP), отсутствует домен коммутации каналов.

EPS = E-UTRAN (LTE) + EPC

E-UTRAN (LTE) – сеть радиодоступа 4G

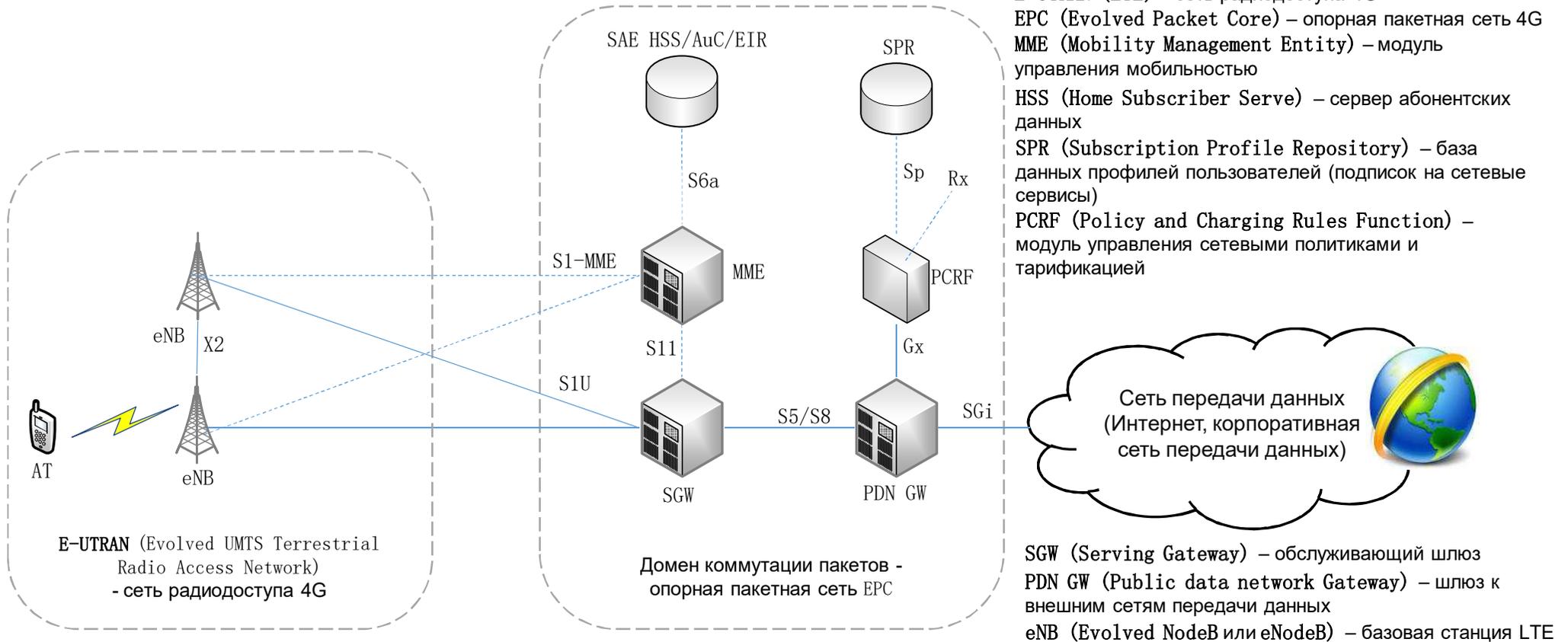
EPC (Evolved Packet Core) – опорная пакетная сеть 4G

MME (Mobility Management Entity) – модуль управления мобильностью

HSS (Home Subscriber Serve) – сервер абонентских данных

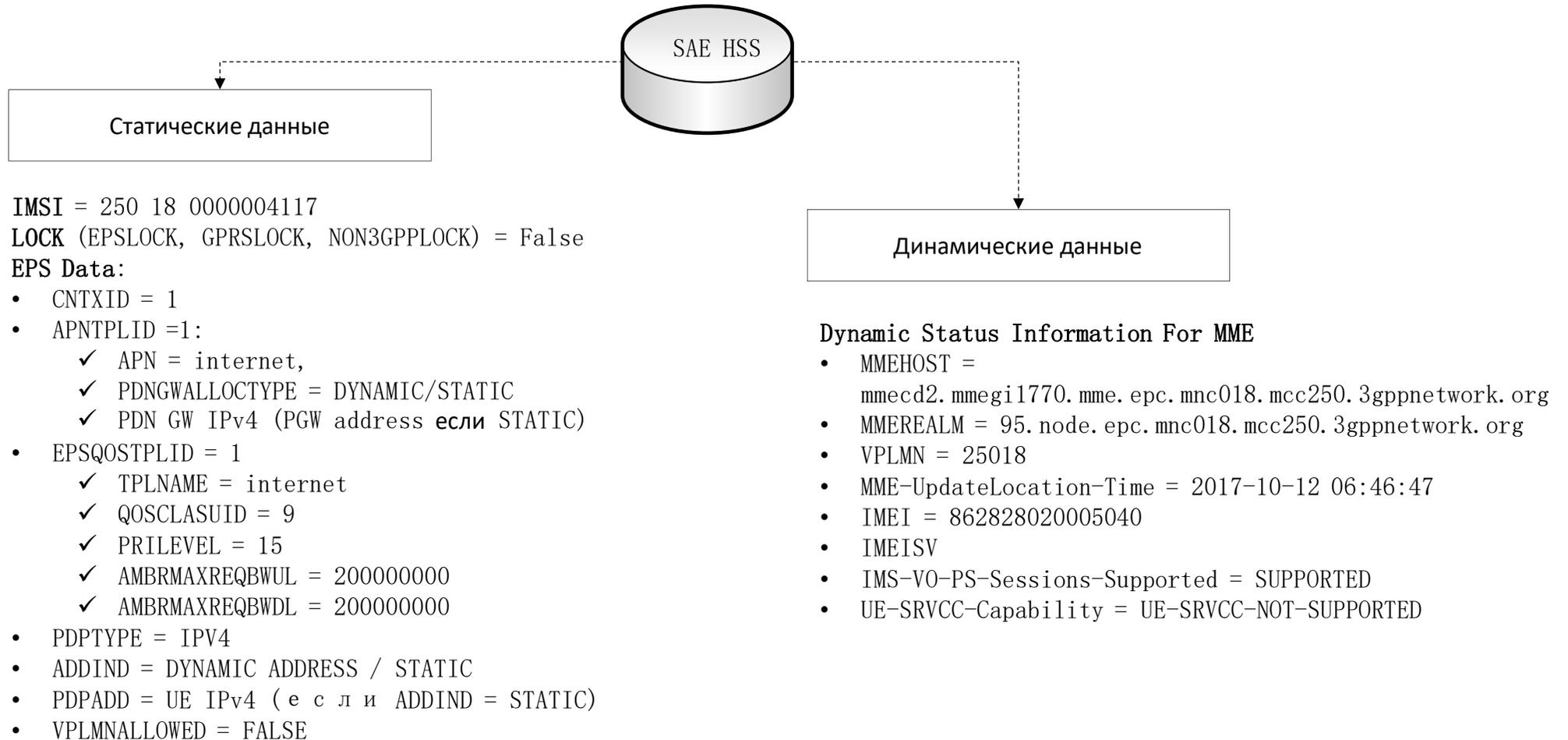
SPR (Subscription Profile Repository) – база данных профилей пользователей (подписок на сетевые сервисы)

PCRF (Policy and Charging Rules Function) – модуль управления сетевыми политиками и тарификацией

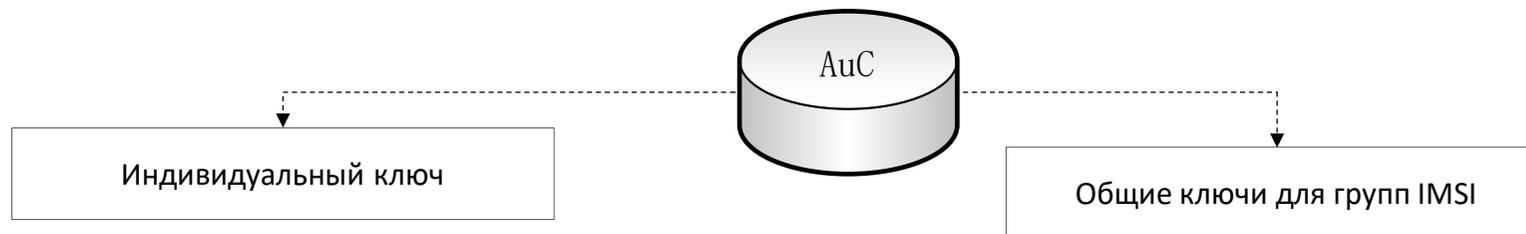


А где же голосовые сервисы при отсутствии домена коммутации каналов?

## 8. Архитектура сети LTE (4G). Домашний сервер абонентских данных HSS.



## 8. Архитектура сети LTE (4G). Центр аутентификации AuC.



**KI** – секретный ключ абонента (копия находится на USIM)

```
%%LST KI: IMSI="250180000004117";%%  
RETCODE = 0 SUCCESS0001:Operation is  
successful
```

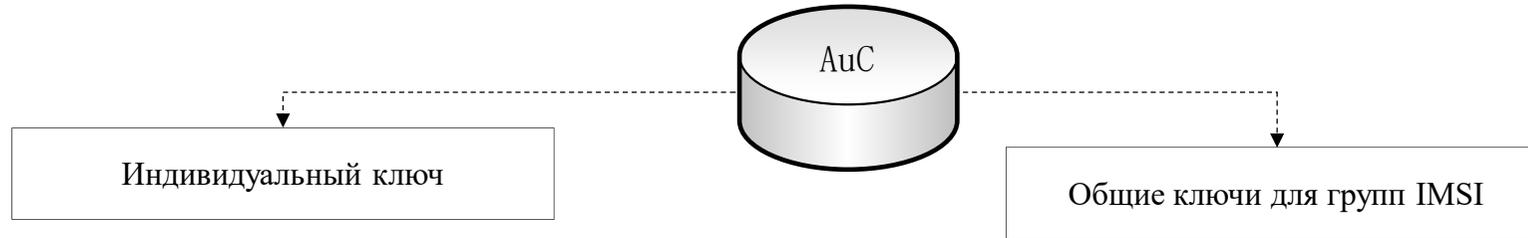
```
HLRSN = 1  
IMSI = 250180000004117  
KIVALUE = A7B897C3B498FE03FFF1E3AF355F29BF  
K4SNO = 1  
CARDTYPE = USIM  
ALG = MILENAGE  
OPSNO = 1  
AMFSNO = 1  
K2SNO = 0
```

Total count = 9

**K4** – секретный ключ, которым шифруется ключ KI. Ключ K4 используется при провиженинге KI в AuC

**OP** – секретный ключ, индивидуальный для производителя USIM. Ключ OP используется в алгоритме MILENAGE

## 8. Архитектура сети LTE (4G). Центр аутентификации AuC.

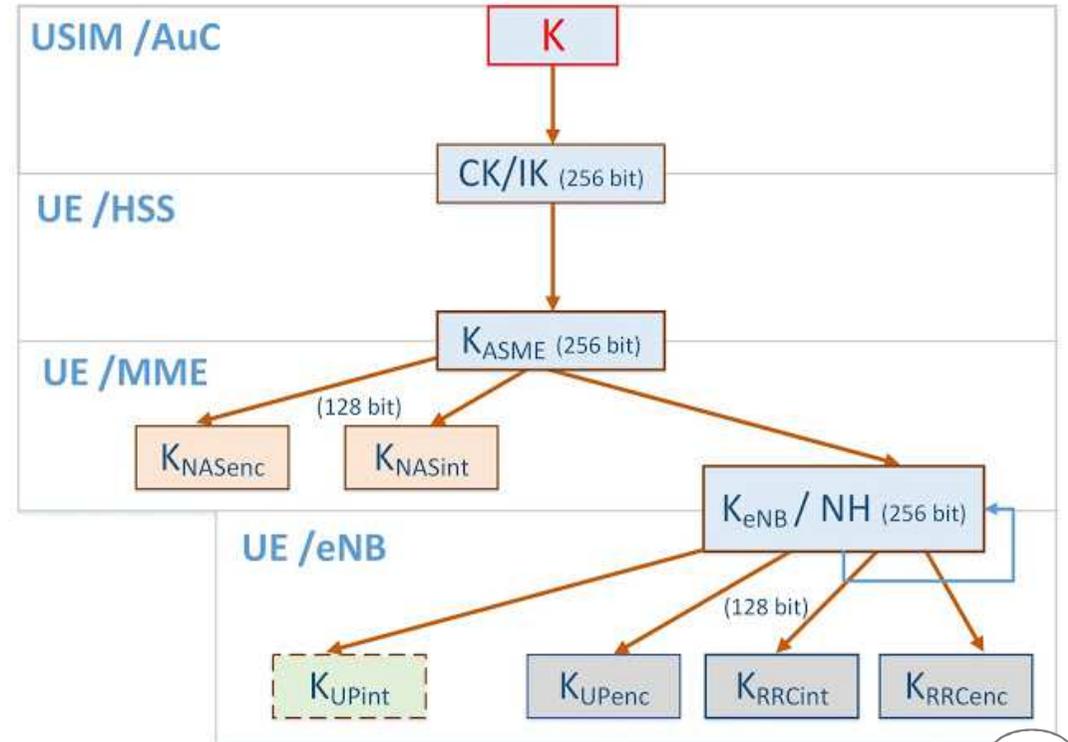


**K** – секретный ключ абонента (копия находится на USIM и AuC)

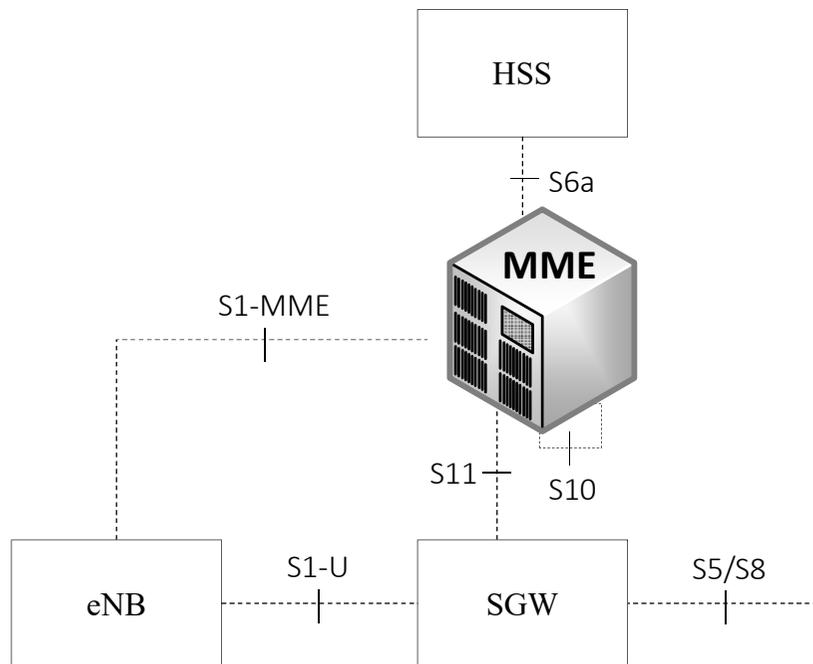
```
%%LST KI: IMSI="250180000004117";%%
RETCODE = 0 SUCCESS0001:Operation is
successful
```

```
HLRSN = 1
IMSI = 250180000004117
KIVALUE = A7B897C3B498FE03FFF1E3AF355F29BF
K4SNO = 1
CARDTYPE = USIM
ALG = MILENAGE
OPSNO = 1
AMFSNO = 1
K2SNO = 0
```

Total count = 9



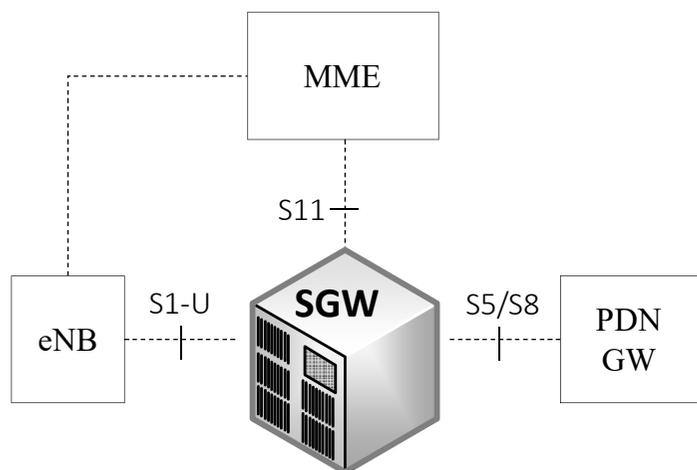
## 8. Архитектура сети LTE (4G). Модуль управления мобильностью MME.



### Основные задачи / процедуры

1. Регистрация UE (attach/detach)
2. Аутентификация и авторизация UE
3. Мобильность
  - ✓ cell reselect (UE в состоянии ECM-IDLE)
  - ✓ TAU (UE в состоянии ECM-IDLE)
  - ✓ HO (UE в состоянии ECM-CONNECTED)
4. Управление абонентским оборудованием по NAS:
  - провиженинг TAL
  - провиженинг time zone в соответствии с TAI
  - настройка таймеров UE
5. Контроль доступности UE в состоянии ECM-IDLE (paging)
6. Выбор PDN GW и SGW при иницировании EPS-сессии в процессе регистрации
7. Выбор MME при S1 HO
8. Взаимодействие с внешними HSS при inbound-роуминге
9. COPM (Lawful Interception)

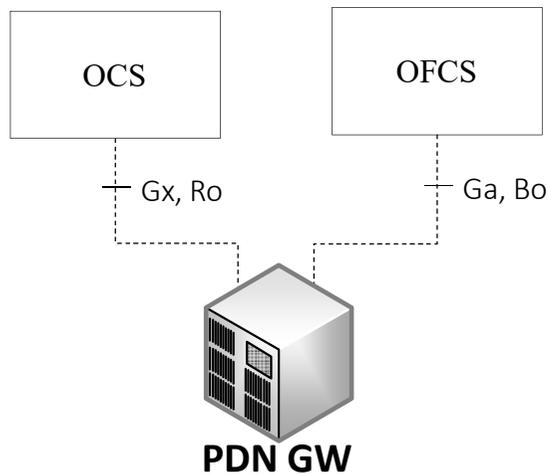
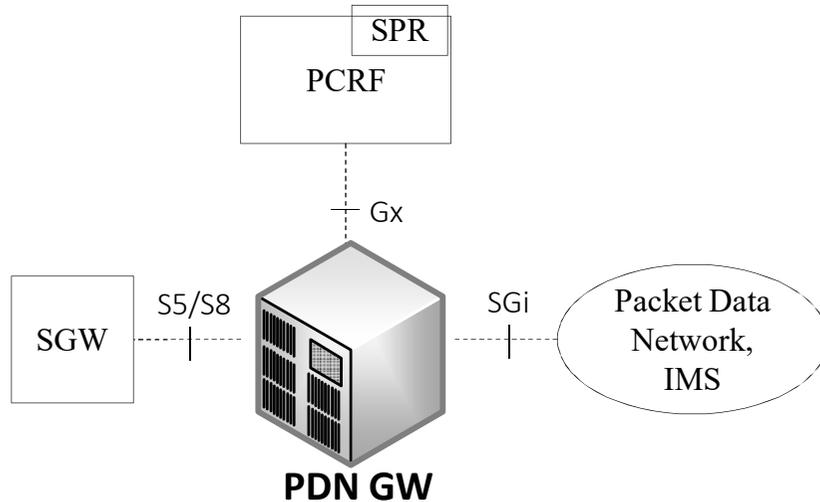
## 8. Архитектура сети LTE (4G). Сервисный шлюз SGW.



### Основные задачи / процедуры

1. Формирование множества GTP-U туннелей передачи данных с eNB
2. Поддержка мобильности UE:
  - ✓ опорная точка мобильности (Mobility Anchor point), обеспечивающая переключение GTP-U туннелей при хендвере со сменой eNB
  - ✓ передачи сообщения "end marker" отдающей базовой станции (source eNB) в фазе завершения хендовера
  - ✓ взаимодействие с опорной сетью GPRS (General Packet Radio Service) по интерфейсу S4
3. Передача и маршрутизация пакетов данных пользователей
4. Маркировка исходящих пакетов данных в части QoS: DiffServ Code Point (DSCP) на основе идентификаторов качества QCI
5. Взаимодействие с GRX сетями при inbound-роуминге
5. COPM (Lawful Interception)

## 8. Архитектура сети LTE (4G). Пакетный шлюз PDN GW.



### Основные задачи / процедуры

1. Взаимодействие с внешними сетями передачи данных
2. Взаимодействие с системами биллинга OCS (онлайн), OFCS (офлайн)
3. Назначение IP-адресов UE (статическое или динамическое DHCPv4/v6)
4. Передача и маршрутизация пакетов данных пользователей
5. Фильтрация пакетов данных на основе deep packet inspection
6. Маркировка исходящих пакетов данных в части QoS: DSCP на основе QCI
7. Применение сетевых политик (PCEF) в отношении трафика данных пользователей (QoS, Redirect, Header-Enrichment, Usage Monitoring, Dedicated Bearer Management и др.)
8. Поддержка мобильности UE:
  - ✓ опорная точка мобильности (Mobility Anchor point), обеспечивающая переключение GTP-U туннелей при хендвере со сменой SGW
  - ✓ передачи сообщения "end marker" отдающему сервисному шлюзу (source SGW) в фазе завершения хендвера
9. Контроль доступа к запрещенным сайтам (Black Listing)
10. COPM (Lawful Interception)

## 9. Варианты предоставления абонентам голосовых сервисов в сети LTE (4G).



Оператор **гарантирует качество** голосового вызова в цепочке E2E.

Голосовой вызов осуществляется в сети GSM/UMTS.

Большое время установления соединений вследствие задержек процедуры трансфера абонента из сети LTE в сеть GSM/UMTS.

Оператор **гарантирует качество** голосового вызова в цепочке E2E.

Не требуется установка специализированного приложения на абонентское устройство.

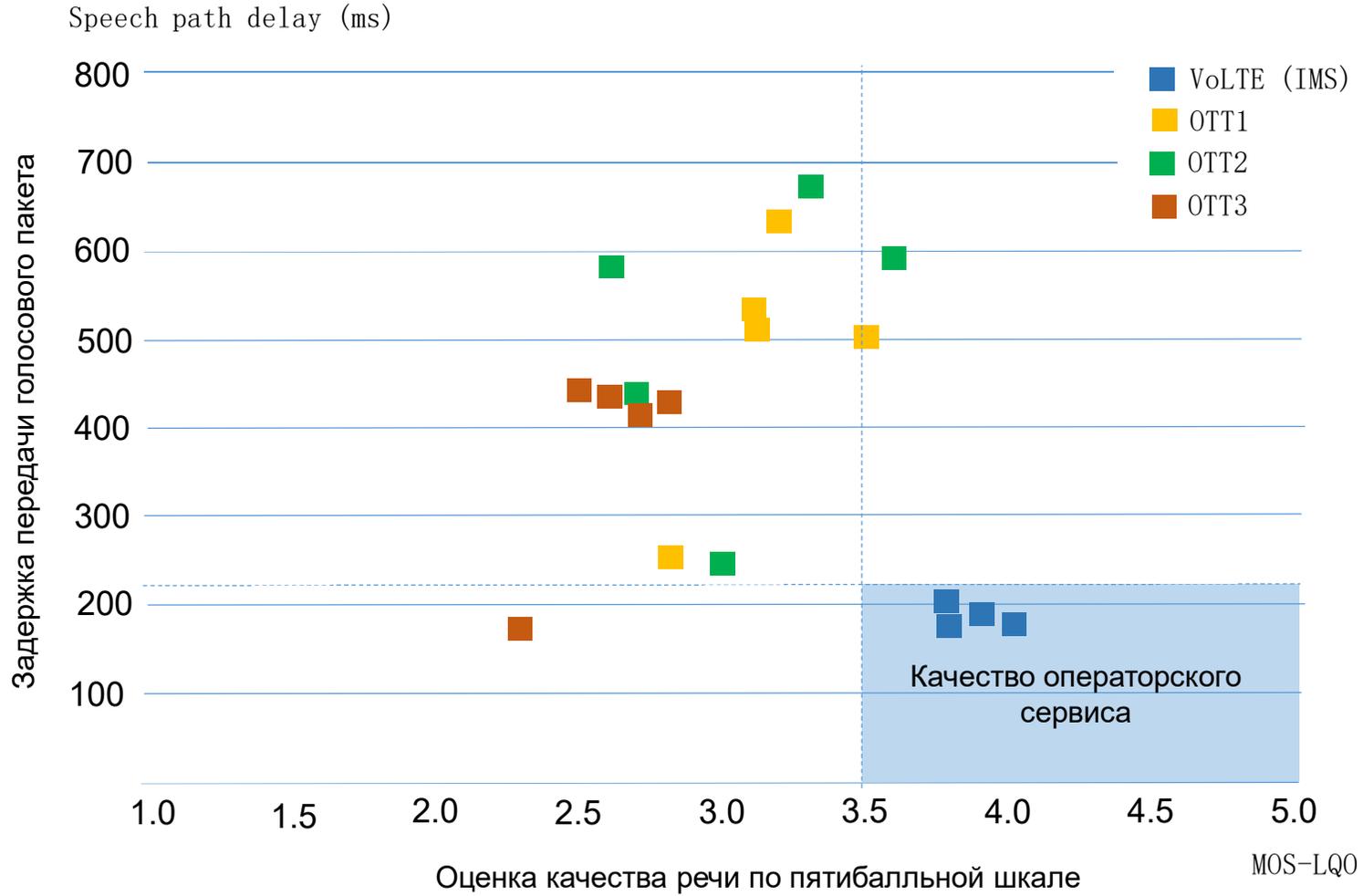
Оператор **не гарантирует качество** голосового вызова в цепочке E2E.

Отсутствует возможность установления голосовых вызовов между абонентами различных OTT приложений.

В РФ официально запрещен доступ к телефонным сетям общего пользования из OTT приложений, отсутствует вызов служб 112.

## 9. Варианты предоставления абонентам голосовых сервисов в LTE (4G). Качество голосовых сервисов

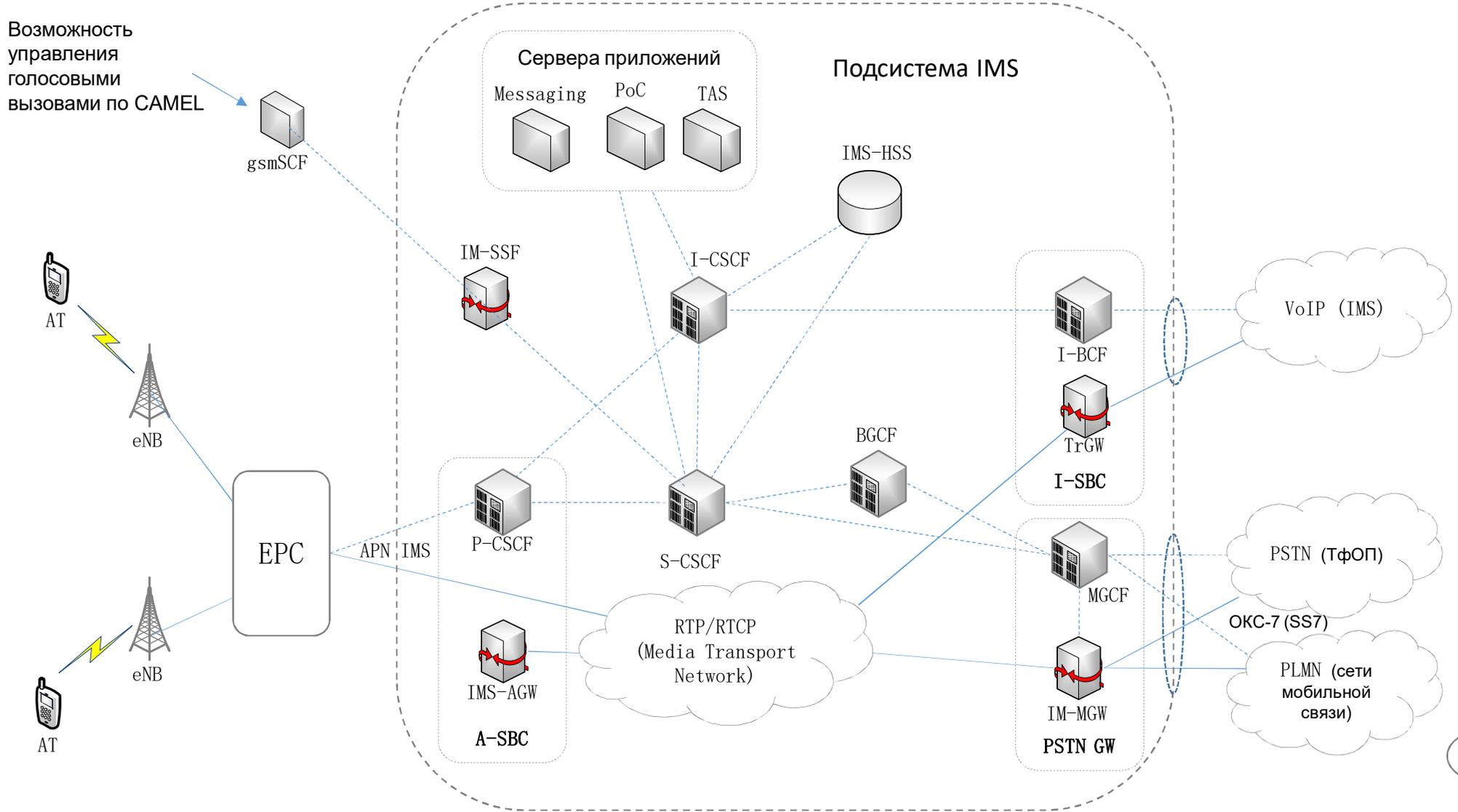
MOS (Mean Opinion Score) – экспертная оценка качество голоса



## 9. Варианты предоставления абонентам голосовых сервисов в LTE (4G). Архитектура подсистемы IMS



# 9. Варианты предоставления абонентам голосовых сервисов в LTE (4G). Архитектура подсистемы IMS



## 9. Варианты предоставления абонентам голосовых сервисов в LTE (4G). Архитектура подсистемы IMS

IMS-HSS (IMS Home Subscriber Server) – база данных абонентов подсистемы IMS

CSCF (Call Session Control Function) – сетевая функция управления сессиями (вызовами) в подсистеме IMS

- P-CSCF (Proxy CSCF) – прокси функция CSCF, выполняет роль точки доступа абонентов к подсистеме IMS и обеспечивает функции безопасности FW. IP-адреса P-CSCF доступны для абонентов (например, посредством утилит ping, traceroute и других)
- S-CSCF (Serving CSCF) – центральная сетевая функция подсистемы IMS, обслуживающая сессию абонентов и обрабатывающая все сообщения протокола SIP, относящиеся к данной сессии
- I-CSCF (Interrogating CSCF) – сетевая функция «посредник», обеспечивающая взаимодействие с другими подсистемами IMS

SBC (Session Border Controller) – пограничный контроллер сессий

- A-SBC (Access SBC) - пограничный контроллер сессий уровня доступа, включает в свой состав прокси функцию P-CSCF для обработки сигнализации и шлюз доступа IMS-AGW (IMS Access Gateway) для обработки медиа трафика
- I-SBC (Interconnect SBC) – пограничный контроллер взаимодействия с внешними VoIP сетями, включает в свой состав транзитный медиа шлюз TrGW и пограничную сетевую функцию обработки сигнализации I-BCF (Interconnect Border Control Function)

PSTN GW – пограничный шлюз взаимодействия с внешними телефонными TDM сетями посредством сигнализации ОКС-7

- IM-MGW (IMS Media Gateway) – медиа шлюз (TDM <-> IP)
- MGCF (Media Gateway Control Function) – сетевая функция управления медиа шлюзом IMS-MGW

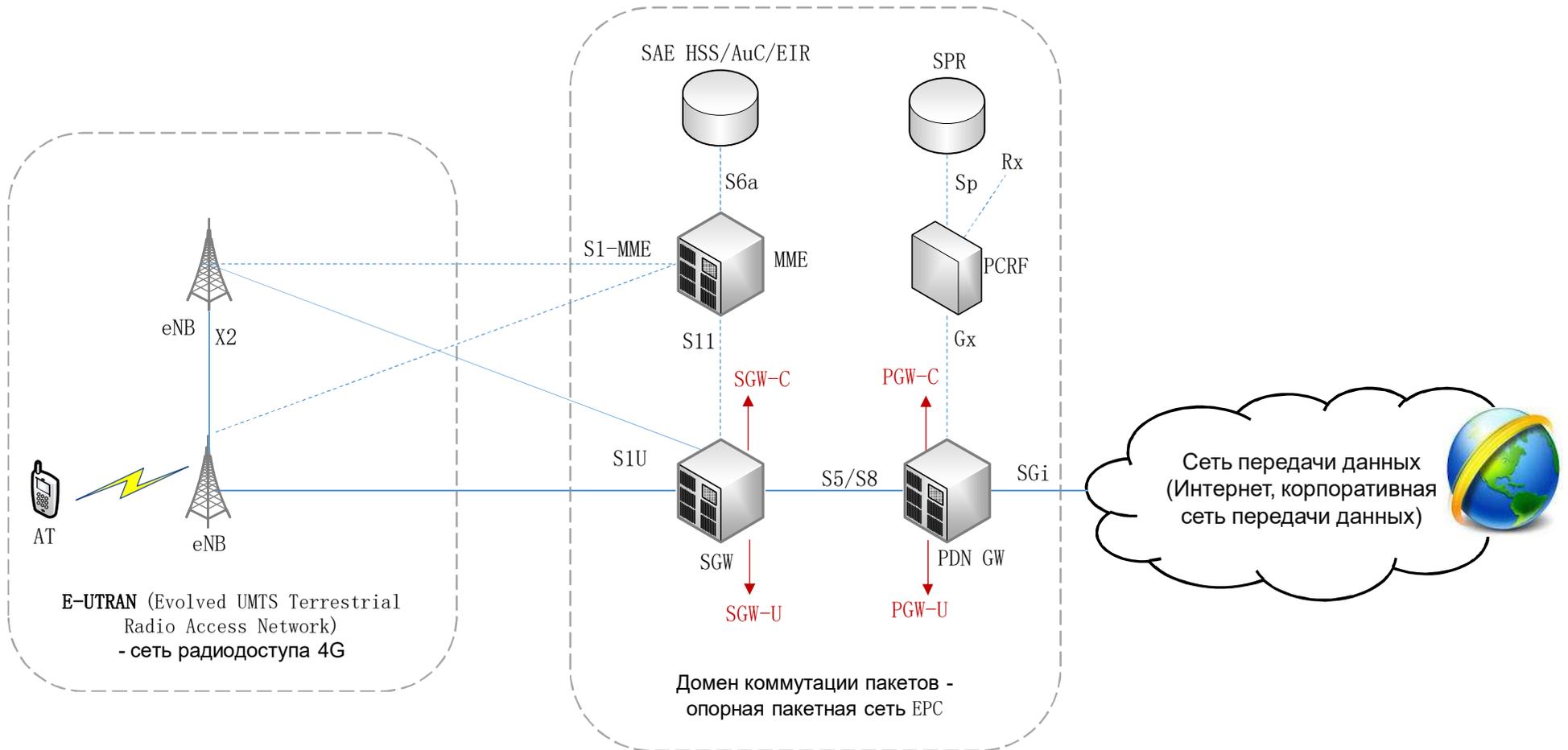
BGCF (Breakout Gateway Control Function) – функция выбора шлюза PSTN GW для взаимодействия с внешней TDM сетью

IM-SSF (IP Multimedia Service Switching Function) – функция взаимодействия подсистемы IMS с платформой CAMEL (конвертер сообщений протоколов SIP <-> CAP)

**Система сигнализации № 7, или ОКС-7** – протокол сигнализации телефонных TDM сетей

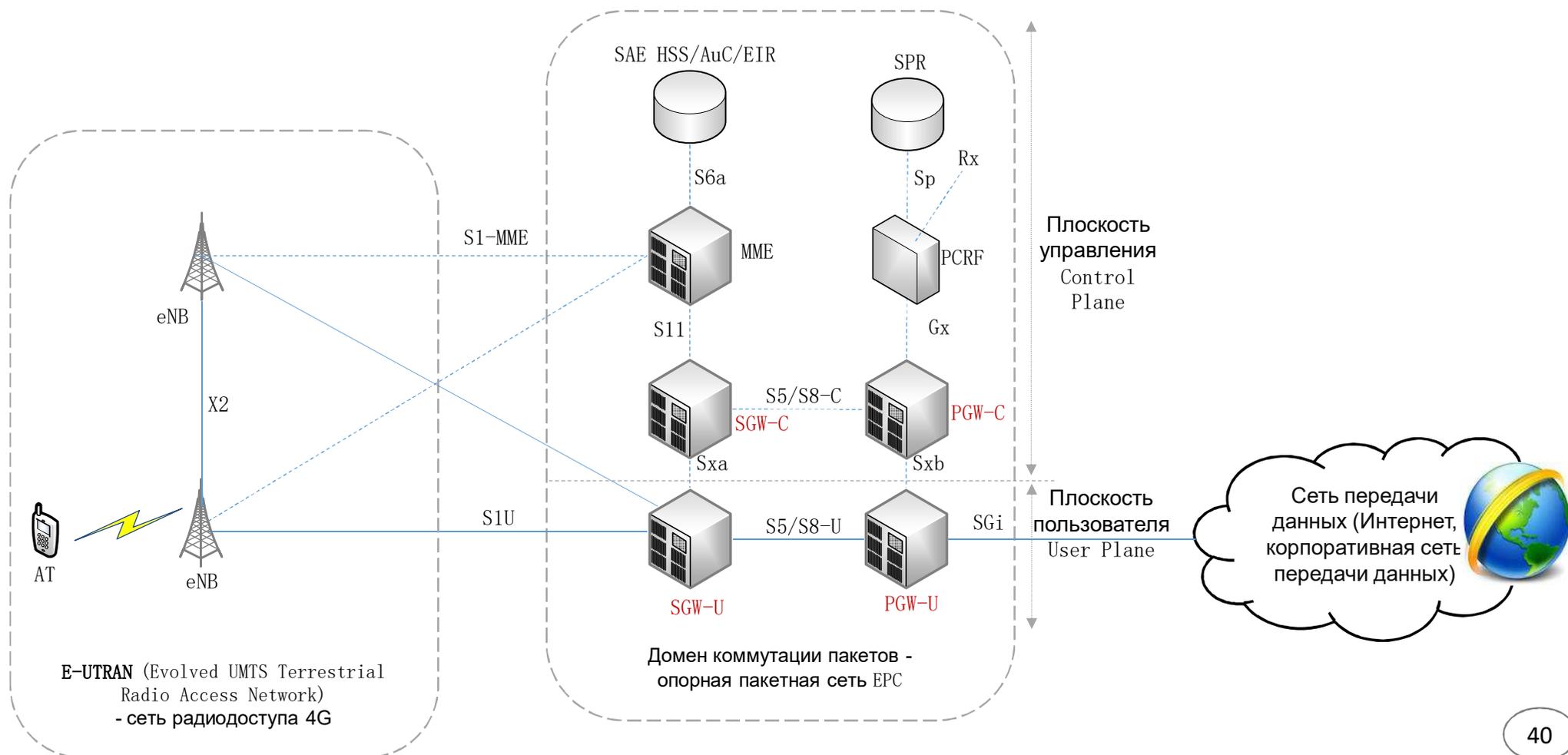
## 10. Эволюция архитектуры сети LTE (4G) в направлении 5G

Архитектура сети 4.5G – это архитектура CUPS: **разделение функционала шлюзов SGW и PDN GW** на функционал управления GTP-туннелями (Control Plane) и на функционал обработки и коммутации пакетов данных (User Plane)



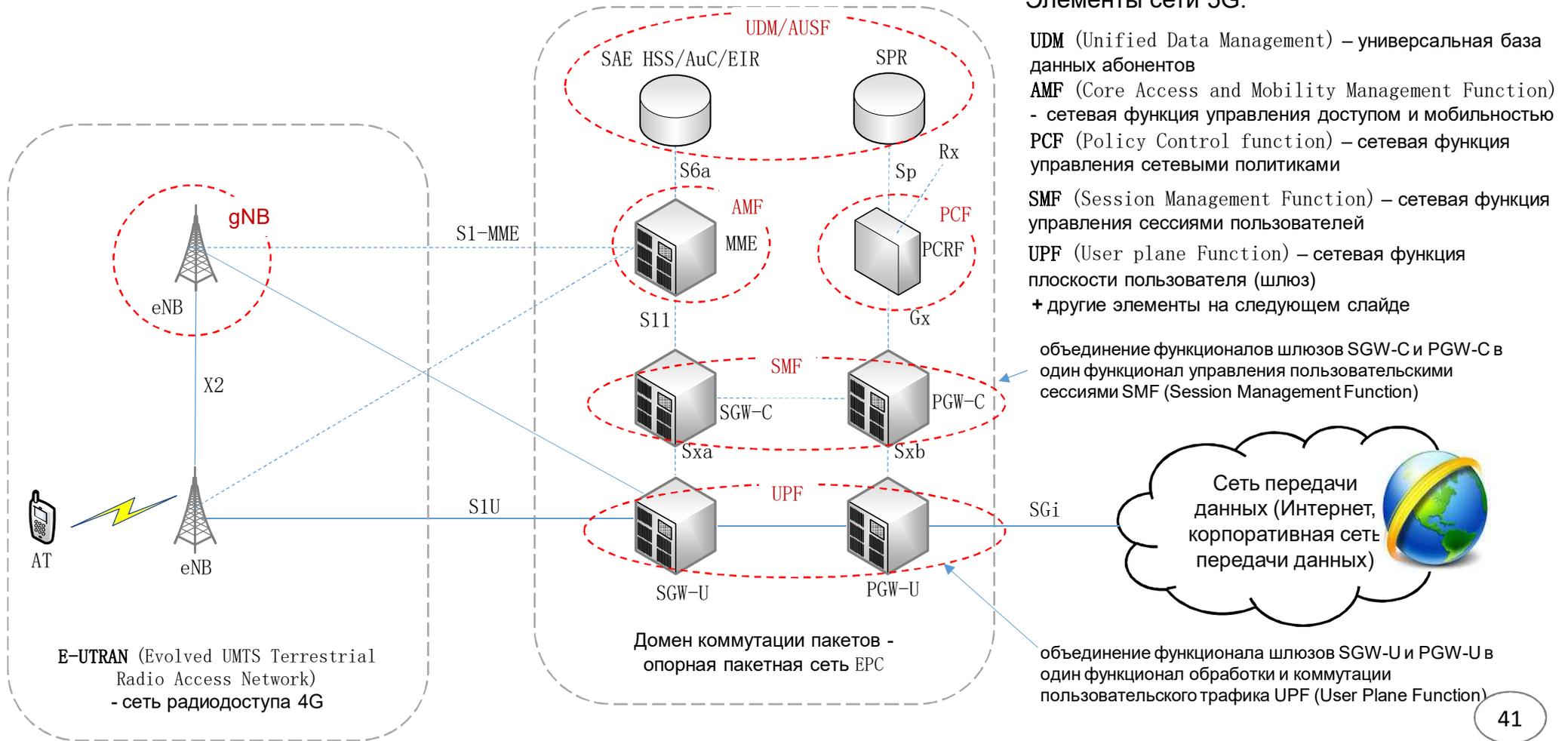
## 10. Эволюция архитектуры сети LTE (4G) в направлении 5G

### Архитектура сети 4.5G (CUPS)

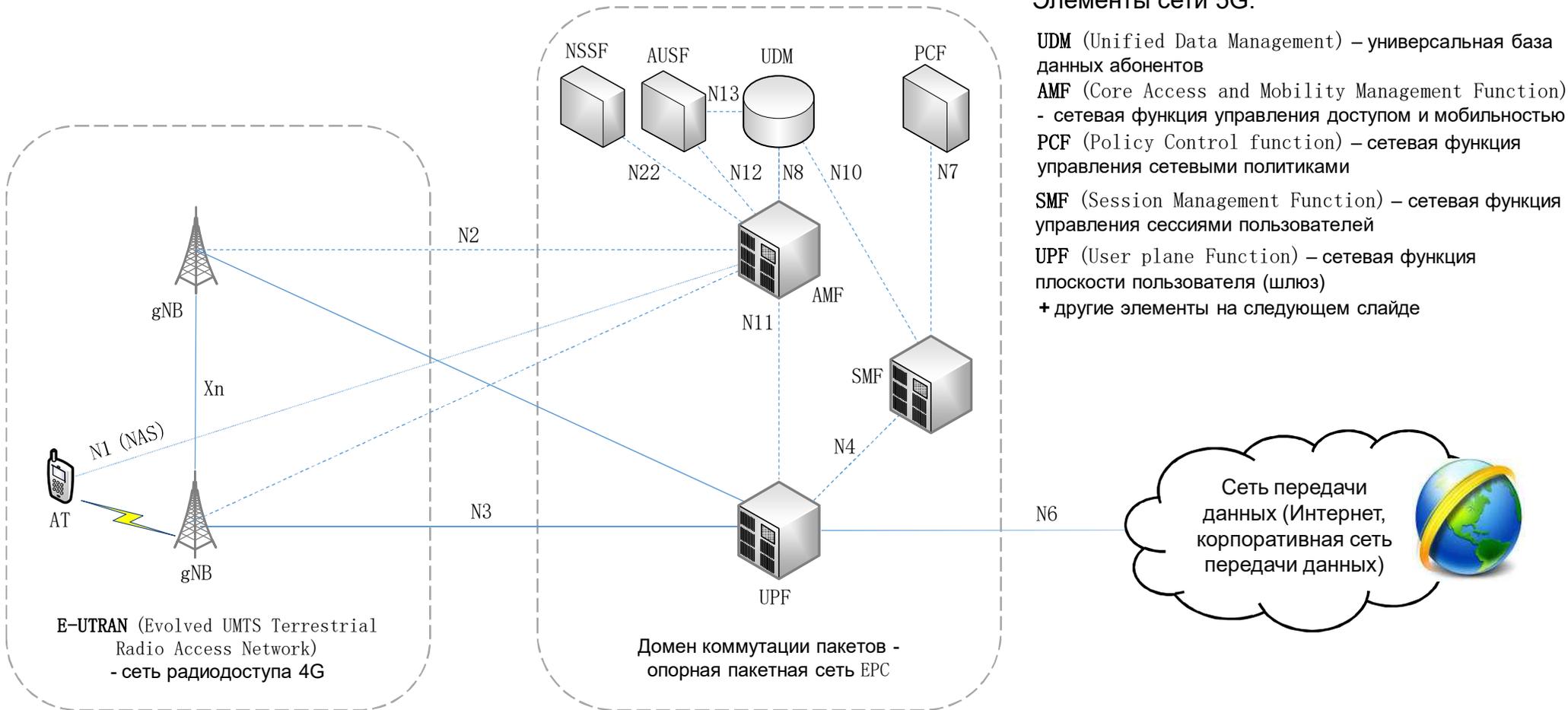


## 10. Эволюция архитектуры сети LTE (4G) в направлении 5G

### Эволюция архитектуры сети 4.5G в направлении 5G



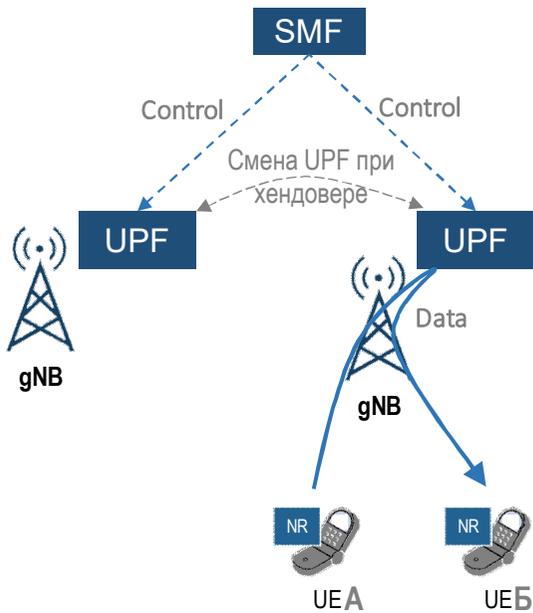
# 11. Архитектура сети 5G



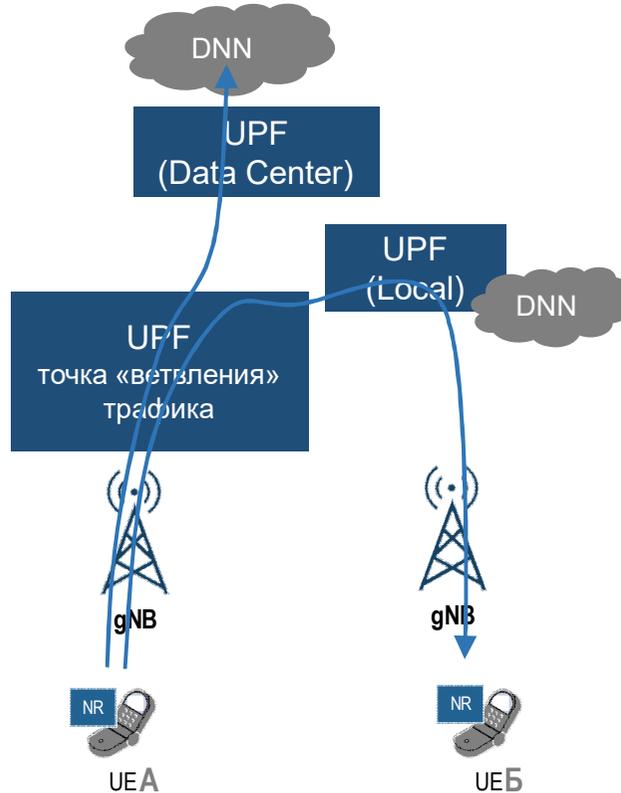
## 11. Архитектура сети 5G. Основные особенности по сравнению с сетями 4G

1. Локализация трафика за счет децентрализации пакетных шлюзов UPF и размещения их ближе к абоненту

2. Возможность смены обслуживающего шлюза UPF при хендвере



3. Возможность назначения нескольких точек доступа к сети DNN и отдельной маршрутизации трафика



4. Расширенные параметры качества обслуживания QoS (добавлены новые типы трафика с задержками E2E до 5 мс)

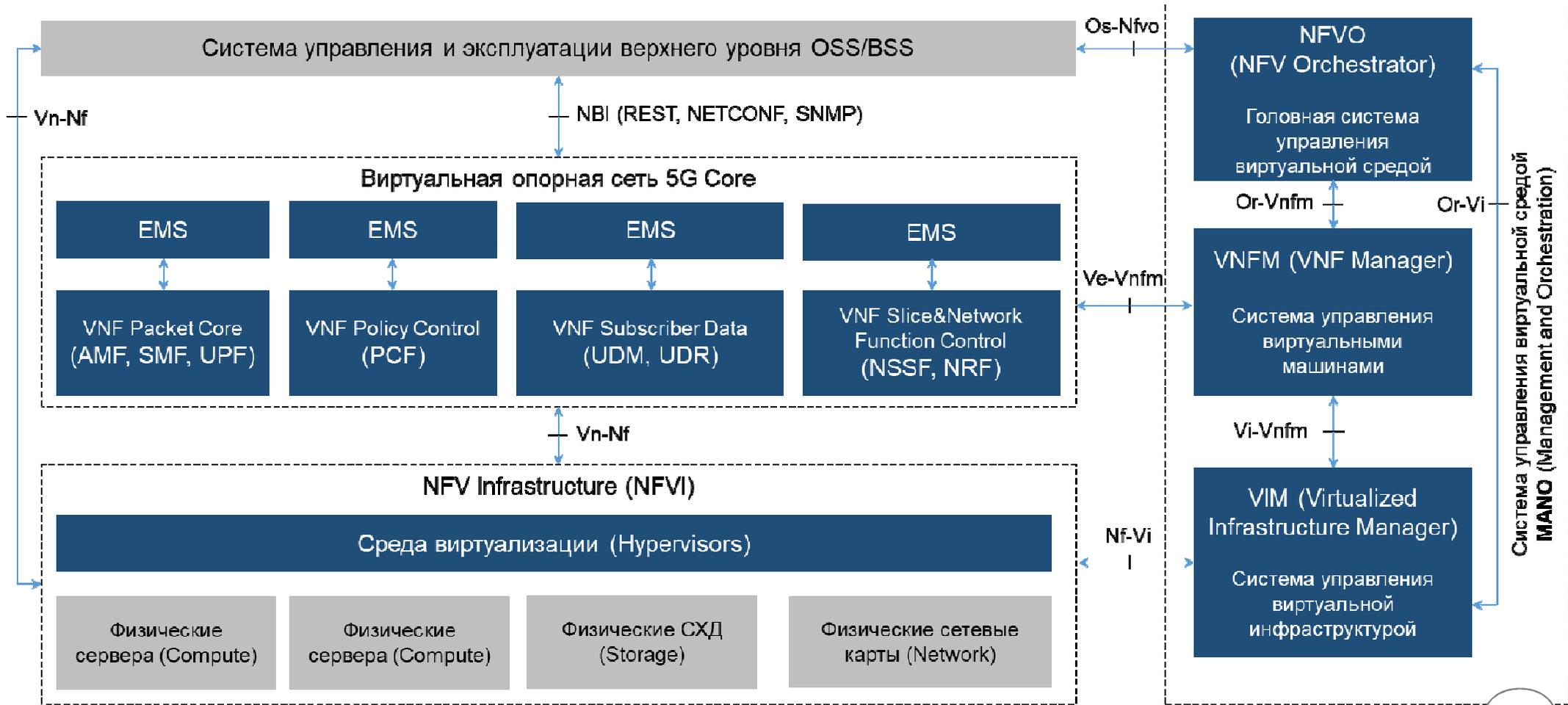
5. Расширены типы абонентских сессий (помимо IPv4, IPv6 добавлен тип сессии Ethernet).

Абонентская сессия типа Ethernet позволяет использовать сети 5G для построения беспроводных транспортных сетей (ниша WiMAX)

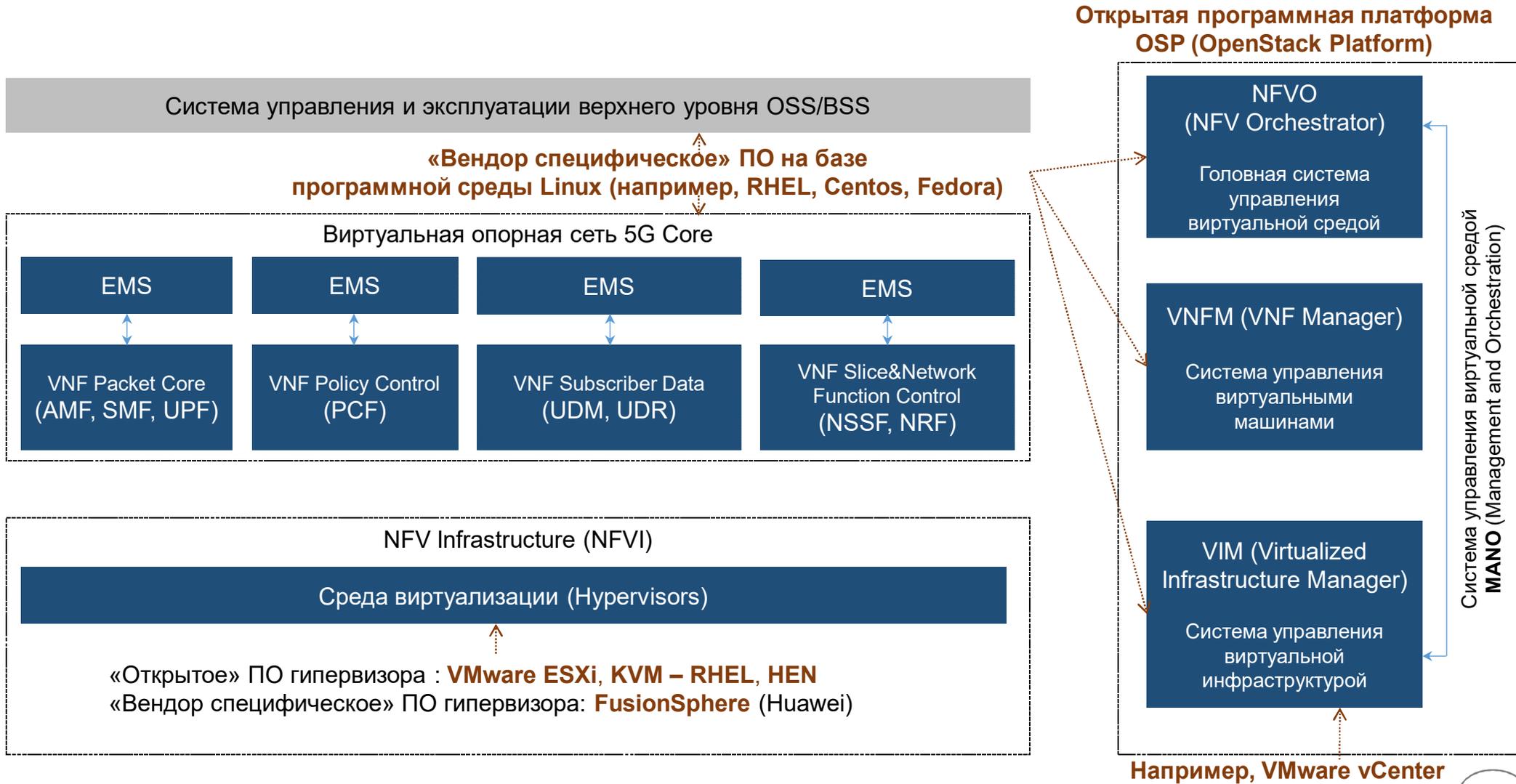
6. Возможность адаптации сетевой архитектуры к требованиям услуг за счет разделения сети на слои (Slices)

7. Виртуализация сетевой инфраструктуры

## 11. Архитектура сети 5G - виртуальная инфраструктура

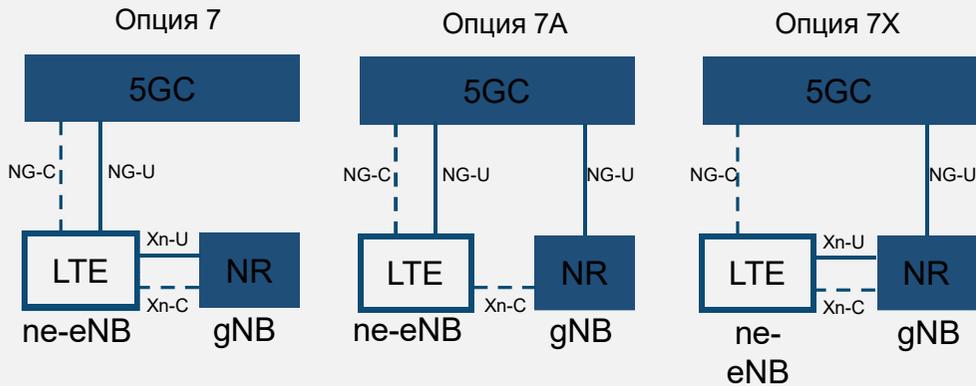
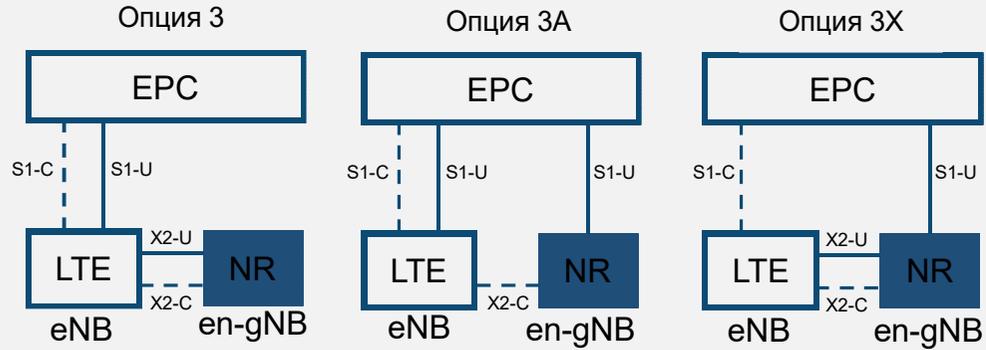


# 11. Архитектура сети 5G - виртуальная инфраструктура

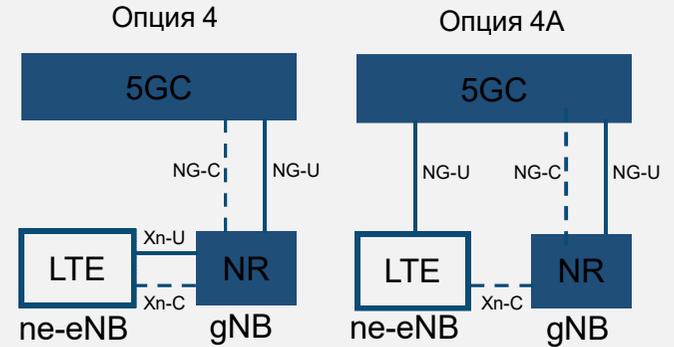


## 12. Варианты построения совмещенных сетей 4G/5G

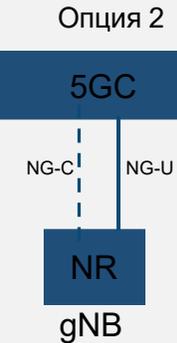
### Опции NSA NR



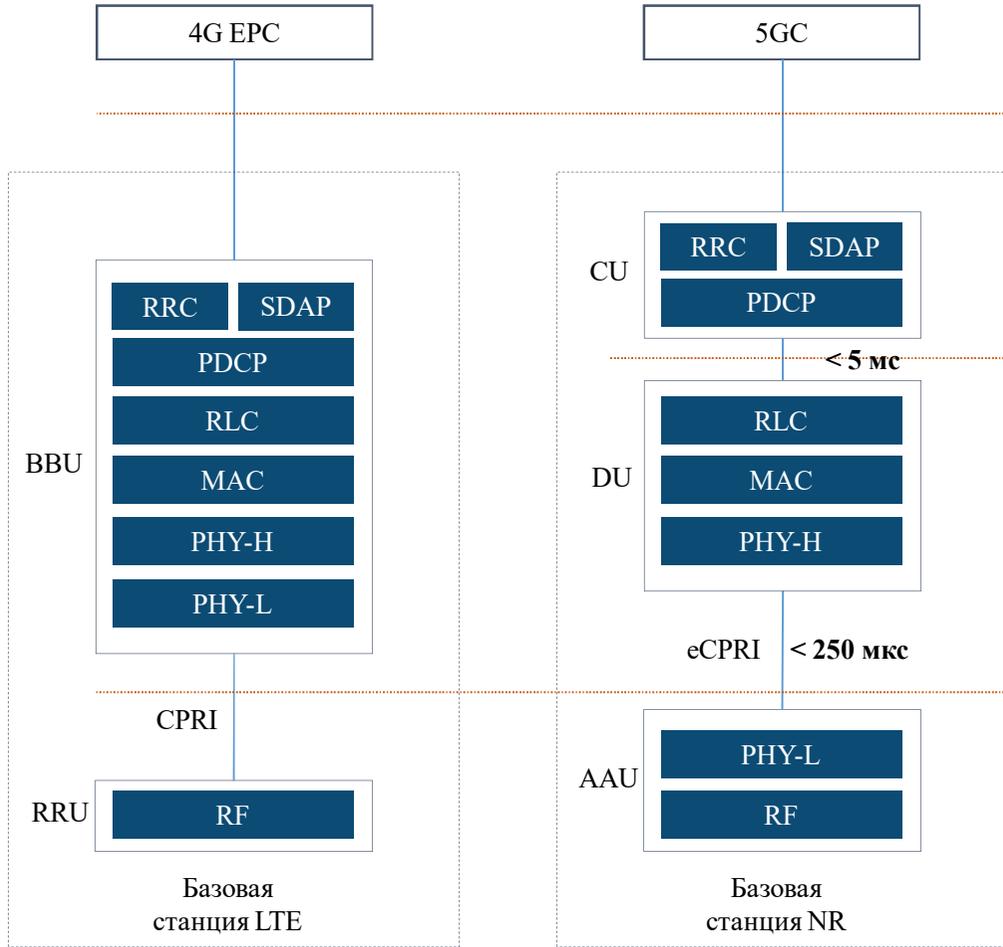
### Опции NSA E-UTRA



### Опции SA NR



### 13. Архитектура базовых станций 4G (eNB), 5G (gNB)



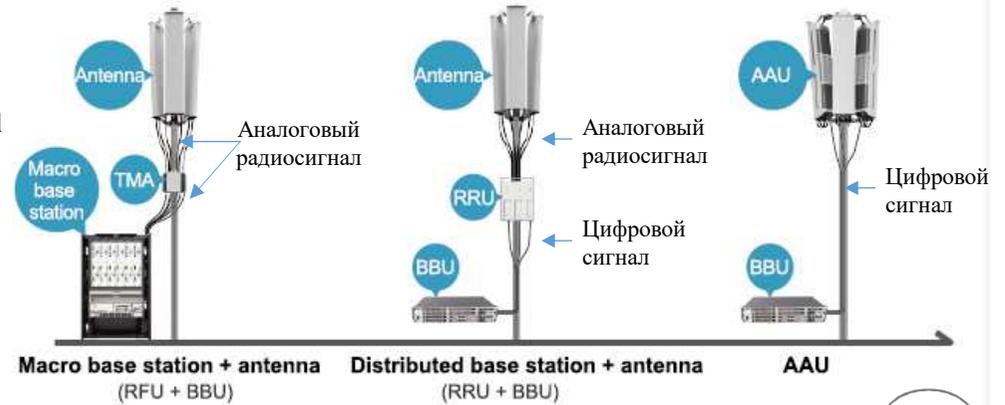
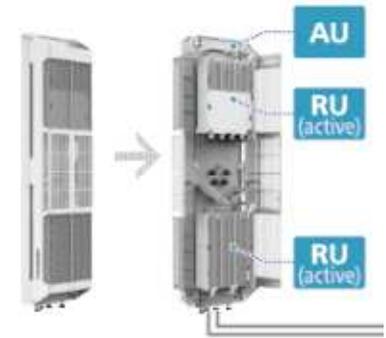
**Backhaul Transport**

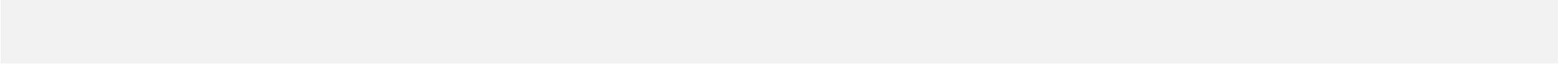
Виртуализация CU  
(Архитектура CloudRAN)

**Midhaul Transport**

Виртуализация CU и DU  
(Архитектура Full CloudRAN)

**Fronthaul Transport**





**Спасибо за внимание!**

**Вопросы?**