ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЯДРА СЕТЕЙ 5G

И.А. Михайлова, *Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, bella300598@mail.ru.*

УДК 004.428.4

Аннотация. Развитие сетей 5G в настоящее время является актуальной темой не только для специалистов в области телекоммуникаций, но и для большинства людей-потребителей продуктов телекоммуникаций. В работе рассмотрены следующие технологии: сервисный интерфейс, сетевая архитектура, поддержка *NSA* и *SA NR*, архитектура аутентификации.

Ключевые слова: *Evolved Packet System*; *NSA*; *SA*; *NR; LTE*; 5*GC*; *CP; UP*.

FEATURES OF CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF THE CORE OF 5G NETWORKS

I.A. Mikhailova, *The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications.*

Annotation. The development of 5G networks is currently a hot topic not only for telecommunications specialists, but also for most people who are consumers of telecommunications products. The paper presents the service interface, network architecture, support for NSA and SA NR, and authentication architecture.

Keywords: Evolved Packet System; *NSA*; *SA*; *NR*; *LTE*; 5*GC*; *CP*; *UP*.

Сети 5-го поколения (5*G*, *New Radio)* – это новое поколение мобильной связи, развивающейся на основе стандартов технологии *LTE*. Начало стандартизации сетей 5*G* начал партнерский проект для стандартизации систем – 3*GPP* (3*-rd Generation Partnership Project*), где были определены планы по подготовке спецификации [1].

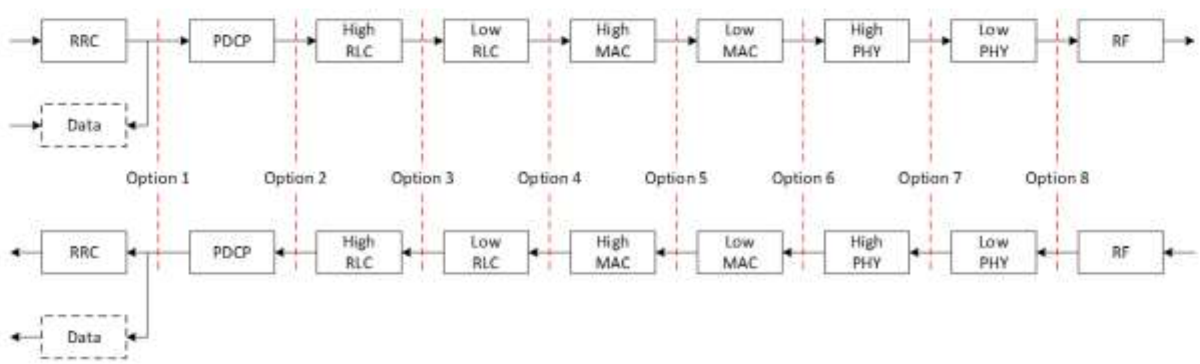

Рисунок 1

3*GPP* (рекомендация *TR* 38.801 *V*14.0.0) определяет восемь возможных опций разделения функций между *CU* (*Central Unit*) и *DU* (*Distributed Unit*). При этом опция 8 соответствует схеме построения распределенной базовой станции. Например: *Option* 8/8a – может использоваться как промежуточный этап к архитектуре 5*G/LTE* от *Option* 3/3a к 4/4a (рис. 1) [1].

Технология 5*G* является развитием телекоммуникационных сетей, и запуск и поддержка сети *NSA* (*Non-Standalone*) дает операторам возможности для тестирования рынка и разработки новых предложений для потребителей. Запуск *NSA* это лишь промежуточная версия, приходящая в преддверии автономного 5*G*.

При построении *NSA* используется ядро сети предыдущего поколения, но базовая станция должна поддерживать оба поколения: и 4*G*, и 5*G*. *NSA*-сети выступают в роли временного решения, которое не позволяет в полной мере реализовать потенциал, заложенный в 5*G*.

При использовании *NSA* абонентские устройства 5*G* подключаются к *EPC*, а также поддерживают *option* 3 («*NSA NR*»), а доступ и сигнализация *EPC-NAS* проходят через *LTE*. *NR* используется только для пользовательского трафика *UP*.

При этом формат *SA* целиком принадлежит 5*G*.

При использовании *SA* абонентские устройства 5*G* подключаются к 5*GC*, а также поддерживают *option* 2-4-5-7 (рис. 2), а доступ и сигнализация 5*G-NAS* через *NR* или *LTE* в 5*GC*. *NR* используется как для трафика сигнализации *CP*, так и для пользовательского трафика *UP* [2].

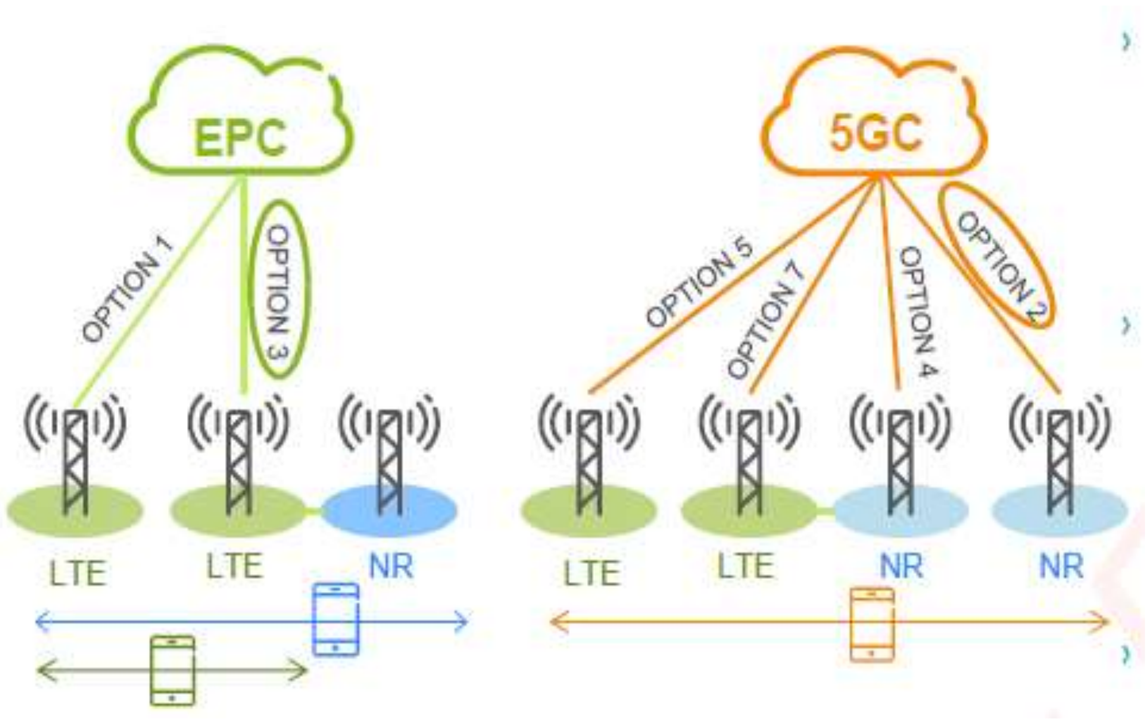

Рисунок 2

В концепции безопасности сетей 5*G* включены такие процедуры как: аутентификация пользователя со стороны сети; аутентификация сети со стороны пользователя, согласование криптографических ключей между сетью и пользовательским терминалом; шифрование и контроль целостности сигнального трафика на уровне *RRC* (между *UE* и *gNb*); шифрование и контроль целостности сигнального трафика на уровне *NAS* (между *UE* и *AMF*); шифрование и контроль целостности пользовательского трафика (между *UE* и *gNb*); защита идентификатора пользователя; защита интерфейсов между различными элементами сети в соответствии с концепцией сетевого домена безопасности, описанного в рекомендации 3*GPP TS* 33.310, в т.ч. защита интерфейсов *N*2, *N*3 и *Xn*; изоляция различных слоев архитектуры *Network slicing* и определение для каждого слоя собственных уровней безопасности; защита сигнального и пользовательского трафика между *eNb* сети 4*G-LTE* и *gNb* сети 5*G* в рамках «*Option* 3» сценария миграции 4*G* к 5*G*, включая согласование криптографических ключей, шифрование и контроль целостности; аутентификация пользователя и защита трафика на уровне конечных сервисов (*IMS*, *V*2*X* – *Vehicle to Everything*, *IoT*) (рис. 3) [3].

В 5*GC*/5*GS* общая архитектура доступа обеспечивает единую структуру аутентификации на основе *EAP* (*Extensible Authentication Protocol*), что сильно отличается от разделенной архитектуры доступа с разными методами *AKA* (*Authentication and Key Agreement*) в сети 4*G*. *В* 5*G* становится возможным провести аутентификацию *UE* без *SIM*-карты (например, *EAP-TLS*) (*Transport Layer Security*), что было невозможным в сети 4*G*. Но, в любом случае *AUSF* (*Authentication Server Function*) контролирует выполнение аутентификации. Также для сетей *LTE EPS-AKA* делегировано *VPLMN*, а *HSS*/*AuC* генерирует *AKA AV*. Для сетей 5-го поколения *HPLMN* (то есть *AUSF*) контролирует выполнение аутентификации, у *UDM* та же роль, что и *HSS* (*EPC*) [3].

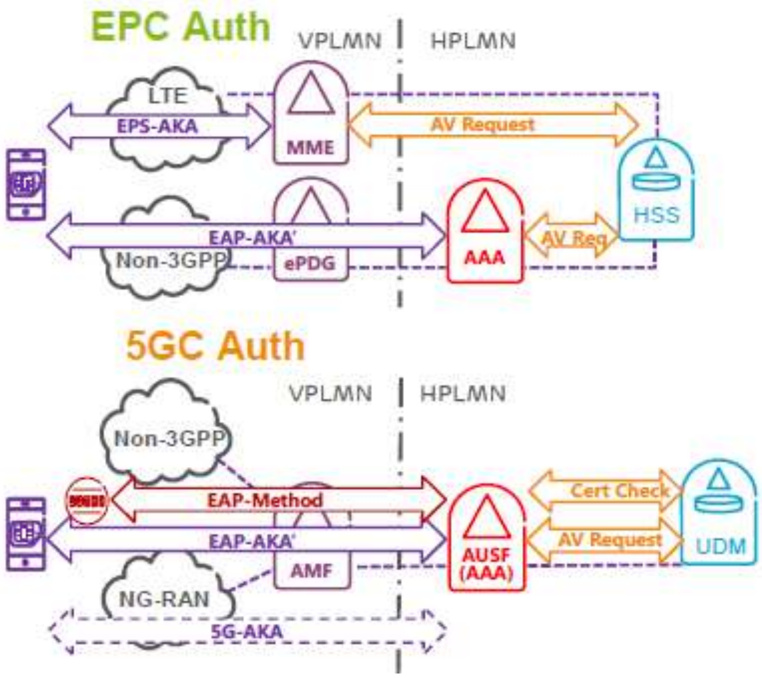

Рисунок 3

Слайсинг сети (*Network Slicing*) – это технология, которая позволяет разделить физическую сеть на множество виртуальных сквозных – *E*2*E* (*end-to-end*) сетей, слоев, каждый из которых логически изолирован, включая устройство, доступ, транспорт и базовую сеть и предназначена для разных видов услуг с разными характеристиками и требованиями. Каждый сетевой слой содержит функции уровня управления, функции уровня пользовательского трафика и сеть радиодоступа. Для каждого сегмента сети гарантированы выделенные ресурсы (например, ресурсы для виртуализированных серверов, *QoS* и т. д.). Поскольку слайсы изолированы друг от друга, ошибка или сбой, произошедшие в одном слайсе, не влияют на обмен данными в других слайсах [4].

3*GPP* определяет три стандартных сетевых слоя: *eMBB, URLLC, IoT.* Для каждого слоя определены свои требования, также приоритет ее использования. Так для *Enhanced Mobile Broadband* (сверх-широкополосный доступ) предусмотрен такой трафик как: Видео 4*K*/8*K UHD*, голограмма, *AR*/*VR*, пользователи глобальной сети интернет. А к требованиям такой сети относится высокая емкость канала связи. Для сетевого слоя *Ultra Reliable Low Latency Communication* использование трафика предоставляется для: управления движением, автономного вождения транспортных средств, автоматизированной фабрики, интеллектуальной сети, телемедицины. К такой сети предъявляют требования ультра-надежности и низких задержек. Сетевой слой *Internet of Things* (интернет вещей) – это использование миллионов устройств, передающих малые объемы данных. Примером такой сети являются сенсорные сети (телеметрия, сельское хозяйство, строительство, логистика, умный город, умный дом и т.д.) [5].

На рис. 4 представлены *Network Slicing* сети 5*G*, иллюстрированные в *NGMN* [6].

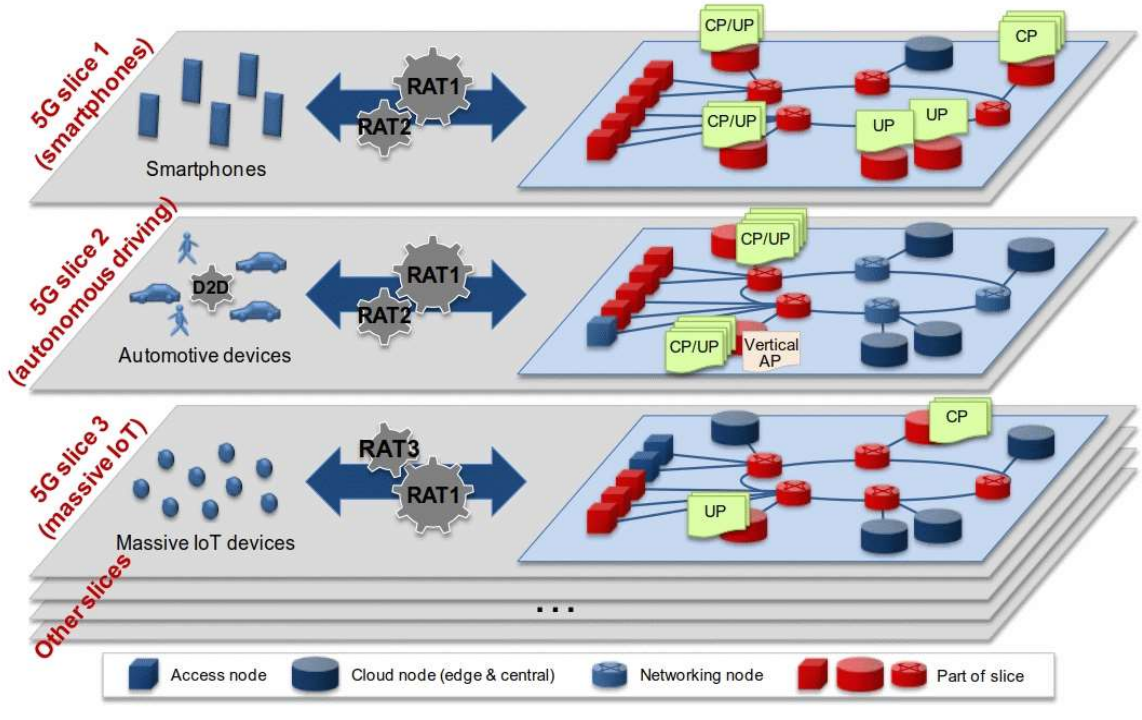

Рисунок 4

Каждая телекоммуникационная компания может определять дополнительные для себя сетевые слои, например, выделенный сетевой слой для критических коммуникаций, для внутрикорпоративной связи и т.д.

Для реализации сетевых сегментов обязательным условием является виртуализация сетевых функций (*Network Functions Virtualization – NFV*). Главная идея *NFV* заключается в установке программного обеспечения на виртуальных машинах (*Virtual Machine – VM*), развернутых на виртуализированном коммерческом сервере (*COTS; commercial off-shelf*). Программное обеспечение должно отвечать за работу с сетью (то есть *MME, S/P-GW* и *PCRF* в *Packet Core* и *DU* в *RAN*). Таким образом, *RAN* работает как *edge cloud* (пограничное облако), а *Core* – как *core cloud* (основное облако). Связь между виртуальными машинами, расположенными в пограничном и базовом облаках, обеспечивается с помощью *SDN*.

Операторы могут настраивать сегменты сети по своему усмотрению. Объем ресурсов *RAN*, выделяемых на каждый слайс сети зависит от требований *QoS*, объема трафика, качества радиоканала и т.д. Пользовательский терминал (*UE*) может обслуживаться одновременно одним или несколькими сетевыми слоями. При этом модуль *AMF* является общим для всех слоев, а вот остальные элементы (в т.ч. *SMF, UPF*) могут различаться. Кроме того, при наличии нескольких технологий радиодоступа (*Radio access technology – RAT*), также можно выделить ресурсы *RAN* для слайса сети из одной или нескольких *RAT*. Для повышения гибкости в зависимости от сетевого трафика, например, возможно динамическое включение/выключение конкретной *RAT* в слайсе, что снижает энергопотребление слайса [7].

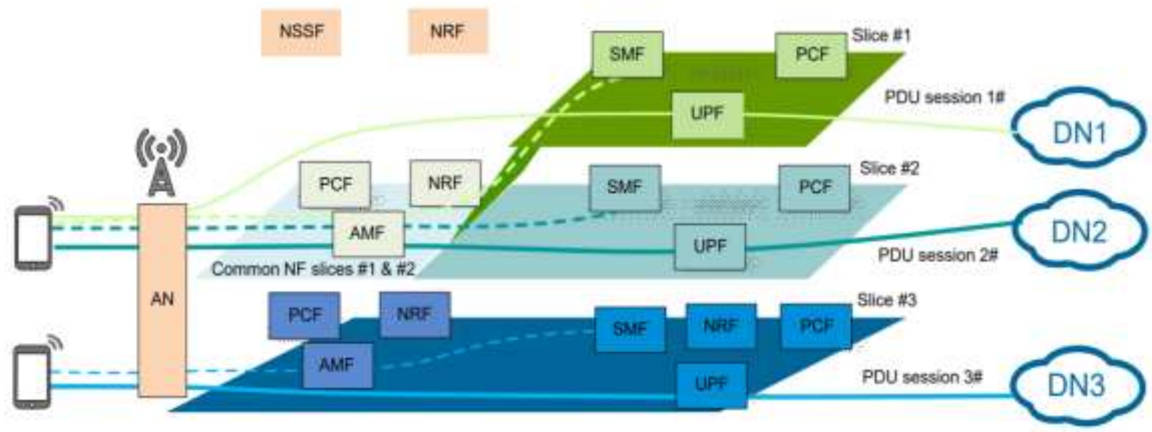

Рисунок 5

UE может одновременно получать обслуживание от множества сетевых сегментов. Благодаря специфике мобильной системы всегда есть один *AMF* и одно сигнальное соединение для всех секторов *UE*. Например, срезы № 1 и № 2 сети предназначены для различных применений *IoT* с одним и тем же пользовательским оборудованием, использующим общие *NF* (рис. 5). А сетевой сегмент № 3 может быть – для смартфонов.

NG-RAN выбирает *RAN*-часть сетевого сегмента на основе вспомогательной информации, предоставляемой *UE* или базовой сетью 5*G*. При регистрации в сети пользовательского терминала в рамках процедуры установления *RRC* соединения *UE* передает список запрашиваемых сетевых слоев *S-NSSAI.* На первом шаге, на основании полученных от *UE* данных списка сетевых слоев, содержащихся в *UDM* профиле пользователя и местоположения абонента осуществляется выбор элемента *AMF*, который может обеспечить необходимый набор услуг. Выбор *AMF* осуществляется с привлечением модуля выбора сетевого слоя (*NSSF*) и репозитория сетевых функций (*NRF*).

NG-RAN обеспечивает дифференцированную обработку трафика для сетевых сегментов за счет дифференцированного планирования радиоресурсов и применения определенных конфигураций *L*1/*L*2.

NG-RAN применяет политики управления радиоресурсами, специфичные для каждого слайса. Узел *NG-RAN* может поддерживать несколько сегментов сети. Ресурсы могут быть зарезервированы исключительно для определенных сегментов с учетом выполнения *SLA*, например, для предотвращения ухудшения качества обслуживания в одном слайсе из-за нехватки ресурсов в другом слайсе.

Некоторые сегменты могут быть развернуты только в части зоны покрытия сети, в зависимости от потребностей в обслуживании. Независимо от количества одновременно используемых слайсов существует одно сигнальное соединение с сетью, и сеть направляет *UE* к ресурсам, связанным с слайсами [8].

В *Rel.*17 3*GPP* предусматривает возможность развития стандарта 5*G* с интеграцией систем спутниковой связи.

Возможности спутниковых технологий:

- Скорость на БС 200 Мбит/с и более.
- Встроенное ускорение *TCP/GTP* поддерживает скорости *LTE* для обеспечения качества близкого к наземным каналам.
- Реализованы уникальные алгоритмы обеспечения стабильности каналов.
- Применение *TDMA* сокращает используемый спутниковый сегмент.

В концепции использования спутниковых технологий рассматривается возможность интеграции со всеми стандартами сетей мобильной и фиксированной связи, что дает возможность для предоставления надежных и бесперебойных услуг связи 5*G* по доступной цене. Спутниковый сегмент 5*G* позволяет расширить возможность услуг, таких как рост мультимедийного трафика, межмашинные связи, повсеместное покрытие.

У спутниковой технологии есть и свои минусы, связанные с увеличением скорости передачи пакетов данных, этому способствует большое расстояние от абонентского терминала до базовой станции *gNB* (*next-generation base transceiver station* или *gNodeB*).

Способы использования спутниковых технологий в сетях мобильной сотовой связи стандарта 5*G*.

Способ 1: Абонентское устройство использует спутниковую сеть 5*G* при отсутствии радиопокрытия наземных сетей. Оператор сотовой связи заключает договор о роуминге с оператором спутниковой сети 5*G*.

Способ 2: Операторы мобильной сотовой связи используют спутниковую сеть 5*G* для увеличения радиоресурса с целью обеспечения глобальности доступа к контенту.

Способ 3: Радиовидимость для абонентских устройств с низким энергопотреблением посредством использования низкоорбитальных спутников.

Способ 4: Использование спутниковой сети, когда полностью или в большей степени повреждены наземные сети 5*G*. Услуги предоставляются ограниченным набором.

Способ 5: На территории объединенного радиопокрытия (спутникового и наземного) применяется оптимальная маршрутизация трафика. Это позволяет организовать маршрут от требований *QI* (показателя качества 5*G*) и уровня текущей загрузки сетей.

Способ 6: Применение спутниковой сети связи стандарта 5*G* может использоваться как самостоятельная на нейтральной территории при использовании сети доступа в различных странах.

Способ 7: Глобальная низкоорбитальная сеть спутниковой связи является наложенной сетью наземной сети передачи данных. Топология каналов определяется исходя из минимизации времени доставки пакетов данных.

Способ 8: Взаимодействие массовых абонентских устройств со спутниковой сетью связи предполагается через промежуточные (релейные) абонентские устройства (*Relay UE*), поддерживающие спутниковый интерфейс.

Способ 9: Спутниковая сеть используется для организации транспортных каналов *Midhaul, Backhaul* между подвижными либо стационарными базовыми станциями *gNB* и опорной сетью 5*GC*.

Оператор спутниковой сети предоставляет услуги передачи данных, широковещательной передачи видео и других видов контента, интернета вещей на глобальной территории, а также предоставление услуг передачи данных в кризисных ситуациях.

Заключение

- Ядро 5*G* является фундаментальной частью сети 5*G* для улучшения работы конечных пользователей, упрощения операций, повышения гибкости обслуживания и улучшения сетевых возможностей.
- 5*G* означает переход к программному обеспечению и облачным открытым платформам.
- Основная сеть 5*G* строится на разделении плоскости управления и пользователя, введенном в выпуске 14 3*GPP*.
- 5*GC* обеспечивает более общую архитектуру для всех доступов и меньшее использование ресурсов при всех доступах в одном *AMF*.
- Архитектура аутентификации 5*GC* позволяет использовать общую структуру аутентификации, которая позволяет произвести аутентификацию *UE* без *SIM*-карты.
- Сетевая архитектура 5*GC* обеспечивает гибкость и расширяемость, не влияя на стандарты, также обеспечивает простую интеграцию со сторонним программным обеспечением, поддерживаемым архитектурой на основе сервисов.

Литература

1. 3GPP TR 38.801 Study on New Radio Access Technology; Radio Access Architecture and Interfaces [Электронный ресурс]. https://www.3gpp.org/

2. 3GPP TS 33.310 NG-RAN; Architecture description [Электронный ресурс]. https://www.3gpp.org/

3. 5G Core Concepts Ericsson AB 2018 | LZT1382059 R2A

4. E2E Network Slicing - Key 5G technology. 27.11.15 [Электронный ресурс] // URL: https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=blog&no=8325

5. 3GPP TS 28.801; Study on management and orchestration of network slicing for next generation network [Электронный ресурс]. https://www.3gpp.org/

6. Next generation mobile networks https://www.ngmn.org/ [Электронный ресурс].

7. Ksentini A., Nikaein N. Toward enforcing network slicing on RAN: Flexibility and resources abstraction // IEEE Communications Magazine, 2017. – Т. 55. – № 6. – С. 102-108.

8. 3GPP Standards Progress on 5G Network Slicing https://www.gsma.com/futurenetworks/wp content/uploads/2018/07/1_1_3GPP-Standard-Progress-on-5G-Network-Slicing_3GPP-SA2-Chair.pdf [Электронный ресурс].