ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «**МЕТОДИ СТВОРЕННЯ БЕЗДРОТОВОЇ ПАКЕТНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ 5G**»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Олександр ЗАХАРЧУК
(підпис) Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти гр. ТСДМ-62
Олександр ЗАХАРЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: д.т.н., проф. Віктор ЗАЇКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Науковий ступень,
вчене звання
Резензент: _____
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Науковий ступень
вчене звання

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж_____
Ступінь вищої освіти магістр_____
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка_____
Освітньо-професійна програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТСМ

_____ Віктор ЗАЇКА

«____» _____2025 р.

_

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Захарчуку Олександру Леонідовичу

1. Тема роботи: “Методи створення бездротової пакетної мережі на базі технології 5G”,

керівник роботи Віктор ЗАЇКА, д.т.н., професор
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 30.10.2025 року № 467

2. Строк подання кваліфікаційної роботи:

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Системи безпроводового зв’язку.
   2. Види модуляцій і кодування.
   3. Енергетична і частотна ефективність різних видів модуляцій.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
   1. Системи безпроводового зв’язку.
   2. Дослідження впливу модуляцій та кодування сигналу на ефективність безпроводових систем.

3. Вплив застосування канального кодування на підвищення ефективності безпроводових систем.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: презентація на ____слайдах.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	03.11.2025	Викон.
2.	Аналіз переходу мобільного зв’язку до 5G	12.11.2025	Викон.
3.	Послуги на базі 5G	17.11.2025	Викон.
4.	Методика створення масштабованої мережі	21.11.2025	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	08.12.2025	Викон.
6.	Розробка презентації	22.12.2025	Викон.

Здобувач вищої освіти Олександр ЗАХАРЧУК

(підпис) (Ім’я,ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи Віктор ЗАЇКА

(підпис) (Ім’я,ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 75 стор., 37 рис., 4 табл., 4 джерел.

Мета роботи – дослідження комерційного переходу з врахуванням неприривності сервісу надання послуг з vEPC (LTE мережа) до 5G Core

Об'єкт дослідження – 5G Core.

Предмет дослідження – створення масштабованої пакетної мережі на базі технології 5G.

Короткий зміст роботи: У роботі розглянутий метод створення масштабованої пакетної мережі на базі технології 5G. Розглянута архітектура 5G Core, та визначені основні характеристики та технології на яких базується 5G Core. Були проаналізовані опції переходу від мережі LTE до 5G Core, та визначені переваги надання послуг, як бізнесові так і технічні, за допомогою інноваційної мережі. На основі досліджень проведених в роботі, був сформований метод розрахунку комерційного переходу для надання послуг передечі данних.

5G CORE, LTE, vEPC, ПЕРЕДАЧА ДАННИХ, ПОСЛУГИ НА БАЗІ 5G

ABSTRACT

Text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 75 pages, 37 figures, 4 tables, 4 sources.

The purpose of the work - is to study the commercial transition taking into account the continuity of the service provision from vEPC (LTE network) to 5G Core

Object of research - is 5G Core.

Subject of research - is the creation of a scalable packet network based on 5G technology.

Summary of the work: The work considers the method of creating a scalable packet network based on 5G technology. The architecture of 5G Core is considered, and the main characteristics and technologies on which 5G Core is based are determined. The options for transition from the LTE network to 5G Core are analyzed, and the advantages of providing services, both business and technical, using an innovative network are determined. Based on the research conducted in the work, a method for calculating the commercial transition for providing data transmission services was formulated.

KEYWORDS: 5G CORE, LTE, vEPC, DATA TRANSMISSION, 5G-BASED SERVICES

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ....8
ВСТУП....14
1 АНАЛІЗ ПЕРЕХОДУ МОБІЛЬНОГО ЗВ`ЯЗКУ ДО 5G ТЕХНОЛОГІЇ....16
1.1 Високорівнева архітектура....16
1.1.1 Архітектура 5G NSA EPC (подвійне підключення)....16
1.1.2 Архітекура 5G ядра....17
1.2 Зв'язок між RAN та 5G Core....21
1.3 Протоколи....32
1.4 Взаємодія NEs у 5G Core....33
1.5 5G роумінг....35
1.5.1 Local Breakout Scenario....35
1.5.2 Home Routing....35
1.5.3 Взаємодія 5G Core з EPC у роумінгу....36
1.5.4 Взаємодія 5G Core з EPC....36
1.6 5G Core процедури....38
1.6.1 5G Core Handover Procedure до EPC....38
1.6.2 EPC Handover Procedure до 5G Core....39
1.6.3 5G Core TAU за допомогою EPC....40
1.6.4 Голосовий сервіс з 5G Core....41
1.6.5 Fallback до EPC для голосового обслуговування....41
1.6.6 EPC fallback для екстрених дзвінків за допомогою IMS....44
1.7 Віртуалізація у 5G Core....45
1.8 Network Function Virtualization та котейнери....46
2 ПОСЛУГИ НА БАЗІ 5G ТЕХНОЛОГІІ....48
2.1 Ultra-Reliable Low Latency communication, URLLC....49
2.2 QoS стандартизація....50
2.3 Extreme Mobile Broadband, eMBB....56
2.4 Massive Machine-Type Communications, mMTC....57

3 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ МАСШТАБОВАНОЇ ПАКЕТНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ 5G 62
3.1 Загальне положення 62
3.2 Методика розрахунку основних ємнісних і кількісних показників пакетної комутаційної підсистеми Evolved Packet Core 65
3.2.1 Розрахунок абонентської ємності SGSN/MME/S-GW 65
3.2.2 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсу Gn/S5 для SGSN/GGSN/S-GW/P-GW і інтерфейсу SGi 67
3.2.3 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсів Gb/Iu/S1 SGSN/MME/ S-GW…. 68
3.2.4 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсу Gp/S8 70
3.2.5 Розрахунок ємності вузла SGSN/MME/S-GW/GGSN/P-GW за кількістю пакетних сесій (PDP ctx/EPS bearer) 71
3.2.6 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсу Gx/Gy для GGSN/P-GW 72
3.2.7 Розрахунок ємності ресурсів віртуалізації. 73
3.3 Результат розрахунку основних показників Evolved Packet Core 74
3.4 Закінчення розрахунку 74
ВИСНОВКИ 75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 75
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ……..……...77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

MEC (Multi-access Edge Computing) – Багатодоступні обчислювальні машини;

AMF (Access and Mobility Management Function) – Функція управління доступом та мобільністю;

NF (Network Function) – Функція мережі;

MME (Mobility Management Entity) – Суб'єкт управління мобільністю;

RAN (Radio Access Network) – Мережа радіодоступу;

CP (Control Plane) – Сигнальний трафік;

LI (Lawful Interception) – Законне перехоплення;

UE (User Equipment) – Обладнання користувача;

SMS (Short Message Service) – Служба коротких повідомлень;

SMF (Session Management Function) – Функція управління сесіями;

SGW-C (Serving Gateway Control plane) – Сигнальный трафік обслуговуючого шлюза;

PGW-C (Packet Data Network Gateway Control plane) – Сигнальний трафік шлюза мережі пакетних даних;

IP (Internet Protocol) – Інтернет протокол;

PCF (Policy and Control function) – Політика та функція контролю;

QoS (Quality of Service) – Якість обслуговування;

UPF (User Plane Function) – Функція абонентського трафіку;

SGW-U (Serving Gateway User plane) – Абонентський трафік обслуговуючого шлюза;

PGW-U (Packet Data Network Gateway User plane) – Абонентський трафік шлюза мережі пакетних даних;

PCRF (Policy and Charging Rules Function) – Функція правил політики і тарифікації;

UDR (User Data Repository) – Сховище даних користувача;

NRF (Network Repository Function) – Функція мережевого сховища;

NSSF (Network Slice Selection Function) – Функція вибору мережевого слайсу;

NEF (Network Exposure Function) – Функція впливу мережі;

UDM (Unified Data Management) – Уніфіковане управління даними;

HSS (Home Subscriber Server) – Сервер абонентських даних мережі;

SUPI (Subscription Permanent Identifier) – Постійний ідентифікатор абонента;

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) – Міжнародна ідентифікація мобільного абонента;

AUSF (Authentication Server Function) – Сервер аутентифікації

CHF (Charging Function) – Функція тарифікації;

SEPP (Security Edge Protection Proxy) – Захисний проксі сервер;

BSF (Binding Support Function) – Функція підтримки зв'язування;

AF (Application Function) – Програмна функція;

N3IWF (Non-3GPP Interworking Function) – Функція взаємодії без 3GPP;

SMSF (SMS Function) – Функція SMS;

UCMF (UE radio Capability Management Function) – Функція управління радіо можливостями UE;

(R)AN ((Radio) Access Network) – Радіо мережа доступу;

NWDAF (Network Data Analytics Function) – Функція аналізу мережевих даних;

TNGF (Trusted Non-3GPP Gateway Function) – Довірена функція шлюзу, що не є 3GPP;

TNAP (Trusted Non-3GPP Access Point) – Довірена точка доступу, що не стандартизована 3GPP;

W-AGW (Wireline Access Gateway Function) – Функція шлюзового доступу;

NR (New Radio) – Нове радіо;

gNB gNodeB (NR Base Station) – Базова станція нового радіо;

E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) – Еволюціонуваний універсальний наземний радіодоступ;

NGCN (NextGen Coders Network) – Нове покоління ядра пакетної мережі;

GPRS (General Packet Radio Service) – 2G покоління мережі;

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – 3G покоління мережі;

LTE (Long-Term Evolution) – 4G покоління мережі;

EPC (Evolved Packet Core) – Ядро пакетної мережі;

EPS (Evolved Packet System) – Пакетна мережа стандарту LTE;

eNB (eNodeB) – Базова станція мережі стандарту LTE;

NSA (non-standalone) – Неавтономний стандарт 5G;

PDN (Packet Data Network) – Інтернет;

NE (Network Element) – Мережевий вузол;

PDU (Packet Data Unit) – Узагальнена назва фрагмента даних на різних рівнях моделі OSI;

OSI (The Open Systems Interconnection model) – Абстрактна мережева модель для комунікацій і розробки мережевих протоколів;

5GC (5G Core) – 5G ядро;

VPLMN (Visitor Public Land Mobile Network) – Роумінгова мережа;

HPLMN (Home Public Land Mobile Network) – Домашня мережа;

DEA (Diameter Edge Agent) – Проксі-агент для сигнального трафіку з мереж інших операторів;

SW (Software) – програмне забезпечення;

TAU (Tracking Area Update) – оновлення області відстеження;

PC (Packet Core) – пакетне ядро;

CN (Core Network) – пакетна мережа;

NG-RAN (NewGen Radio Access Network) – Нове покоління мережі радіодоступу;

HW (Hardware) – обладнання;

VM (Virtual Machine) – віртуальна машина;

BM (Bare Metal) – дослівно «голий метал». Термін, що описує системи віртуалізації з гіпервізорами (тобто без операційної системи);

IoT (Internet of Thinks) – інтернет речей;

eMBB (Extreme Mobile Broadband) – надширокосмуговий мобільний зв'язок;

mMTC (Massive Machine-Type Communications) – масовий міжмашинний зв'язок;

URLLC (Ultra-Reliable Low Latency communication) – наднадійніший міжмашинний зв'язок з низькими затримками;

SAU (Simultaneously Attached Users) – Абонент, зареєстрований в базі даних SGSN/S-GW/MME;

PDP (Packet Data Protocol) – протокол передачі данних;

ВСТУП

Сучасні технології, такі як ігри, віртуальна реальність, автомобільна промисловість, безпілотники, відео високої роздільної здатності та Інтернет речей, вимагають швидкого доступу до Інтернету, низької затримки та якості обслуговування (QoS). Ці вимоги до послуг визначають майбутні потреби в телекомунікаціях.

Разом з новими технологіями зростаюча доступність контенту, такого як відео, чат і музика, експоненціально збільшує потребу в якості з'єднання (швидкості) для існуючих користувачів.

Щоб задовольнити ці потреби користувачів, сучасні мережі LTE повинні бути модернізовані до 5G Core - архітектури, яка пропонує користувачам нові можливості, низьку затримку і подрібнення, які можуть бути використані для надання персоналізованих послуг на основі QoS і забезпечення більш високих швидкостей зв'язку та забезпечувати вищі швидкості зв'язку. Очікується, що це підвищить ефективність бізнесу та задоволеність клієнтів.

Ядро 5G має використовуватися разом з автономним NR. Вищі швидкості передачі даних покращать послуги для VR, AR, безпілотних літальних апаратів і самокерованих транспортних засобів. Це, в свою чергу, дозволить операторам отримати додатковий дохід на додаток до існуючих послуг, таких як користувачі голосу і передачі даних будуть більш задоволені новими і вдосконаленими послугами, пропонованими мережами 5G. Це підвищить лояльність до бренду постачальників послуг, що, в свою чергу, збільшить доходи.

Перехід від поточної архітектури EPC (LTE) до ядра 5G - це двоетапний процес:

1. Перехід від 4G EPC до 5G vEPC: EPC повинен мігрувати зі старої інфраструктури до віртуальної інфраструктури, а програмне забезпечення повинно бути оновлене для підтримки NR з опціями 3GPP RAN 3x.

2. 5G vEPC до 5G Core: необхідно придбати нову мережеву функціональність 5G Core для підтримки опцій 3GPP RAN 2/4/5/7x.

1 АНАЛІЗ ПЕРЕХОДУ МОБІЛЬНОГО ЗВ`ЯЗКУ ДО 5G ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Високорівнева архітектура

Він описує перехід від 4G EPC до 5G Core. Цей розділ складається з двох частин Частина 1: Архітектура 5G NSA EPC: ця частина використовує поточний 4G

EPC і працює з підтримкою 5G NR за допомогою опції 3x RAN.

Частина 2: Архітектура ядра 5G: це основна тема, в якій представлена нова архітектура на основі послуг, а також нові мережеві функції, такі як AMF і SMF.

1.1.1 Архітектура 5G NSA EPC (подвійне підключення)

Архітектура 5G EPC NSA - це архітектура 3GPP, яка дозволяє використовувати поточні EPC для радіостанцій 5G NSA. Бездротові NSA забезпечують взаємозв'язок декількох радіотехнологій, таких як LTE і NR, в межах одного ядра (EPC).

Архітектура NSA використовує подвійне підключення, коли користувач використовує радіоресурси, що надаються двома різними точками мережі (наприклад, gNB до NR, eNB до LTE тощо).

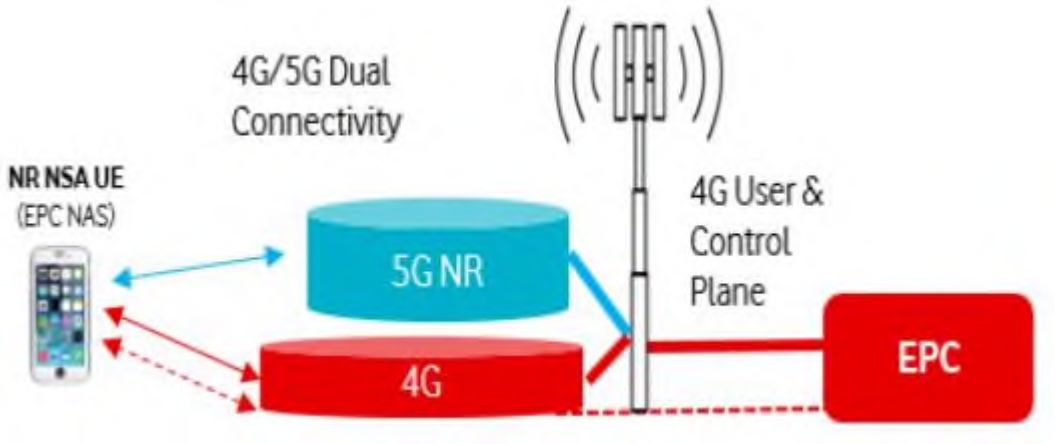


Рис. 1.1 3GPP опція 3x

На рис. 1.1 показана нова архітектура з радіомоделлю 5G NSA. Ця архітектура використовує опцію 3GPP 3x; більш детальну інформацію про опцію 3x див. у розділі "Зв'язок між RAN і ядром 5G".

Радіостанції 5G NSA використовують поточну стандартну мережеву інфраструктуру 4G (EPC, PCRF і HSS), що дозволяє клієнтам мати швидкість доступу 5G на PDN. Використання поточної інфраструктури EPC з 5G вимагає оновлення програмного забезпечення для EPC, HSS і PCRF. 5G EPC NSA використовує поточні PCRF, HSS, CCS та інші NE для надання послуг 5G в існуючій інфраструктурі. Ключові переваги 5G EPC NSA полягають у наступному:

Бізнес:

- Підтримка швидкості доступу 5G PDN (на основі радіочастот NSA NR).
- Раннє розгортання нових послуг 5G (на основі спектру NSA NR). Технічні аспекти.
- Відсутність значних змін у базовому стеку протоколів (наприклад, 4G NAS та діаметр).
- Менше проблем із сумісністю, оскільки немає нових інтерфейсів між ядром і радіочастотами. Операційні аспекти:
- Знайома архітектура, тому потрібно небагато додаткових навичок.

1.1.2 Архітекура 5G ядра

Ядро 5G базується на моделі архітектури, що базується на послугах, де MEC, ігри та нарізка сприяють впровадженню нових послуг, а також зменшенню затримок у мережі. Ядро 5G впроваджує кілька нових мережевих функцій порівняно з архітектурою 4G і впроваджує кілька нових мережевих функцій і розгортає інші мережеві функції порівняно з архітектурою 4G. Функціональність цих мережевих функцій більш детально описана в цьому розділі.

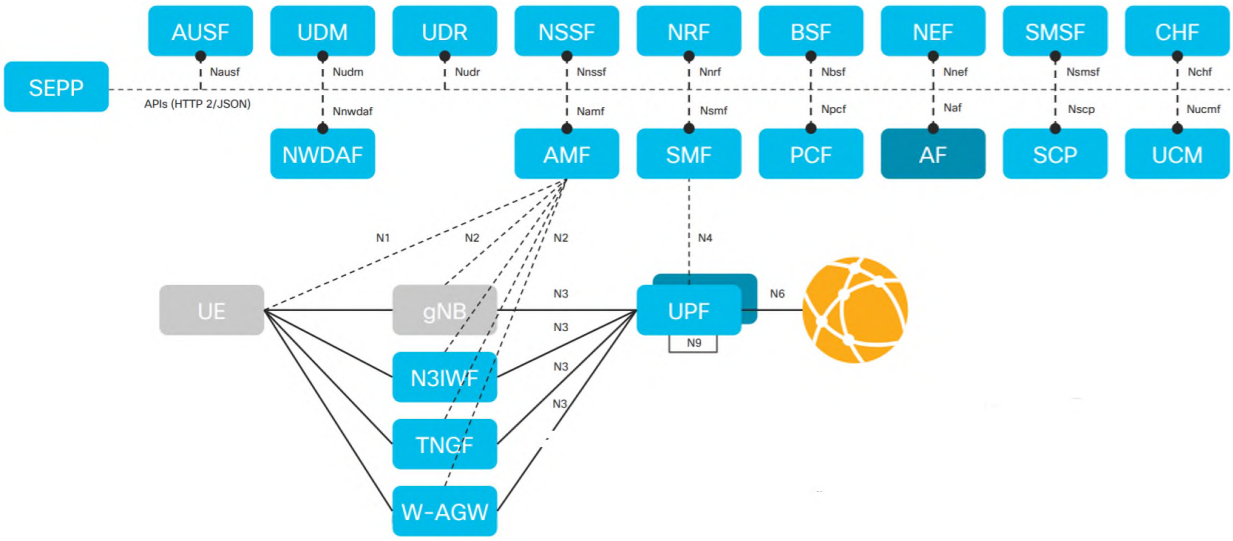


Рис. 1.2 Архітектурна модель на основі послуг ядра 5G.

AMF еквівалентний 4G MME в ядрі 5G. Основні функції AMF наступні:

1. Повний інтерфейс RAN CP.
2. Управління реєстрацією.
3. Управління з'єднаннями.
4. Управління мобільністю.
5. Легальне перехоплення (інтерфейс з системою LI).
6. Забезпечення передачі SMS-повідомлень між UE та SMF.
7. Авторизація доступу.
8. Авторизація доступу.
9. Забезпечення передачі SMS-повідомлень між UE та SMSF.
10. Управління послугами позиціонування для регуляторних цілей.

SMF у 5G еквівалентний SGW-C і PGW-C. Основними функціями SMF є:

1. Встановлення сесії.
2. Розподіл і управління IP-адресами UE.
3. Вибір і управління функціями користувацької площини.
4. Завершення інтерфейсу до функцій PCF.
5. Законне перехоплення (у систему LI).

6. Збір білінгових даних і підтримка білінгових інтерфейсів.

7. Функція роумінгу.

8. Обробка QoS.

UPF у 5G це еквівалент SGW-U, PGW-U. Основні функції UPF це:

1. Підключення до мережі передачі даних.

2. Перевірка пакетів.

3. Маршрутизація та переадресація пакетів.

4. Застосування правил політики.

5. Законний перехоплення (до системи LI).

6. Обробляє QoS.

PCF в ядрі 5G еквівалентний PCRF. PCF виконує наступні основні функції:

1. Логіка правил політики для управління поведінкою мережі.

2. Надання правил для інших NF та сприяння їх впровадженню.

3. Доступ до інформації про абонентів з UDR і застосування правил до абонентів.

NRF 5G виконує наступні основні функції:

1. NRF підтримують функцію виявлення, коли NF запитують інформацію про інші NF і NRF. NRF надають цю інформацію подібно до того, як AMF взаємодіють з SMF.

2. Підтримка профілів послуг NF/NF.

NSSF є функцією вибору мережі 5G для UE і виконує наступні основні функції:

1. Вибирає AMF, що відповідає фрагменту мережі, який обслуговується UE.

2. Здійснює зв'язок з NRF для отримання списку AMF, доступних для UE. NEF.

NEF - це функція впливу на мережу ядра 5G, яка в основному виконує наступні функції:

1. Впливає на можливості та події в інших NF.

2. Зберігає і витягує інформацію з UDR і надає можливості.

3. NEF управляє параметрами QoS і правилами тарифікації для взаємодії з конкретними користувачами і сторонніми додатками.

UDM управляє абонентськими даними в ядрі 5G і є еквівалентом HSS. UDM виконує такі основні функції:

1. Обробка ідентифікації користувача (SUPI еквівалентна IMSI в 4G).

2. Обмеження роумінгу.

3. Управління реєстрацією користувачів, тобто зберігання інформації про AMF, що надають послуги.

4. Управління підпискою.

5. Підтримання плавності надання послуг та сеансів зв'язку, тобто зберігання даних про розподіл поточних сеансів зв'язку AMF.

6. Управління доставкою SMS.

7. Управління даними профілю користувача, включаючи зберігання та модифікацію переліку послуг, доступних користувачеві, та відповідних параметрів.

AUSF є функцією сервера автентифікації в ядрі 5G і виконує функцію автентифікації абонента.

CHF ядра 5G подібна до функції білінгу попереднього покоління, вона виконує такі основні функції:

1. Виставлення рахунків за послуги авторизованих функцій мережі.

2. Здійснює онлайн та офлайн білінг.

3. CHF отримує інформацію про зрізи, що використовуються користувачем, і на основі цієї інформації може застосовувати спеціалізоване ціноутворення на основі бізнес-вимог.

SEPP - це проксі-захист границі для ядра 5G, подібний до DRA попереднього покоління.

SEPP виконує наступні ключові функції:

1. Конфіденційність і захист сигнального трафіку між різними операторами.

2. Впровадження політик безпеки для приховування інформації про місцезнаходження.

3. SEPP може діяти як брандмауер для сигнального трафіку.

4. Шифрування сигнального трафіка.

BSF - необхідний, коли в мережі використовується декілька систем управління політиками (PCF). BSF надає операторам можливість з'єднувати сеанси між декількома серверами політик, що дозволяє їм масштабувати свою мережу.

Основні функції BSF наступні:

1. Отримання інформації про з'єднання (наприклад, адресної інформації обраного PCF)

2. Дозволяє системам (наприклад, PCF) вводити, оновлювати та видаляти інформацію про зв'язок

3. Дозволяти системам (наприклад, AF, NEF) знаходити інформацію про зв'язок (наприклад, адресну інформацію вибраного PCF).

1.2 Зв'язок між RAN та 5G Core

Опція 1.

Класична реалізація виділеної мережі LTE на основі ядра EPC і базових станцій eNb, що використовується в географічних зонах, де немає попиту на послуги 5G.

- Використовується ядро мережі LTE (EPC);
- Термінал (UE) підключений лише до мережі радіодоступу E-UTRA.

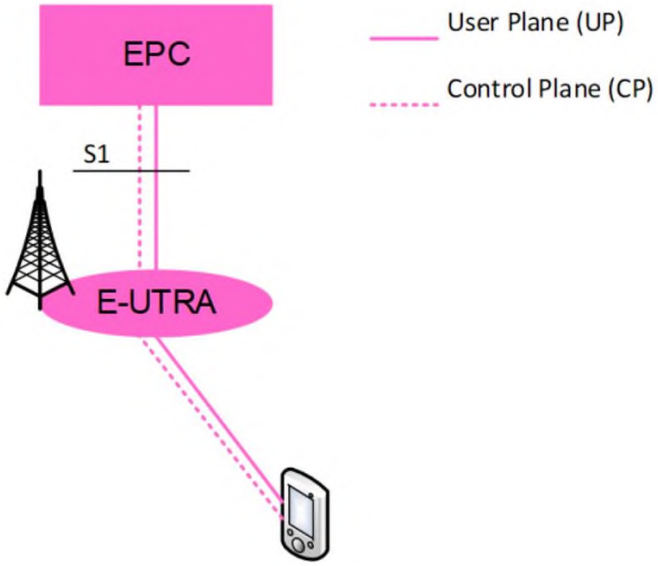


Рис. 1.3 RAN опція 1

Опція 2

Мережеве ядро NGCN і базові станції gNb призначені як остаточна архітектура для виділених мереж 5G, які будуть використовуватися в географічних зонах, де мережі LTE недоступні та їхнє будівництво недоцільне.

- Буде використовуватися ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);
- Термінал (UE) під'єднується тільки до мережі радіодоступу 5G NR.

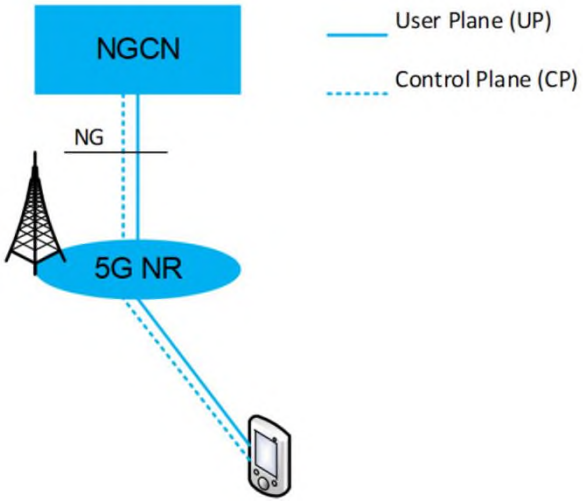


Рис. 1.4 RAN опція 2

Опція 3

Опція 3/3a стосується початкового етапу розгортання 5G (у вигляді радіопокриття "точка-точка") в географічних зонах, де вже розгорнуті мережі 4G-LTE. Впровадження ядра NGCN не вимагається (використовується ядро мережі LTE, EPC). Заснована на технології Dual Connect; мережі радіодоступу E-UTRA/NR і EPC з'єднують і пересилають абонентський (User Plane) і керуючий (Control Plane) трафік за допомогою інтерфейсу S1. Точкою закінчення S1-MME є базова станція мережі радіодоступу E-UTRAN (eNB).

- Використовується ядро мережі LTE (EPC) ;
- Термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється виключно eNB;
- eNB є точкою об'єднання трафіку користувача (UP) ;
- Трафік користувача (UP) передається двома шляхами: EPC↔eNB↔UE і EPC↔eNB↔gNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується для передачі трафіку Control Plane і 5G User Plane.

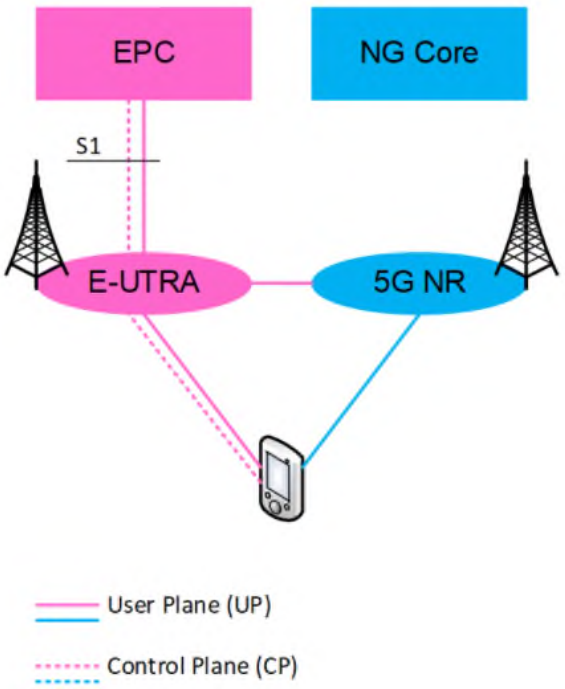


Рис. 1.5 RAN опція 3

Опція 3а.

- Використовується ядро мережі LTE (EPC);
- Термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR та E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється виключно eNB;
- EPC є точкою об'єднання абонентського трафіку (UP) ;
- Користувацький трафік передається двома шляхами: EPC↔eNB↔UE та EPC↔gNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується тільки для передачі трафіку площини управління.

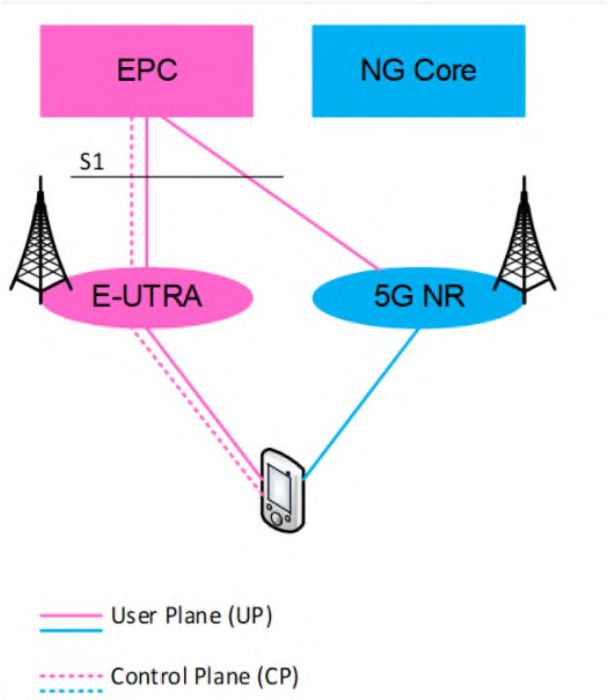


Рис. 1.6 RAN опція 3a

Опція 4.

Опція 4/4a є цільовою остаточною архітектурою для комбінованої мережі 5G/LTE. Заснована на технології подвійного підключення; вимагає впровадження ядер NGCN і модернізації базових станцій LTE до NG-eNBs. На основі технології подвійного підключення; NG використовується як інтерфейс між мережами радіодоступу E-UTRA/NR і NGCN, передаючи трафік користувача і площини управління; опорною точкою закінчення NG-C є радіодоступ NR. Базова станція мережі (gNb).

- Використовується ядро мережі 5G (NGCN);
- Термінал (UE) має подвійне з'єднання з 5G NR та E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється тільки gNB;

- gNB є точкою об'єднання для абонентського трафіку (UP);
- Абонентський трафік передається за двома маршрутами: NGCN↔gNB↔UE і NGCN↔gNB↔eNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується для передачі трафіку Control Plane і LTE User Plane.

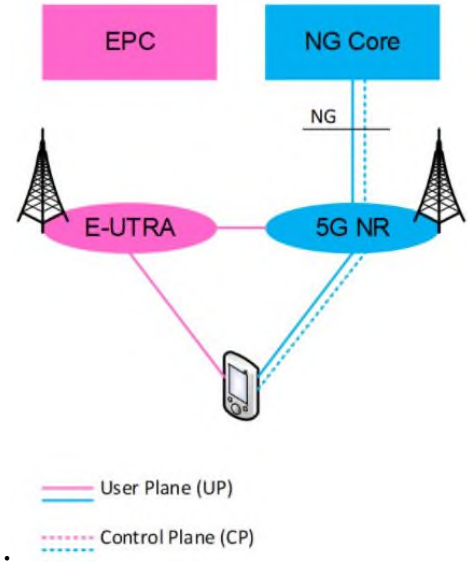


Рис. 1.7 RAN опція 4

Опція 4a.

- Використовується ядро мережі 5G (NGCN) ;
- Термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR та E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється виключно gNB;
- NGCN є точкою агрегації абонентського трафіку (UP) ;
- Абонентський трафік передається двома шляхами: Абонентський трафік передається двома шляхами: NGCN↔gNB↔UE і NGCN↔eNB↔UE;

- Інтерфейс Xx використовується тільки для трафіку Control Plane.

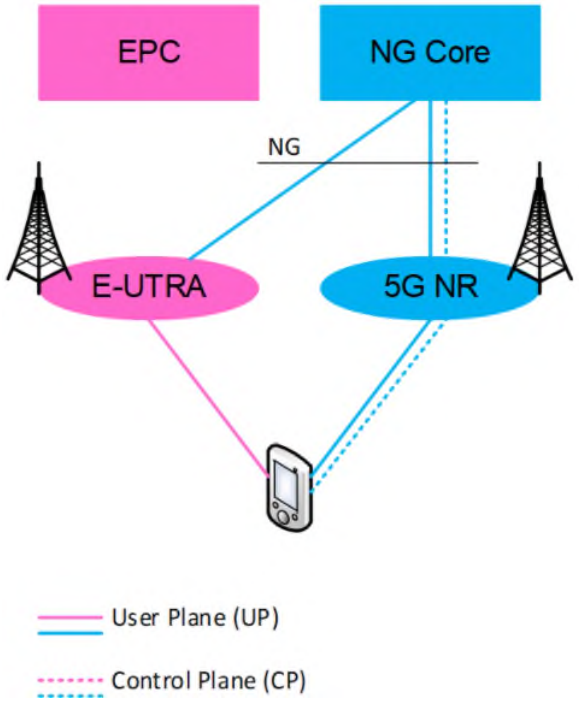


Рис. 1.8 RAN опція 4a

Опція 5

Пов'язана зі створенням нової мережі тільки LTE з можливістю подальшої модернізації до комбінованої мережі 5G/LTE (опція 4/4a). Використовується ядро NGCN і модернізовані базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN NG-eNB.

- Використовується ядро мережі 5G (NGCN);
- Термінали (UE) підключені тільки до мережі радіодоступу E-UTRA.

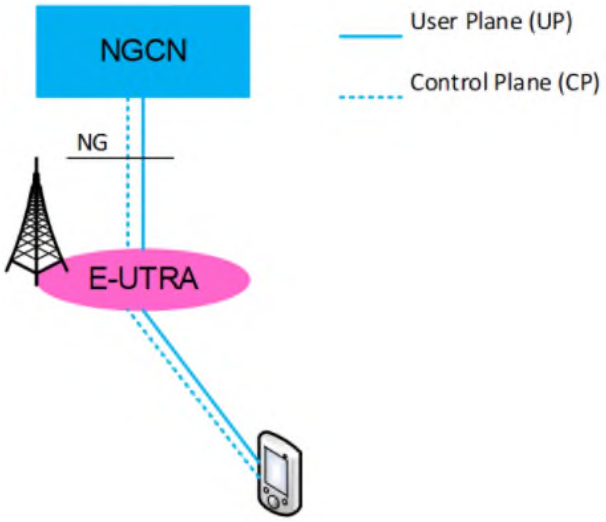


Рис. 1.9 RAN опція 5

Опція 6

Наприклад, його можна використовувати як проміжний крок до цільової архітектури 5G при впровадженні тестових зон, де буде побудована виділена мережа 5G, хоча і на основі існуючого ядра мережі LTE (EPC), або в географічних зонах, де мережі LTE недоступні і їх будівництво не є можливим (опція 2).

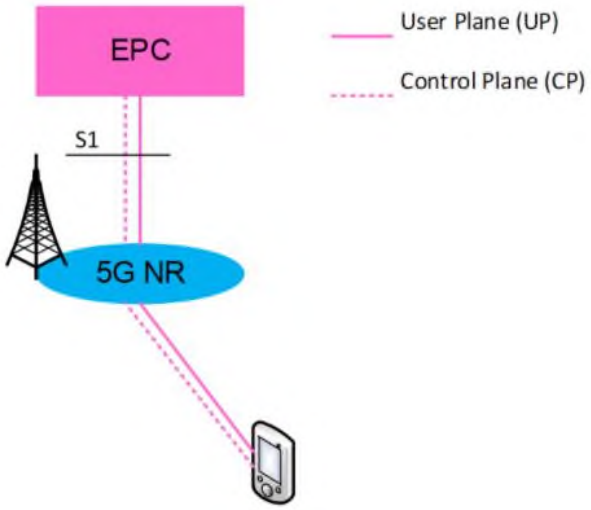


Рис. 1.10 RAN опція 6

Опція 7

Опція 7/7a можна використовувати як проміжний крок до цільової архітектури 5G/LTE варіанту 4/4a. В іншому випадку опорною точкою для закінчення NG-C є базова станція мережі радіодоступу E-UTRAN (eNB).

- Використовується ядро мережі 5G (NGCN) ;
- Термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється виключно eNB;
- eNB є точкою консолідації абонентського трафіку;
- Абонентський трафік передається двома шляхами: Абонентський трафік передається двома шляхами: NGCN↔eNB↔UE і NGCN↔eNB↔gNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується для передачі трафіку Control Plane і 5G User Plane.

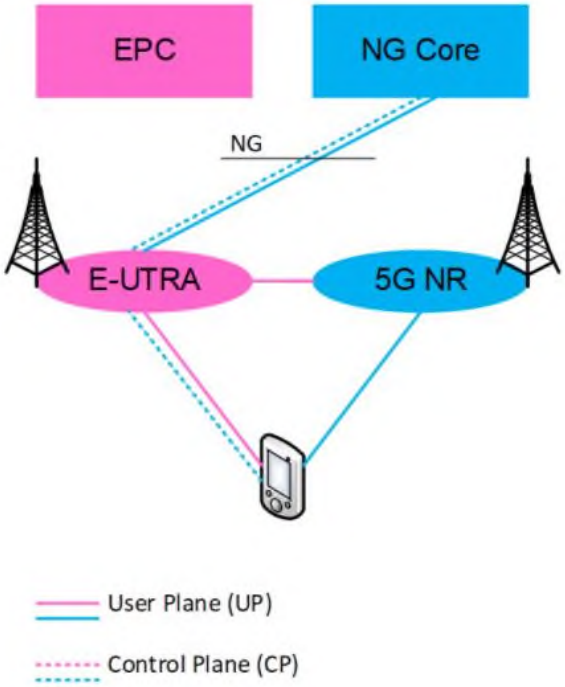


Рис. 1.11 RAN опція 7

Опція 7a

- Використовується ядро мережі 5G (NGCN) ;
- Користувацький термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR та E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється виключно на eNB;
- EPC є точкою об’єднання абонентського трафіку;
- Абонентський трафік передається двома шляхами: Абонентський трафік передається двома шляхами: NGCN↔eNB↔UE і NGCN↔gNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується тільки для передачі трафіку Contol Plane.

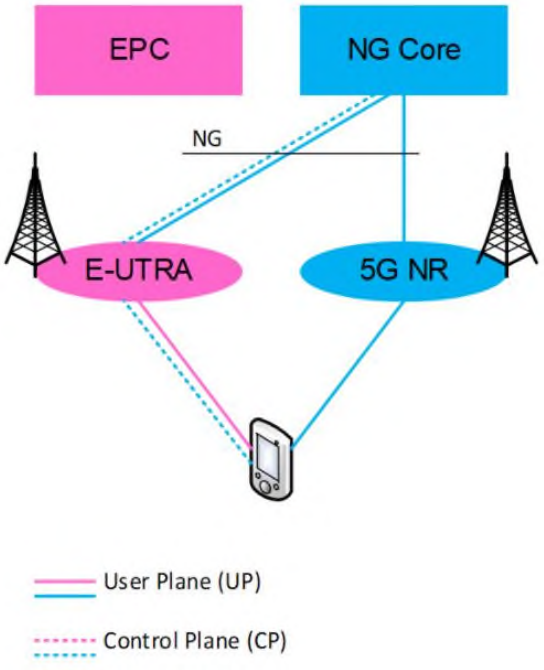


Рис. 1.12 RAN опція 7a

Опція 8

Опція 8/8a можна використовувати як проміжний крок від варіанту 3/3a до варіанту 4/4a для цільової архітектури 5G/LTE. На відміну від опції 3/3a, опорною точкою для закінчення S1-MME є базова станція мережі радіодоступу NR (gNB).

- Використовується ядро мережі LTE (EPC) ;
- Термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- Трафік сигналізації (CP) обробляється виключно gNB;
- EPC є точкою агрегації абонентського трафіку (UP) ;
- Абонентський трафік передається двома шляхами: Абонентський трафік передається двома шляхами: EPC↔ gNB↔UE та EPC↔eNB↔UE і EPC↔eNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується для передачі трафіку Control Plane і LTE User Plane.

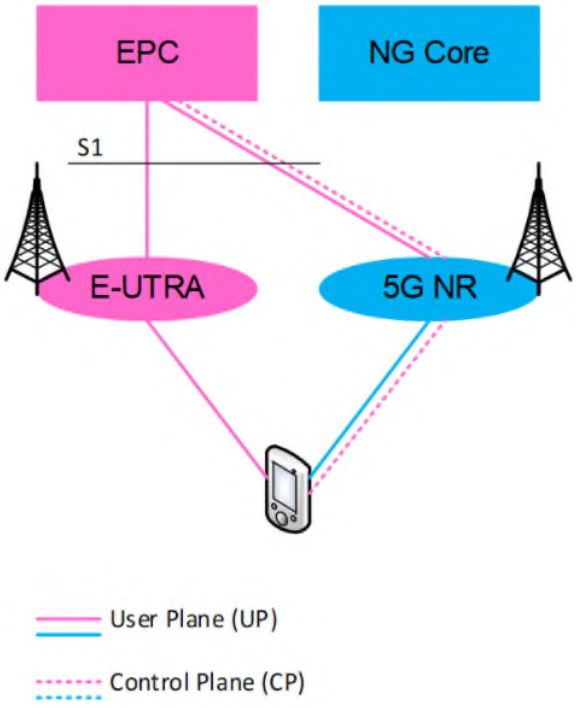


Рис. 1.13 RAN опція 8

Опція 8а

- Використовується ядро мережі LTE (EPC) ;
- Термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR та E-UTRA;
- Сигнальний трафік (CP) обробляється виключно gNB;
- EPC є точкою об’єднання абонентського трафіку (UP) ;
- Абонентський трафік передається двома шляхами: Абонентський трафік передається двома шляхами: EPC↔gNB↔UE і EPC↔eNB↔UE;
- Інтерфейс Xx використовується тільки для передачі трафіку Control Plane.

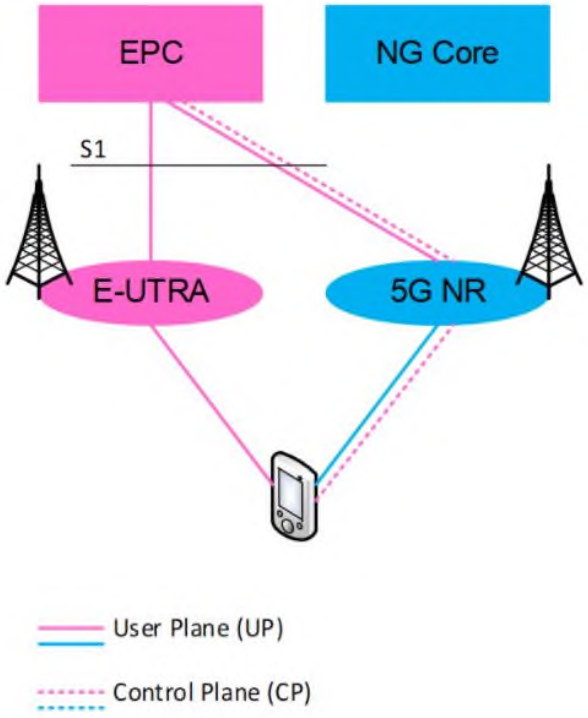


Рис. 1.14 RAN опція 8a

Ядро 5G - протоколи та потоки дзвінків

1.3 Протоколи

3GPP змінив спосіб структурування попереднього стеку протоколів для зв'язку між основними мережевими функціями в 5G ядрі. 3GPP вибрав

1. HTTP/2, як протокол прикладного рівня для інтерфейсу на основі послуг.

2. TCP для протоколу транспортного рівня в 5G ядрі (згідно з 3GPP Rel 15). Однак транспортний рівень може змінитися з TCP на QUIC у Rel 16.

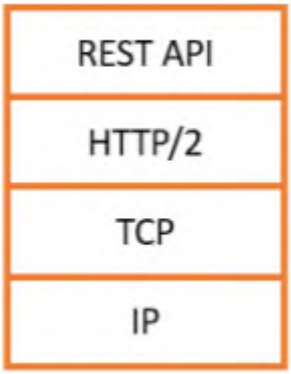


Рис. 1.15 5G Ядро 3GPP Rel 15 протокол стек

1.4 Взаємодія NEs у 5G Core

Процедура реєстрації та виявлення NF.

У прикладах нижче показано процедуру реєстрації та виявлення NF з варіантами A, B, C та D.

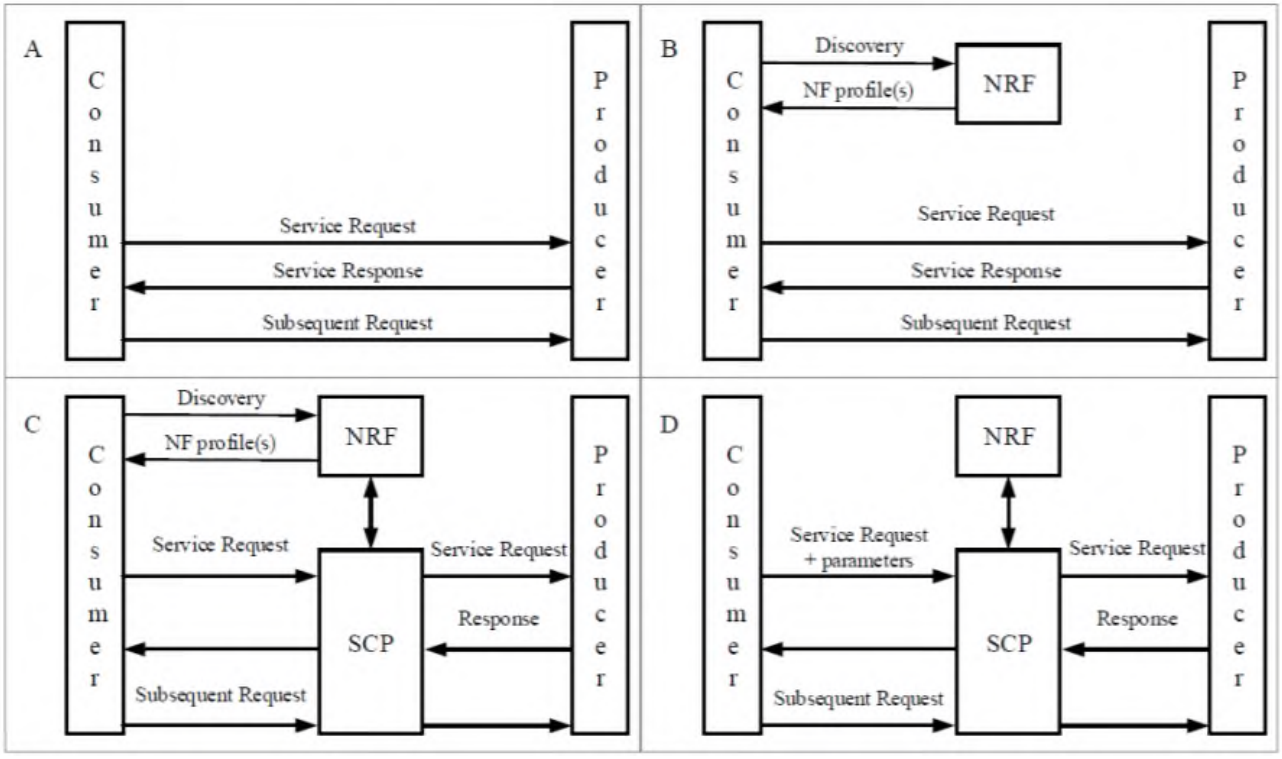


Рис. 1.16 Приклад процедури виявлення NF

Процедура створення сеансу UE PDU

На наступній схемі показано приклад створення сесії UE PDU в ядрі мережі 5G (для спрощення, PCF та інші NF на схемі не показані).

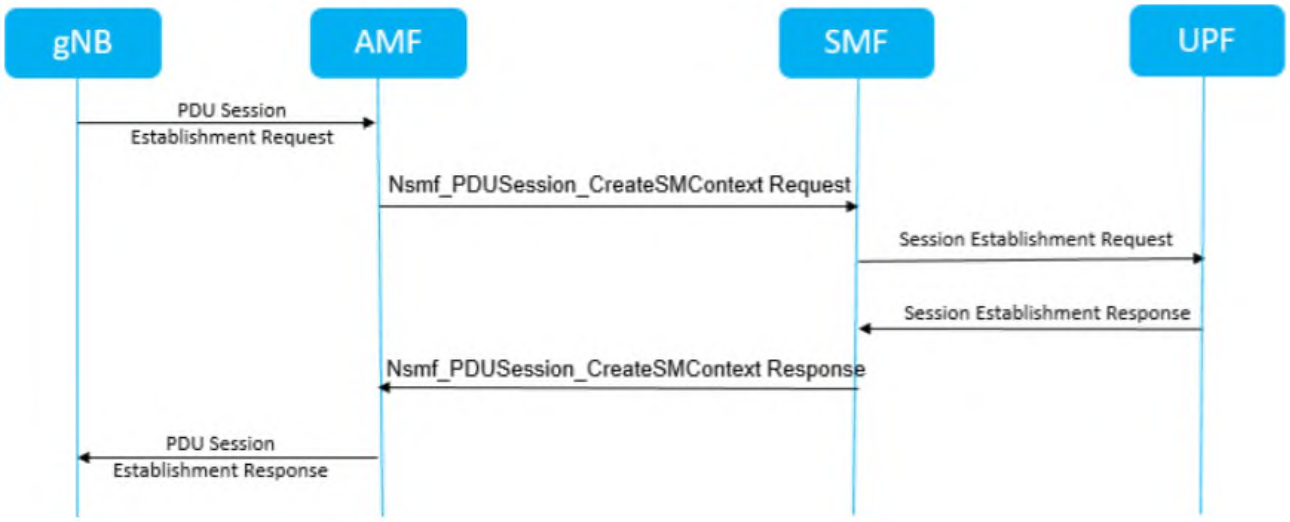


Рис. 1.17 створення сеансу UE PDU в ядрі мережі 5G

Створення сеансу PDU вимагає взаємодії між різними NF в 5G Core, таблиця нижче пояснює ці процедури на основі наведеної схеми вище.

Табл.1.1.

Пояснення створення сеансу UE PDU в ядрі мережі 5G

NF	Подія
gNB → AMF	UE ініціює процес встановлення сеансу PDU за допомогою повідомлення NAS, що містить запит до AMF на встановлення сеансу PDU.
AMF → SMF	На основі інформації, отриманої від UE, та внутрішньої логіки (NSSF, NRF), AMF вибирає SMF і надсилає Nsmf_PDUSession_CreateSMContext запит до SMF
SMF → UPF	SMF вибирає UPF, надсилає запит на створення сеансу до вибраного UPF, і SMF надає правила застосування та звітування, які мають бути створені в UPF для PDU цього сеансу.
UPF → SMF	UPF надсилає до SMF відповідь щодо організації сесії.
SMF → AMF	SMF надсилає відповідь до AMF, отримавши інформацію від Nsmf_PDUSession_CreateSMContext Request, надіславши Nsmf_PDUSession_CreateSMContext Response.
AMF → gNB	AMF на основі інформації отриманої у Nsmf_PDUSession_CreateSMContext Response, надсилає відповідь до gNB щодо організації PDU сеансу.

1.5 5G роумінг

Нова мережа 5GC також повинна підтримувати роумінг 5G. Цього можна досягти за допомогою додатків Local Breakout Scenario (LBO) або Home Routing.

1.5.1 Local Breakout Scenario

У Local Breakout Scenario, як показано нижче, User Plane роумера закінчується на VPLMN, однак, Control Plane - це обмін між VPLMN та HPLMN через vSEPP, який працює як DEA попереднього покоління EPC мережі.

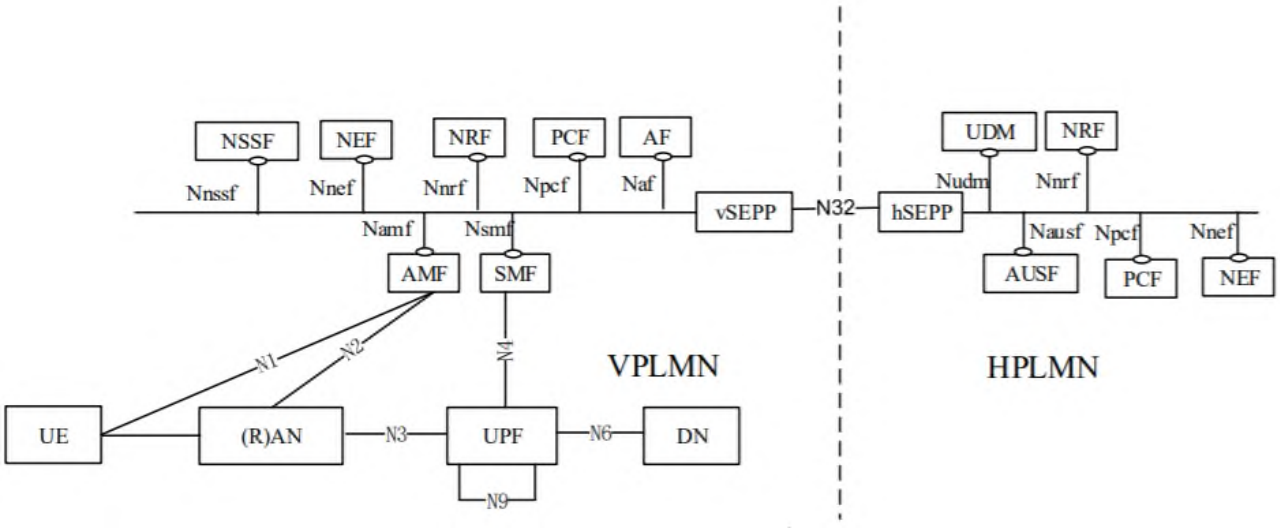


Рис. 1.18 5G архітектура з Local Breakout Scenario

1.5.2 Home Routing

Для Home Routing, як показано нижче, User Plane повертається назад до HPLMN від VPMN, також є зв'язок Control Plane між HPMN та VPLMN.

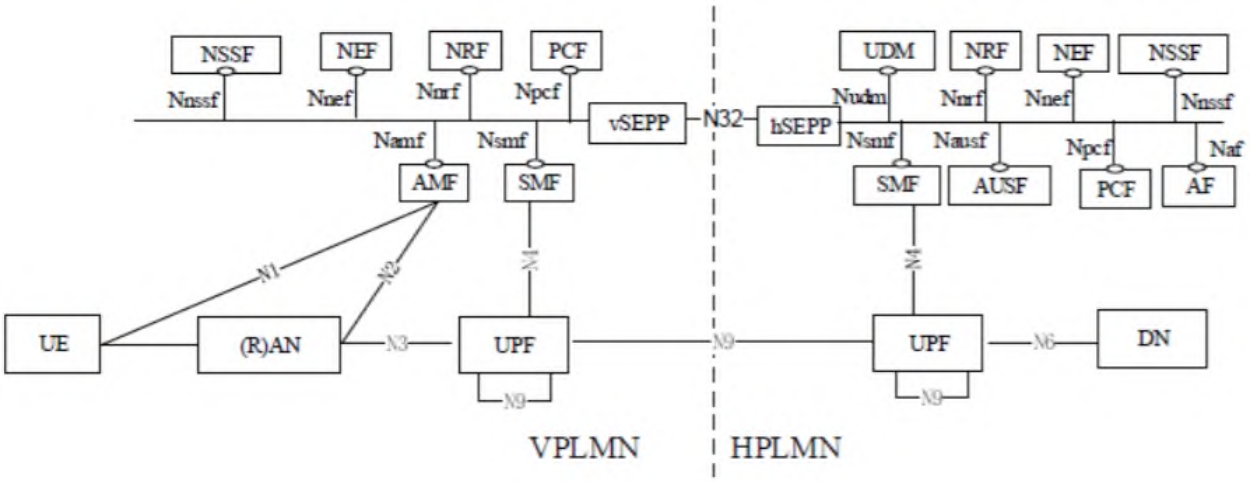


Рис. 1.19 5G архітектура з Home Routing Scenario

1.5.3 Взаємодія 5G Core з EPC у роумінгу

У сценаріях, де HPLMN або VPLMN є базовою мережею 5G, а інша - EPC, площина управління повинна бути перетворена з HTTP/2 в Diameter і навпаки. Це завдання виконує SEPP для досягнення інтероперабельності між мережами.

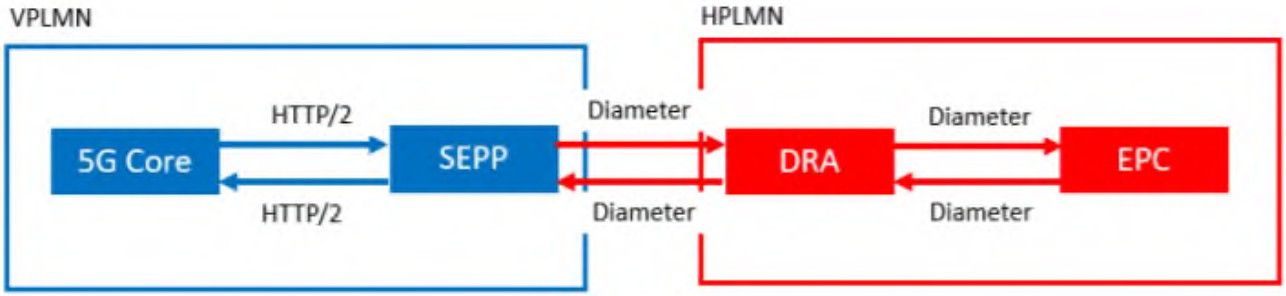


Рис. 1.20 Взаємодія 5G Core з EPC у роумінгу

1.5.4 Взаємодія 5G Core з EPC

Існує два підходи до розгортання взаємодії між ядрами 5G і EPC:

1. Одноядерне рішення.
2. Взаємодія через інтерфейс N26.

У випадку одноядерного рішення, що відповідає дворежимному ядру або складному вузлу, ядро EPS і ядро 5G можуть бути надані в одному рішенні, а контракти SW можуть бути віртуалізовані. При такому методі розгортання UE матиме однакову IP-адресу до і після процесу передачі або міграції.

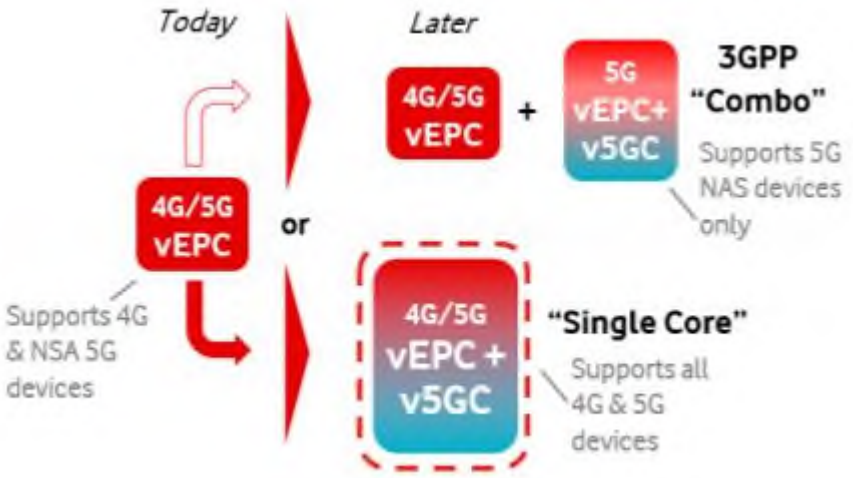


Рис. 1.21 EPC, Standalone Core та Single Core

Інтерфейс N26 дозволяє AMF та MME спілкуватися один з одним, забезпечуючи процеси переведення та переміщення; клієнтам, зареєстрованим у PGW або UPF, не потрібно перереєстровуватися після переведення або переміщення за допомогою інтерфейсу N26.

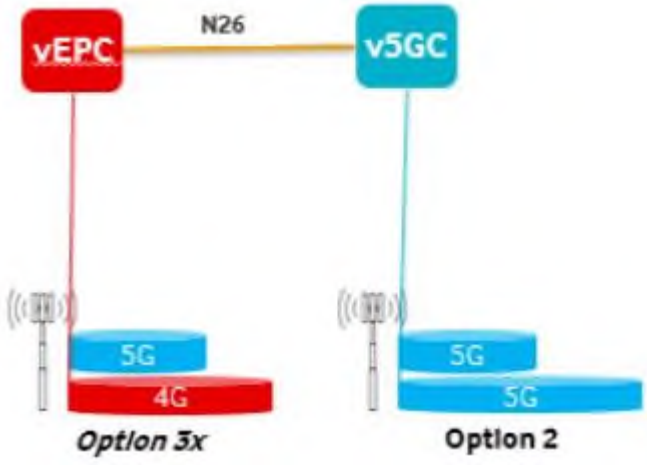


Рис. 1.22 N26 інтерфейс

За відсутності інтерфейсу N26 можна використовувати подвійну реєстрацію, коли підрядник реєструється як в EPC, так і в 5GC, але це не є ідеальним варіантом і не рекомендується.

1.6 5G Core процедури

1.6.1 5G Core Handover Procedure до EPC

На рис. 1.23 показано процес хендовера, коли UE виконує хендовер від gNB (NR), підключеного до ядра 5G, до eNB (LTE), підключеного до EPC.

У цьому процесі хендоверу виконуються наступні кроки:

1. 5G-RAN (gNB) починає процес хендлінгу; AMF отримує кадр EPC SM від PGW-C+SMF.
2. MME отримує кадр UE від AMF; MME надсилає інформацію про сеанс/джерело RAN до RAN та обирає SGW для встановлення з'єднання PDN.
3. AMF встановлює з'єднання для передачі даних за допомогою PGW-C + SMF.
4. UE доставляє дані від AMF до MME.
5. MME надсилає IP/TEID для низхідних даних до 4G-RAN SGW (eNB); SGW надсилає IP/TEID для downlink даних до PGW.

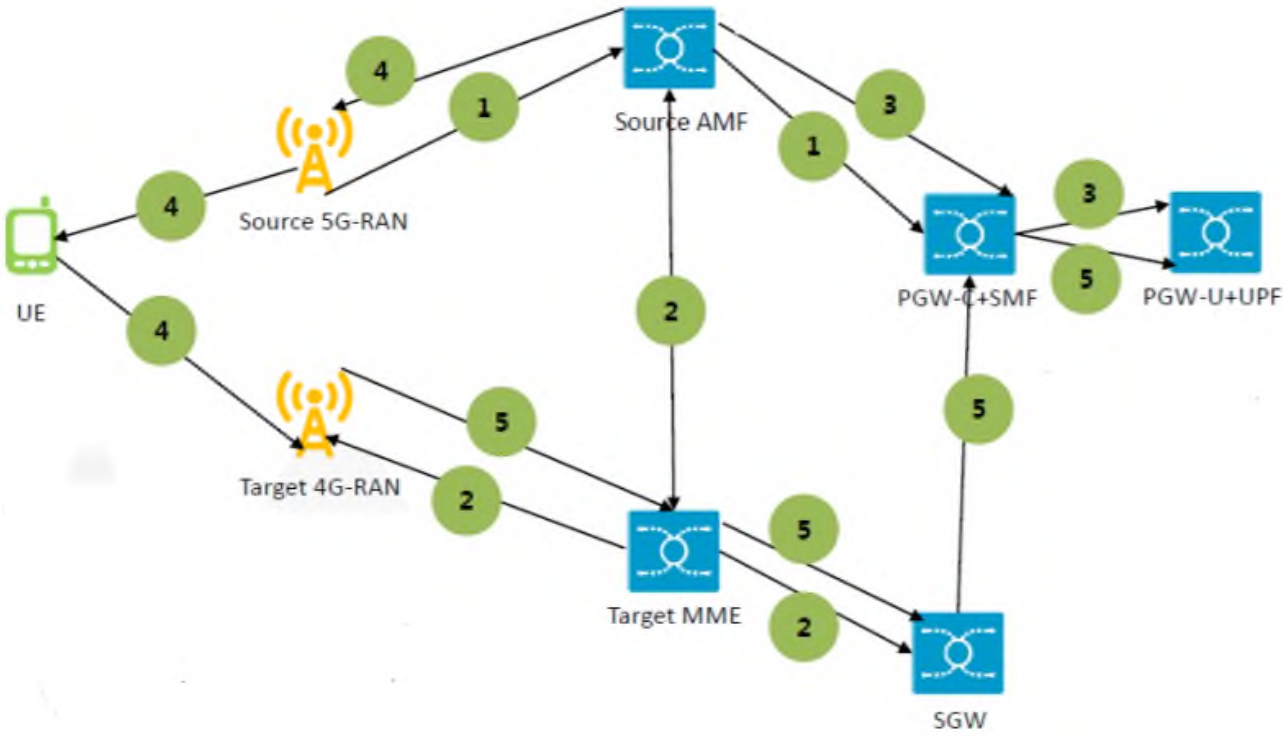


Рис. 1.23 5G Core Handover Procedure до EPC

1.6.2 EPC Handover Procedure до 5G Core

На рис. 1.24. показано процес хендовера для переходу UE від eNB (LTE), підключеного до EPC, до gNB (NR), підключеного до ядра 5G.

Цей процес складається з наступних кроків:

1. 4G RAN (eNB) ініціює процес передачі до MME.
2. AMF отримує інформацію про кадр UE від MME; AMF встановлює з'єднання з UE і оновлює свій несучий кадр.
3. MME встановлює з'єднання для передачі даних за допомогою PGW.
4. Доставка UE від MME до AMF. 5. AMF інформує SMF/UPF про IP/TEID, пов'язаний з 5G-RAN (gNB) для низхідних даних.

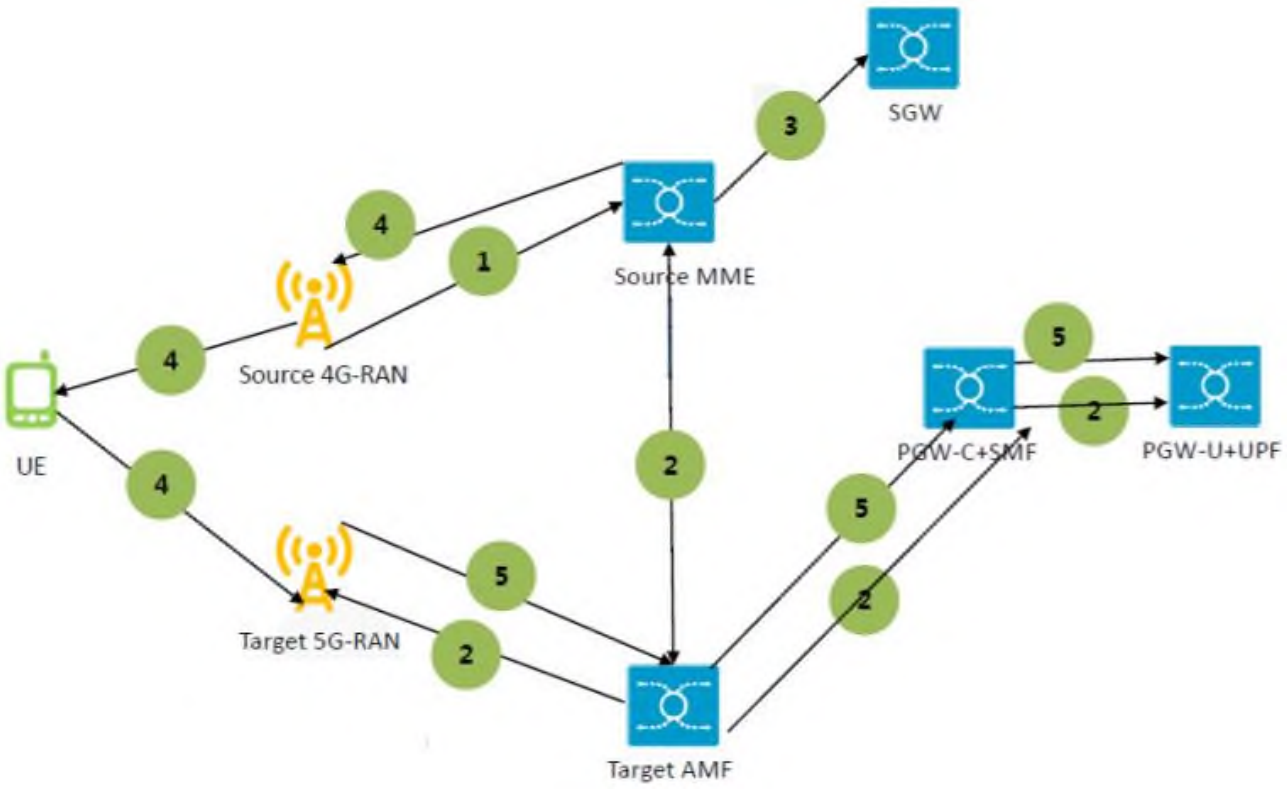


Рис. 1.24 EPC Handover Procedure до 5G Core

1.6.3 5G Core TAU за допомогою EPC

Процес 5G Core TAU з EPC складається з наступних етапів:

1. UE починає процес TAU з переадресації на цільовий eNB у стані очікування (IDLE).
2. MME запитує кадр UE у AMF, який, в свою чергу, запитує кадр 4G SM у PGW-C+ SMF.
3. MME вибирає SGW та встановлює відповідне з'єднання з PDN.
4. MME оновлює позицію до HSS+UDM, а AMF скасовує інформацію про місцезнаходження від джерела.

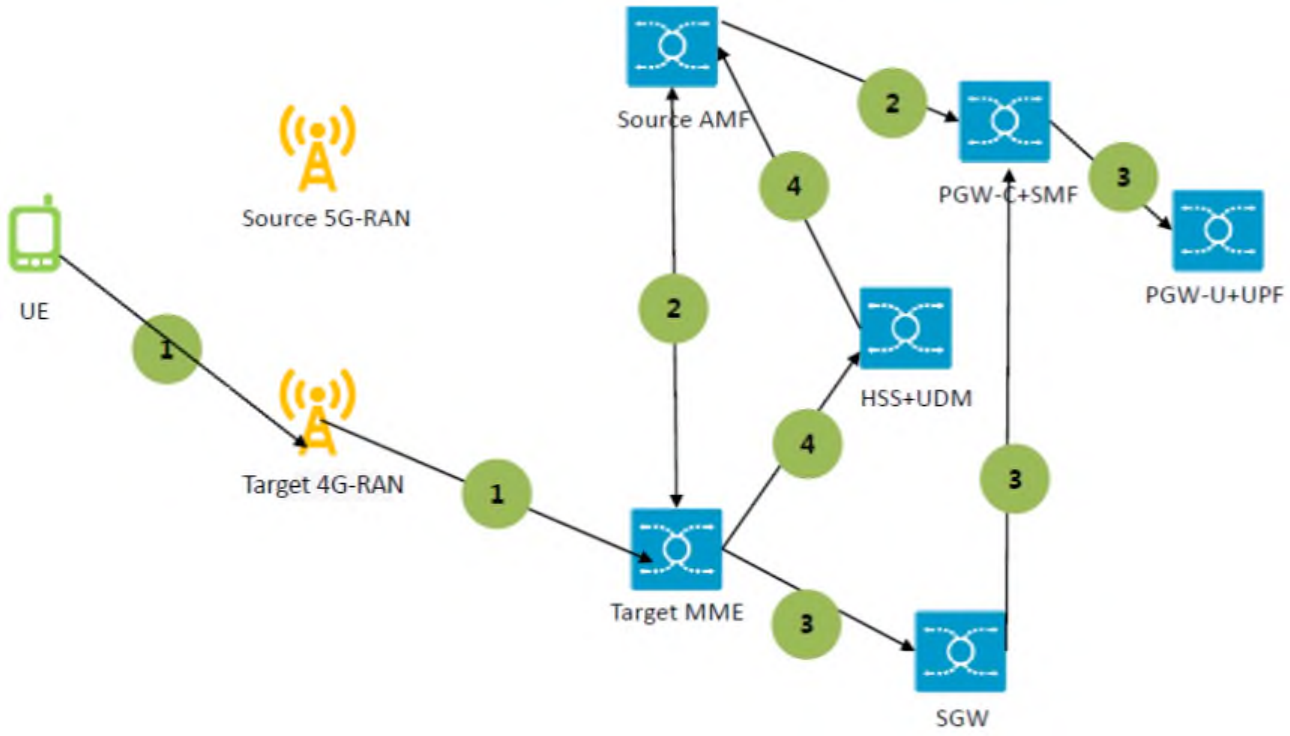


Рис.1.25 5G Core TAU за допомогою EPC

1.6.4 Голосовий сервіс з 5G Core

Ядра 5G можуть бути підключені до RAN за допомогою різних опцій RAN, а саме – 2.4.5 та 7x.

Коли Core 5G підключено до gNB, голосові дзвінки, що здійснюються через gNB, називаються VoNR (Voice over NR); однак, якщо голосовий дзвінок здійснюється через eNB, підключений до ядра 5G, він називається VoLTE (так само, як і через EPC). Впровадження голосових послуг в ядрі 5G вимагатиме певних змін у мережі IMS, але не очікується, що це змінить архітектуру IMS.

1.6.5 Fallback до EPC для голосового обслуговування

Після розгортання ядра 5G голосові послуги будуть управлятися з EPC. Абонент здійснить VoLTE-дзвінок і підключиться до EPC: якщо між AMF і MME є інтерфейс

N26, UE матиме той самий IP-адресу в сеансі ПК під час перезавантаження з ядра 5G на EPC (і навпаки). Наступна діаграма ілюструє скидання EPC.

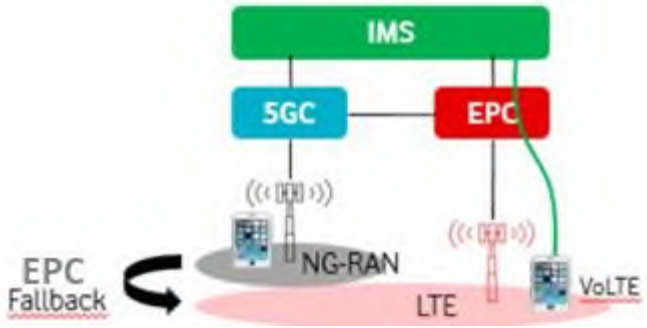


Рис. 1.26 EPC fallback

На рисунку нижче показано процедуру fallback від 5G Core до EPC для IMS дзвінка.

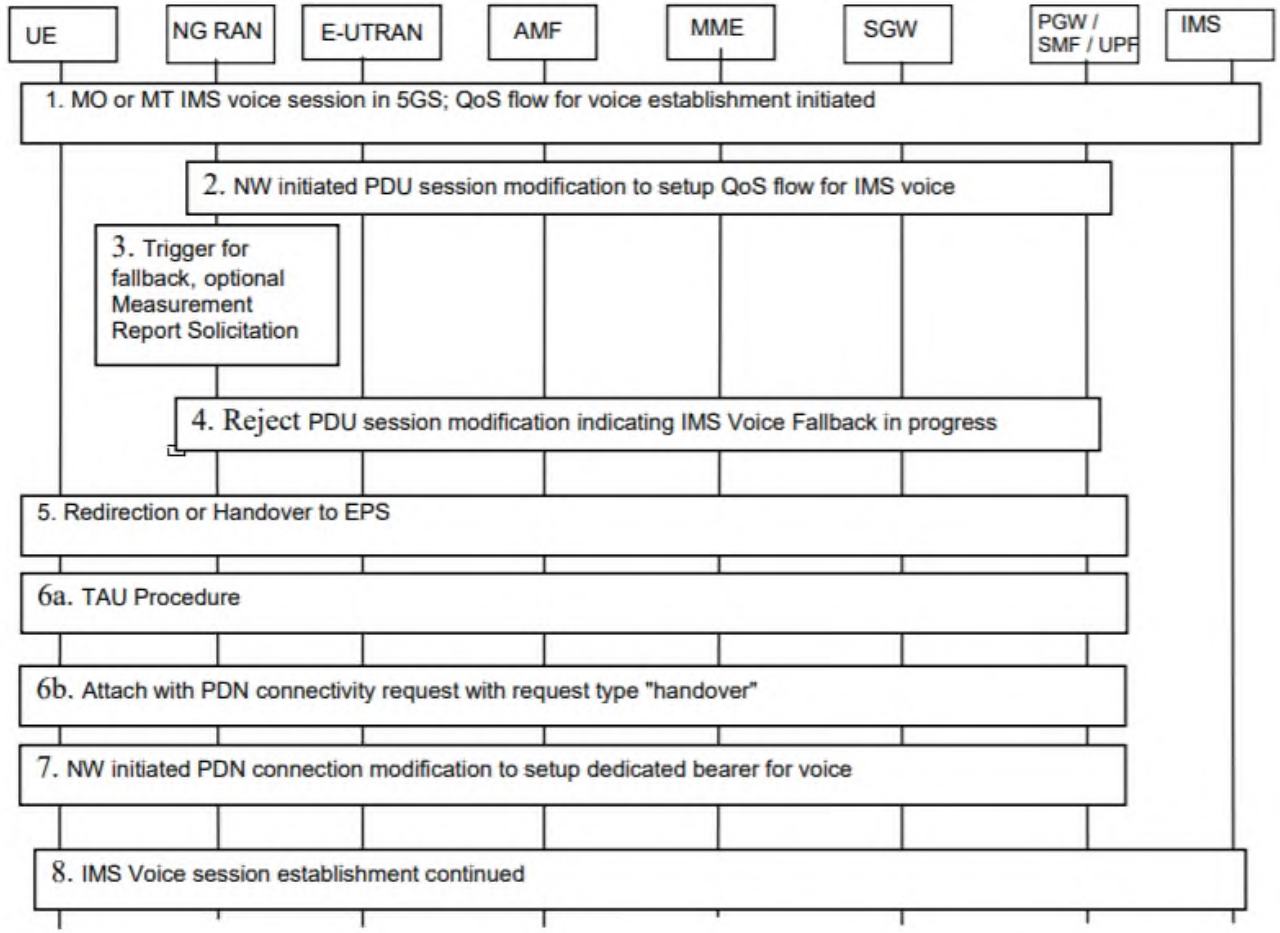


Рис. 1.27 Fallback від 5G Core до EPC для IMS дзвінка

Опис:

1. UE, підключений до gNB в ядрі 5G, ініціює MO або MT, формуючи сеанс IMS.
2. PDU сеансу, ініційований мережею, змінює налаштування потоку QoS для голосу на gNB.
3. gNB ініціює резервне використання EPC, беручи до уваги можливості UE, вказівку AMF про те, що "резервне використання EPC для голосу можливе", конфігурацію мережі (наприклад, конфігурацію доступності N26) та умови радіозв'язку.
4. gNB відхиляє модифікацію PDU сеансу для конфігурації потоку QoS для голосу IMS, отриману на кроці 2, надсилаючи повідомлення-відповідь сеансу до PGW-C + SMF через AMF із зазначенням того, що відбудеться fallback виклику IMS.
5. GNB ініціює handover або AN Relise з міжсистемною передачею в EPC, беручи до уваги можливості UE.
6. Коли UE підключений до EPC:

    6.1 UE починає процес TAU, якщо є handover/redirection N26.

    6.2. якщо немає N26, UE ініціює запит на приєднання за допомогою запиту PDN "handover".
7. Після завершення резервної процедури передачі EPC, SMF/PGW повинен знову відкрити спеціальні налаштування пред'явника для виклику IMS.
8. Голосовий сеанс IMS відновлюється/завершується.

1.6.6 EPC fallback для екстрених дзвінків за допомогою IMS

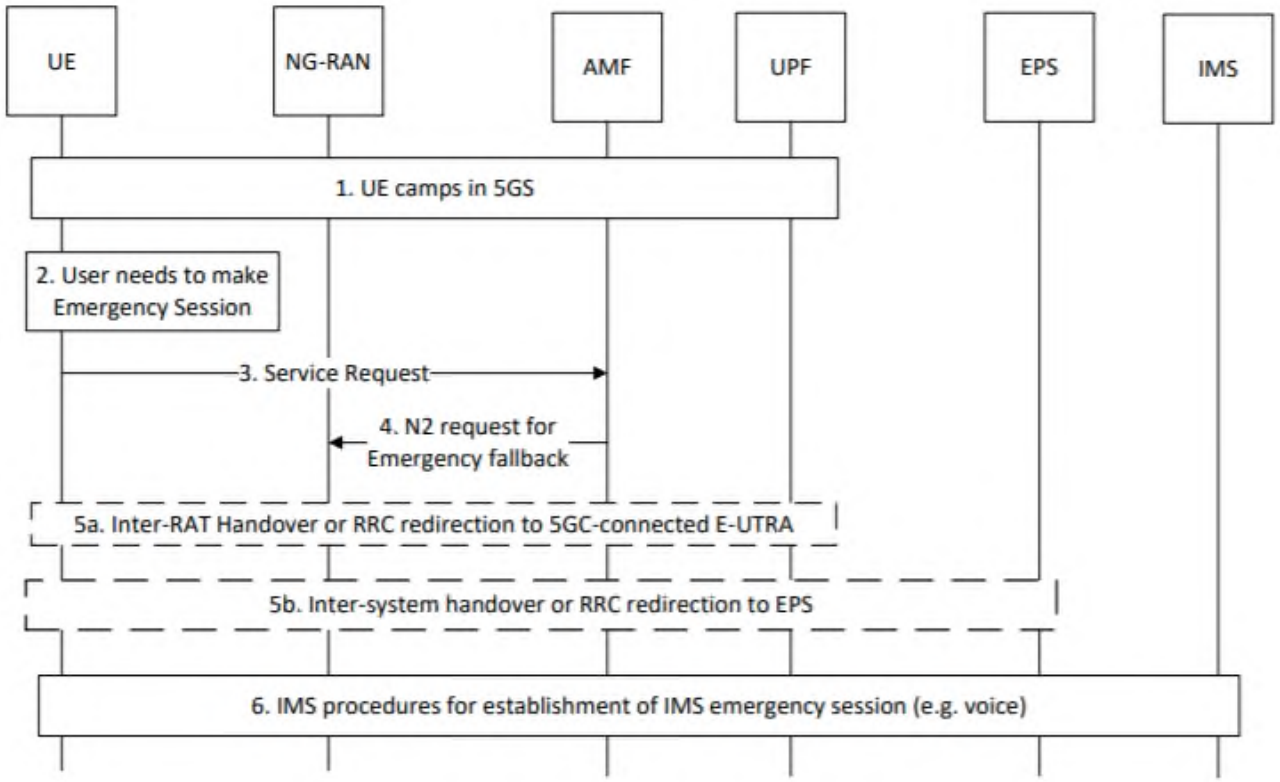


Рис. 1.28 EPC fallback для екстрених дзвінків

Опис:

1. UE знаходиться в E-UTRA або NR cell, підключеній до 5GC (в режимі очікування або з'єднання)
2. Запитує екстрений сеанс IMS (наприклад, голосовий).
3. Якщо AMF визначає використання fallback EPC для екстрених викликів, UE надсилає запити на обслуговування, вказуючи, що йому потрібен резервний код EPC для екстрених служб.
4. 5GC ініціює аварійний запит на fallback EPC, вказуючи NG-RAN, що існує fallback EPC для екстреної служби; AMF на основі EPC або підтримки екстреної служби 5GC дозволить вузлу RAN виконати процедури процедуру inter-RAT fallback або system fallback.

5. Залежно від цільового CN, зазначеного на кроці 4), NG-RAN виконує одну з наступних процедур:

   5.1 Якщо UE в даний момент знаходиться в NR, NG-RAN ініціює передачу або перенаправлення на підключену комірку 5GC E-UTRAN

   5.2 NG-RAN ініціює передачу або перемаршрутизацію до E-UTRAN, підключеної до EPC

6. Після переадресації до комірки призначення, UE генерує PDU сеансу/з'єднання PDN для аварійних служб IMS і виконує процедури IMS для встановлення аварійного сеансу IMS (наприклад, голосового).

1.7 Віртуалізація у 5G Core

Network Function Virtualization (NFV) - це важливий спосіб швидкого розгортання та управління вимогами до енергоспоживання для різних мережевих функцій. NFV дозволяє розділити програмне та апаратне забезпечення, щоб різні мережеві функції (NF) могли бути встановлені на одному обладнанні. Це не лише пришвидшує розгортання, але й зменшує витрати на розгортання, оскільки постачальникам більше не потрібне спеціалізоване обладнання.

5G Core буде розгорнуто в хмарному середовищі з використанням контейнерів.

Технічні переваги такі:

1. Менше ресурсів потрібно для тієї ж кількості процесів і функцій, оскільки інфраструктура може бути спільною

2. Розгортання та обслуговування мережевих функцій можна автоматизувати.

Переваги для бізнесу.

1. Витрати знижуються, оскільки багато мережевих функцій можуть виконуватися за допомогою обладнання від одного постачальника

2. Спільна інфраструктура підвищує конкуренцію на ринку, заохочує інновації та низькі витрати.

3. Швидше виведення на ринок нових продуктів.

1.8 Network Function Virtualization та котейнери

5G Core планується розгорнути в контейнерному середовищі Cloud Native. 5G Core Network Functions (еквівалентні VNF), такі як AMF і SMF, будуть декомпоновані у віртуальні мережеві послуги (еквівалентні одному або декільком VNFC), такі як зв'язок тощо. Розгортаючи VNF як мікросервіси, мікросервіси можна розширювати відповідно до потреб. Кожна віртуальна мережева служба не залежить від інших віртуальних мережевих служб, тому при розширенні функціональності програмного забезпечення програмний код може бути розроблений і розгорнутий тільки для необхідної віртуальної мережевої служби, не впливаючи на інші віртуальні мережеві служби, тим самим зменшуючи кількість часу, витраченого на роботу в мережі. Це зменшує час, необхідний для тестування та розгортання програмного забезпечення.

На схемі нижче показано взаємозв'язок між VNF, VNFC і контейнерами. Зверніть увагу, що 5G NF також можуть поєднуватися з мережевими функціями 4G; наприклад, HSS може поєднуватися з UDM. Іншим прикладом є поєднання SGW-C, PGW-C і SMF.

VNF ядра 5G розгортається в контейнері. Цей контейнер може бути розгорнутий у віртуальній машині або БМ. Спочатку планується розгортання контейнера VNF у віртуальній машині. Це дозволяє кожному VNF мати власну операційну систему, що дозволяє кожному контейнеру мати власне автономне та ізольоване середовище, на відміну від ситуацій, коли VNF контейнеризуються і розміщуються на голому металі, кожен з яких використовує одну операційну систему і контейнерний движок.

Нижче наведено три можливі варіанти розгортання 5G Core:

1. Розгортання контейнерних віртуальних машин рівня керування на "голому металі" і відмова від розгортання віртуальних машин рівня користувача на контейнерних віртуальних машинах

2. Розгортання контейнерних VNF площини керування та VNF площини користувача на віртуальних машинах.

3. Всі контейнери VNF розробляються на віртуальних машинах.

2 ПОСЛУГИ НА БАЗІ 5G ТЕХНОЛОГІЇ

Послуги в мережах 5G надаються завдяки 5G Core - Native Network Slicing.

Native Network Slicing в основному поділяється на наступні слайси:

1. Надширокосмуговий мобільний зв'язок (Extreme Mobile Broadband, eMBB) - застосування надширокосмугового зв'язку для передачі "важкого" контенту.

2.Масові комунікації машинного типу (Massive Machine-Type Communications, mMTC) - підтримка IoT.

3. Наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC) - надання спеціалізованого класу послуг з дуже низькою затримкою.

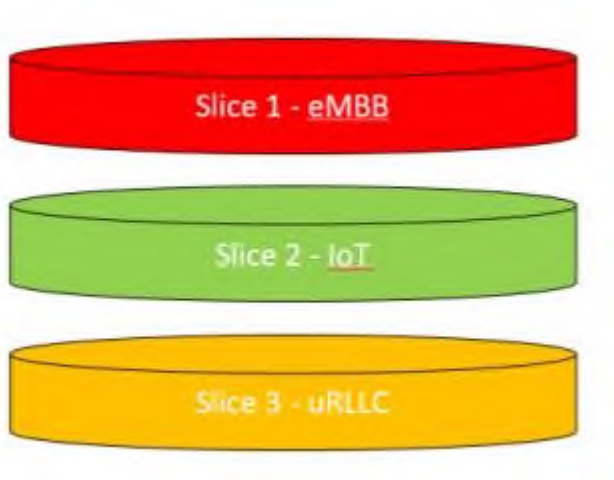


Рис. 2.1 Концепт слайсингу

Слайси дозволяють виділити частину мережевої інфраструктури для таких сервісів, як eMBB, IoT та uRLCC. Ця частина називається Slice і може надавати послуги з власною конфігурацією та функціями безпеки (QoS, політики тощо).

Основними перевагами розбиття мережі на сегменти за допомогою 5G Core є

1. Гнучкість послуг:

1.1 Нові послуги можуть бути впроваджені швидко.

1.2. Більш широке впровадження таких послуг, як IoT, eMBB, Enterprise тощо

1.3. Надання послуг на вимогу з високою продуктивністю та надійністю.

1.4. Багато слайдів з деякими слайдами, специфічними для UE.

1.5. Слайди, специфічні для мережевих функцій.

2. Автоматичні операції.

2.1. Автоматизовані операції призводять до меншого споживання ресурсів.

2.2. Динамічне розширення окремих функцій в межах зрізу мінімізує вплив на існуючі послуги.

3. Ізоляція:

3.1. Послуги в одному зрізі не впливають на послуги в інших зрізах.

4. Безпека:

4.1 Забезпечує приватні, більш захищені мережі для підприємств та роздрібних споживачів.

Слайсинг також може використовуватися в мережах 4G. Однак, застосування нарізки в 4G обмежене порівняно з ядром 5G: У 4G нові послуги впроваджуються за допомогою нарізки, а приватна безпека обмежена порівняно з архітектурою 5G, розробленою навколо послуг.

2.1 Ultra-Reliable Low Latency communication, URLLC

Наднадійний міжмашинний зв'язок з низькими затримки можливий за рахунок MEC (Multi Access Edge Computing). Розділяючи User plane та Control plane, User plane можна розмістити якомога ближче до абонента, таким чином зменшуючи затримку і покращуючи якість обслуговування нових послуг. Наведена нижче схема ілюструє надання послуг з MEC. Ігрові додатки можна перенаправляти на сервери XBOX через локальний DC1 без необхідності звертатися до центрального data center (DC).

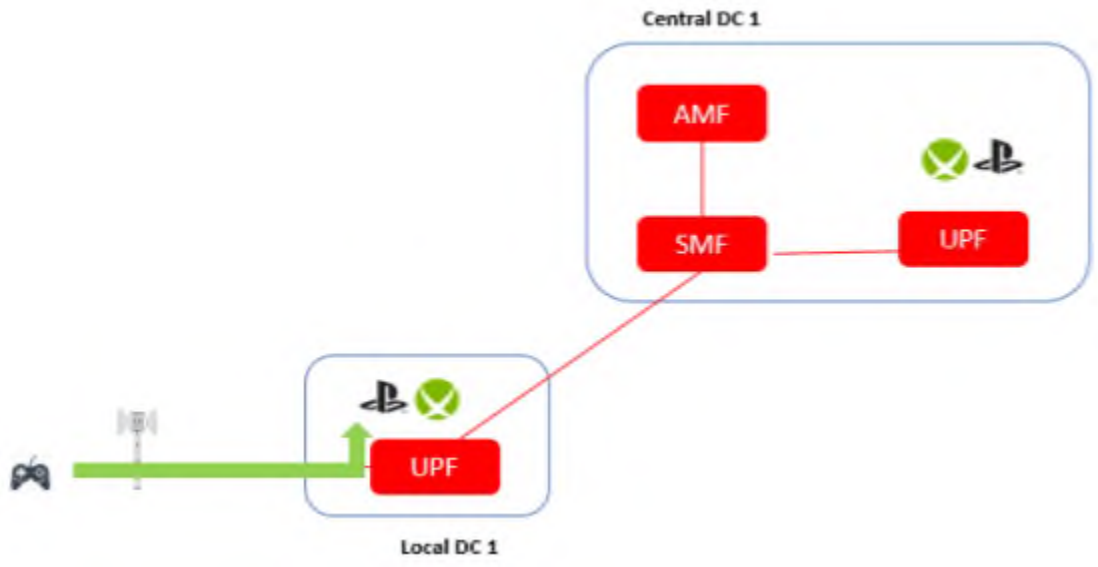


Рис.2.2 Доставка послуг з MEC

Переваги MEC з 5G Core:

1. Маршрутизація трафіку на основі додатків - трафік на основі додатків може бути спрямований до найближчого або до централізованого DC.
2. Безперервність сеансу та вимоги до послуг можуть підтримуватися під час переміщення пристроїв між різними DC.
3. Make-before-break - безперервність обслуговування може бути забезпечена в дорозі.
4. Гнучкий вибір і безперешкодна міграція між майданчиками MEC на ходу, щоб пристосуватися до майбутніх розподілених масштабів MEC.

2.2 QoS стандартизація

Новий QoS дозволяє забезпечити вищий пріоритет і меншу затримку для широкого спектру додатків і послуг. 5G Core може забезпечити кращий QoS для нових типів трафіку, для яких QoS 4G не стандартизований.

У таблиці нижче показано показники якості 5G для різних послуг. Таблиця базується на рекомендаціях 3GPP щодо QoS 5G.

Таблиця 2.1

Рекомендації 3GPP для 5G QoS

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
1	GBR	20	100 ms		N/A	2000 ms	Голосовий дзвінок
2		40	150 ms		N/A	2000 ms	Відео дзвінок (живий стрімінг)
3		30	50 ms		N/A	2000 ms	Ігри в реальному часі, V2X повідомлення, розподіл електроенергії - середня напруга, моніторинг автоматизації процесу

Продовження таблиці 2.1

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
4	GBR	50	300 ms		N/A	2000 ms	Не розмовне відео (буферизований потік)
65		7	75 ms		N/A	2000 ms	Критично важливий голосовий трафік Push To Talk користувача
66		20	100 ms		N/A	2000 ms	Не критично важливий голосовий трафік Push To Talk користувача
67		15	100 ms		N/A	2000 ms	Критично важливий відео трафік користувача
71		56	150 ms		N/A	2000 ms	"Живий" стрімінг трафік від абонента
72		56	300 ms		N/A	2000 ms	"Живий" стрімінг трафік від абонента
73		56	300 ms		N/A	2000 ms	"Живий" стрімінг трафік від абонента

Продовження таблиці 2.1

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
74	GBR	56	500 ms		N/A	2000 ms	"Живий" стрімінг трафік від абонента
76		56	500 ms		N/A	2000 ms	"Живий" стрімінг трафік від абонента
5	Non-GBR	10	100 ms		N/A	N/A	IMS сигнальний трафік
6		60	300 ms		N/A	N/A	Відео (буферизований потік), сервіси котрі базуються на TCP протоколі (www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, і т.д.)
7		70	100 ms		N/A	N/A	Голос, відео ("живий" стрімінг), інтерактивні ігри

Продовження табл. 2.1

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
8	Non-GBR	80	300 ms		N/A	N/A	Відео (буферизований потік), сервіси котрі базуються на TCP протоколі (www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, і т.д.)
9		90					
69		5	60 ms		N/A	N/A	Критично важливий та чутливий до затримок сигнальний трафік (наприклад, MC-PTT сигнальний трафік)
70		55	200 ms		N/A	N/A	Критично важливий трафік користувача (наприклад сервіси також як у 5QI 6/8/9)
79		65	50 ms		N/A	N/A	V2X повідомлення

Продовження табл. 2.1

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
80	Non-GBR	68	10 ms		N/A	N/A	Низька затримка eMBB для віртуальної реальності
82	Delay-critical GBR	19	10 ms		255 bytes	2000 ms	Дискретна автоматизація
83		22	10 ms		1354 bytes	2000 ms	Дискретна автоматизація, V2X повідомлення (UE - RSU група, просунуте управління: стрічка підприємства з низьким рівнем автоматизації)
84		24	30 ms		1354 bytes	2000 ms	Системи інтелектуального транспорту
85		21	5 ms		255 bytes	2000 ms	Розподіл електроенергії (висока напруга), V2X повідомлення (віддалене керуванн)

Продовження табл. 2.1

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
86	Delay-critical GBR	18	5 ms		1354 bytes	2000 ms	V2X повідомлення (просунуте управління: уникнення зіткнень, група з високим рівнем автоматизації)

Переваги нових QoS з 5G Core:

1. QoS на основі потоку (розділення QoS за потоком, наприклад, відео на веб-сторінці, тип відео і т.д.).

2. Більш надійне управління E2E, що дозволяє контролювати трафік і додатки.

2.3 Extreme Mobile Broadband, eMBB

eMBB - це сучасна мобільна широкосмугова послуга, розроблена для задоволення зростаючої швидкості користування Інтернетом через мобільний зв'язок (передача даних). Для цього eMBB використовує дві основні технічні умови:

1. Зміщення частотного діапазону в сантиметровий і міліметровий діапазони для забезпечення більш широкої смуги пропускання

2. Розробка антенних решіток, що містять сотні передавальних і приймальних антенних елементів для підтримки багатоелементних антен MIMO і формування променя.

Очікується, що цільова швидкість передачі даних для 5G становитиме до 20 Гбіт/с у Downlink каналі. Використовуються широкосмугові (до 1-2 ГГц), міліметрові (наприклад, 28 ГГц), сантиметрові (наприклад, 3,5 ГГц) і до 1 ГГц частоти.

Технологія з декількома антенами дозволяє створювати промені, які збільшують спектральну ефективність системи та покриття мережі. Нижче наведено таблицю швидкості передачі даних за діапазонами частот.

Таблиця 2.2.

Залежність швидкості від частотного діапазону

Частотный диапазон, ГГц	**Ширина канала, МГц**	**MIMO**	**Максимальная скорость передачи данных, Гбит/с**
24 - 28	1000	2x2 / 4x4	10 / 20
3.3 - 4.9	100	4x4	2
<1	20	2x2	0.2

2.4 Massive Machine-Type Communications, mMTC

mMTC - необхідний для підключення великої кількості пристроїв. Цільові пристрої включають сигналізацію (пожежа, температура, забруднення тощо), лічильники (води, електроенергії, газу тощо) та різноманітні датчики. Такі пристрої характеризуються низьким енергоспоживанням. Такі пристрої часто встановлюються у важкодоступних місцях і тривалий час (кілька років) потребують живлення від автономного джерела (батареї). Крім того, eMBB не є обов'язковою вимогою для таких пристроїв, оскільки вони не потребують великих обсягів даних.

2.5 Характеристика слайсів

eMBB

Attribute	Value
Area of Service	Germany
Guaranteed Throughput for UE (Downlink)	192 Kbps
Max Throughput for UE (Downlink)	50, 000 Kbps
Guaranteed Throughput for UE (Uplink)	192 Kbps
Slice QoS Parameters	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9
Session & Service Continuity Support	1
MMTel support	1
# of Terminals	10000000

Рис. 2.3 Характеристики eMBB

Перевага слайсу eMBB полягає у високій пропускній здатності під час мобільності.

URLLC

Attribute	Value
E2E Latency	150ms
Survival time	200ms
Service Availability	99%
Reliability	99.999%
Traffic density	10 Gbps/sq. km
Service Area	2km along national highway
Expected Data Rate	10mbps
# of Terminal/density	1000/ sq. km

Рис. 2.4 Характеристики URLLC

Перевага слайсу URLLC полягає у забезпеченні наднизької затримки.

MMTC

Attribute	Value
# Terminal Density	100 K/sq. km
Area of Service	Germany, residential
NB-IoT support	yes
NIDD Support	Yes
User data access	Local breakout
Position accuracy	95%
Payload size	200kb
Mobility support	No

Рис. 2.5 Характеристики mMTC

Перевага слайсу mMTC полягає у максимальній енергоефективності (життєвий цикл батареї до 10 років). Підтримка IoT, тобто підтримка підключення дуже великої кількості пристроїв.

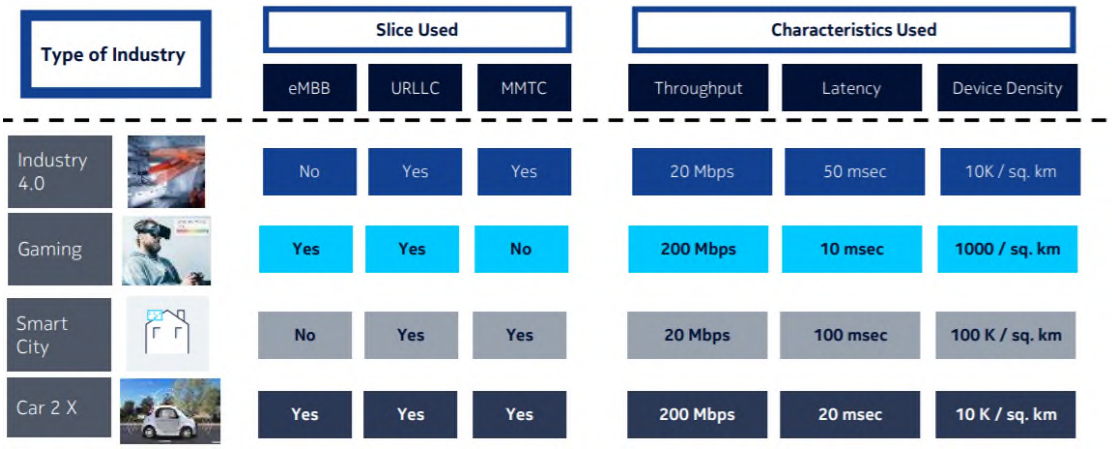


Рис. 2.6 Приклад практичного використання слайсів

3 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ МАСШТАБОВАНОЇ ПАКЕТНОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

3.1 Загальне положення

Методологія розрахунку ключових показників ефективності елементів мережі базується на використанні статистичних даних, отриманих від елементів мережі, та прогнозів Генеральної дирекції з маркетингу щодо зміни абонентської бази та використання послуг. Розрахунки базуються на основних положеннях моделі та рекомендаціях постачальників відповідного обладнання щодо розрахунку ефективності елементів мережі. Загальний підхід до розрахунку ефективності елементів мережі показано на рисунку 1. Для встановлення тенденції зміни навантаження на елементи мережі використовується статистичний період (дані за 6-12 місяців). Крім того, на основі щомісячних даних про абонентський трафік, отриманих від відділу маркетингу, будуються графіки прогнозу навантаження. На основі графіків прогнозу навантаження будуються графіки зміни навантаження для конкретних елементів мережі. Коли прогнозована зміна навантаження досягає 80% від ліцензійної та/або апаратної ємності відповідного елемента мережі, приймається рішення про необхідність розширення. Основним критерієм для визначення необхідності збільшення пропускної спроможності елемента мережі є прогнози трафіку/абонентів, надані відділом маркетингу. До максимального абонентського навантаження додається технічний запас у розмірі 20 відсотків від прогнозу. Технічний запас використовується для запобігання перевантаженню елементів мережі. Якщо постачальник враховує цю величину при розрахунку ємності обладнання, технічний запас не додається.

Макс. ємність після розширення

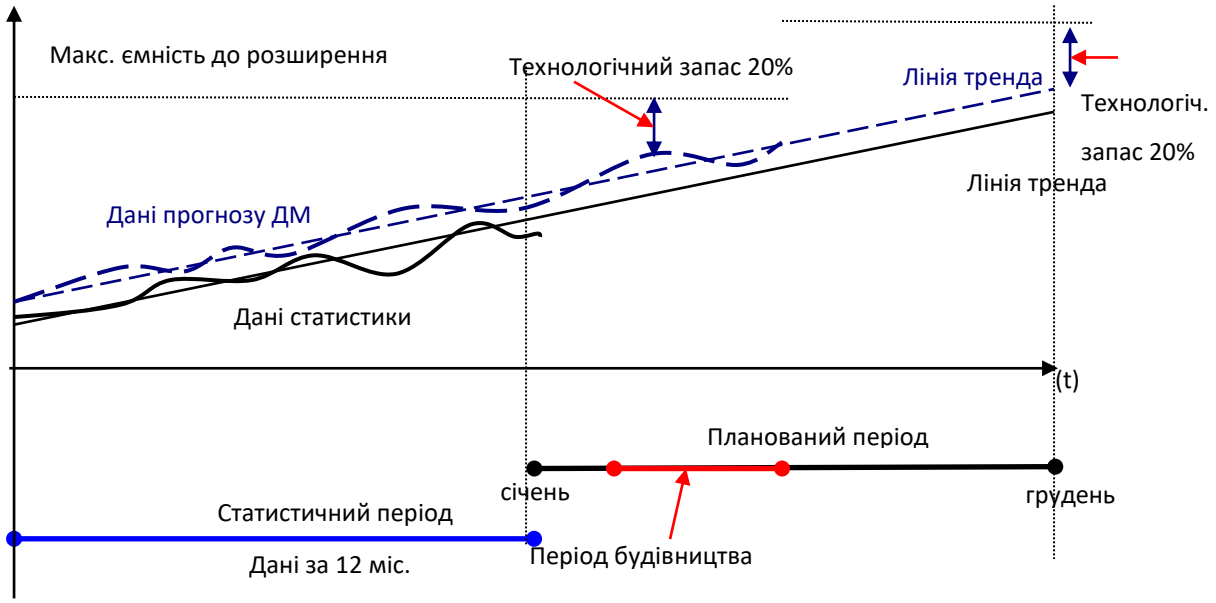


Рис. 3.1 Підхід до визначення ємності розширення

Основними показниками, що використовуються для оцінки необхідності розширення елементів мережі SGSN/MME/S-GW, є

- Абонентська ємність SAU;
- Пропускна здатність інтерфейсу Gb (Мбіт/с);
- Пропускна здатність інтерфейсу Iu (Мбіт/с);
- Пропускна здатність інтерфейсу S1 (Мбіт/с);
- Пропускна здатність інтерфейсу Iu (Мбіт/с);
- Пропускна здатність інтерфейсу S11 (Мбіт/с);
- Пропускна здатність інтерфейсів Gn/Gp/S5/S8 (Мбіт/с);
- Пропускна здатність пакетних сесій (на носіях PDP Stx/EPS).

Основними показниками, що використовуються для оцінки необхідності розширення елементів мережі GGSN/P-GW, є

- Пропускна здатність інтерфейсів Gn/Gp/S5/S8 (Мбіт/с);
- Пропускна здатність інтерфейсу SGi (Мбіт/с);
- Пропускна здатність пакетних сесій (на носіях PDP Stx/EPS);

Коефіцієнти використовуються для розрахунку основного показника пропускної здатності елемента мережі:

- (k) - коефіцієнт визначає значення тривалості пікового навантаження елемента мережі в заданий період. Загальна методика розрахунку коефіцієнта (k) наведена на рисунку 3.2.
- (u) - цей коефіцієнт визначає відношення кількості абонентів, що користуються послугою, до загальної кількості абонентів. Загальна методика розрахунку коефіцієнта (u) наведена на рисунку 3.3.

Коефіцієнт (k) розраховується за наступною формулою:

$$k = \frac{t}{T}, \text{ де} \qquad (3.1)$$

T - часовий статистичний інтервал, за замовчуванням приймається рівним 24 годинам (доба);

t - часовий інтервал, протягом якого значення навантаження на мережевому елементі перевищувала 80% від пікового значення в заданий часовий інтервал (T); Використовується найбільше значення за місяць.

Коефіцієнт (u) визначається за такою формулою:

$$u = \frac{AVG_n(P_2)}{AVG_n(P_1)}, \text{ де} \qquad (3.2)$$

$AVG_n(P_1)$- середньостатистичне значення параметра P_1;

$AVG_n(P_2)$ - середньостатистичне значення параметра P_2;

n- кількість відліків формування середньостатистичного значення;

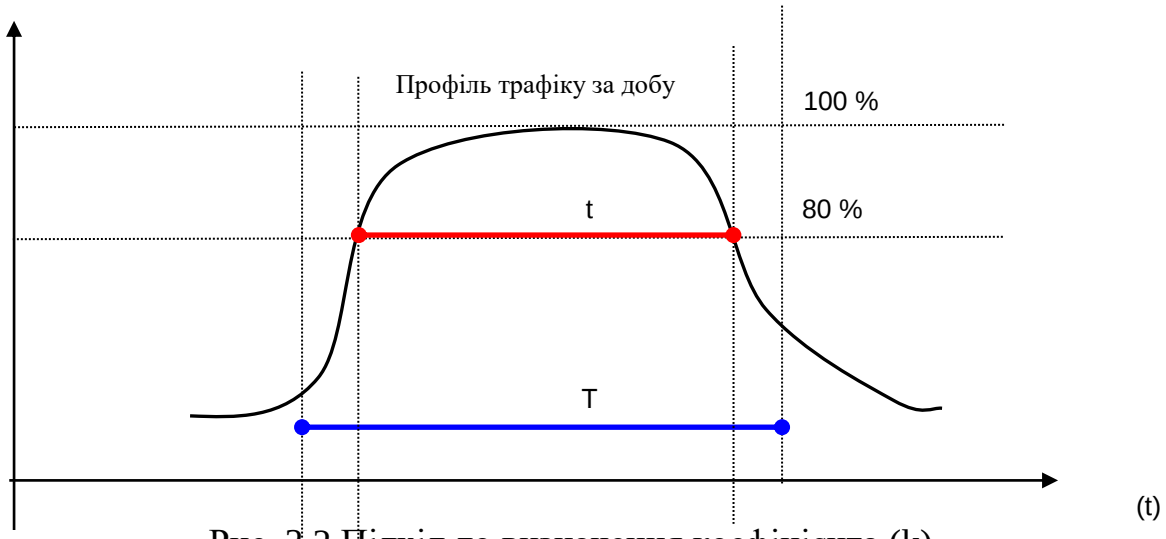


Рис. 3.2 Підхід до визначення коефіцієнта (k)



Рис. 3.3. Підхід до визначення коефіцієнта (u)

3.2 Методика розрахунку основних ємнісних і кількісних показників пакетної комутаційної підсистеми Evolved Packet Core

3.2.1 Розрахунок абонентської ємності SGSN/MME/S-GW

Для розрахунку абонентської ємності SGSN/MME/S-GW використовуються дані зведеного прогнозу, статистичне навантаження елементів мережі та наявна ліцензійна і апаратна ємність елементів мережі SGSN/S-GW/MME в САУ.

На основі статистичних даних та прогнозів відділу маркетингу будується лінія тренду, яка показує ймовірне (можливе) навантаження елементів мережі протягом планового періоду (рис. 3.1).

Крім того, розраховується абонентська ємність SGSN/S-GW/MME за допомогою коефіцієнта (u_{SAU}), який являє собою відношення кількості абонентів, зареєстрованих в SGSN/S-GW/MME (SAU), до загальної кількості абонентів за формулою (2). Коефіцієнт (u_{SAU}) може змінюватися відповідно до динаміки зміни кількості зареєстрованих абонентів в SGSN/S-GW/MME на основі статистичних даних.

При розрахунку планового показника продуктивності/абонентської ємності елемента мережі до значення лінії тренду додається значення технічного запасу.

Кількість абонентів, зареєстрованих в SGSN/S-GW/MME (SAU), розраховується за допомогою Табл 3.1.

Таблиця 3.1.

Розрахунок SAU

2G SAAU	SAAU = number of PDPs
2G SAU	SAU = SAAU/0.5
3G SAAU	SAAU = number of PDPs
3G SAU	SAU = SAAU/0.5
LTE SAU/SAAU	LTE SAU = LTE SAAU = number of bearers

Остаточний розрахунок абонентської ємності SGSN/S-GW/MME базується на наступній формулі

$SAU(i) = C_F \cdot u_{SAU}$, де (3.3)

C_F - прогнозоване значення кількості абонентів, що отримується з прогнозу дирекції маркетингу;

u_{SAU} - коефіцієнт відношення кількості зареєстрованих в SGSN/S-GW/MME абонентів (SAU) до загальної абонентської бази;

і – індикатор розрахункового періоду.

При виявленні дефіциту ресурсу протягом розрахункового періоду визначається потреба в розширенні елемента мережі. Основним критерієм для визначення необхідності розширення елемента мережі є прогноз абонентів, наданий відділом маркетингу, але якщо є розбіжність більш ніж на 10% між прогнозом відділу маркетингу та статистичними даними за звітний період, дані звіряються та коригуються.

3.2.2 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсу Gn/S5 для SGSN/GGSN/S-GW/P-GW і інтерфейсу SGi

Для розрахунку пропускної здатності інтерфейсу Gn/S5 (SGi) використовуються дані консолідованого прогнозу трафіку на плановий період, статистичне навантаження на інтерфейс Gn/S5 (SGi) за звітний період та наявні ліцензійні та апаратні потужності елементів мережі SGSN/MME/S-GW/GGSN/P-GW для пропускної здатності інтерфейсу Gn/S5 (SGi).

Значення обсягу даних, наведені в щомісячних прогнозах Генерального директорату з маркетингу, конвертуються в пропускну здатність інтерфейсу Gn/S5 (SGi) за наведеною нижче формулою:

$$Gn/S5(SGi)(i) = \frac{L(i)_{Gn/S5(SGi)} \cdot 8}{k_{Gn/S5(SGi)} \cdot D_{Gn/S5(SGi)} \cdot 24 \cdot 3600}, \text{ де} \qquad (3.4)$$

$L(i)_{Gn/S5(SGi)}$ – прогноз GPRS/UMTS/LTE - трафік за розрахунковий період, в MB;

$k_{Gn/S5(SGi)}$ – коефіцієнт розрахунку тривалості пікового завантаження мережевого елемента на інтерфейсах Gn/S5 (SGi) (Формула 3.1).

Коефіцієнт ($k_{Gn/S5(SGi)}$) може переглядатися та узгоджуватися групою планування та розвитку пакетної мережі та департаментом маркетингу в робочому порядку, залежно від динаміки споживання трафіку та у разі відхилення статистичних даних більш ніж на 10% від оцінок департаменту маркетингу. Періодичність перегляду коефіцієнта ($k_{Gn/S5(SGi)}$) повинна бути не рідше одного разу на квартал (1 разу на місяць);

$D_{Gn/S5(SGi)}$ - кількість днів у розрахунковому періоді;

і – індикатор розрахункового періоду.

На основі статистичних даних та зведених прогнозів будується лінія тренду, яка показує ймовірне (можливе) навантаження протягом планового періоду (Рисунок 3.1). При розрахунку планових показників роботи елементів мережі до значень лінії тренду додаються значення технічних резервів.

Якщо в певній частині планового періоду спостерігається дефіцит ресурсу, визначається потреба в розширенні потужностей. Основним критерієм для визначення потреби в розширенні пропускної спроможності елементів мережі є прогноз трафіку, наданий відділом маркетингу, але у разі розбіжності більше ніж на 10% між прогнозом відділу маркетингу та статистичними даними за звітний період, дані коригуються та узгоджуються.

3.2.3 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсів Gb/Iu/S1 SGSN/MME/S-GW

Для розрахунку пропускної здатності інтерфейсу Gb/Iu/S1 використовується консолідований прогноз трафіку на плановий період, статистичне навантаження інтерфейсу Gb/Iu/S1 за звітний період та доступна ліцензійна і апаратна ємність мережевого елемента SGSN/MME/S-GW для інтерфейсу Gb/Iu/S1.

Значення обсягу даних, наведені в щомісячних прогнозах дирекції з маркетингу, конвертуються в пропускну здатність для інтерфейсів Gn/S5/S8 (SGi) за допомогою наступної формули:

$$\text{Gb/Iu/S1} - PS(i) = \frac{L(i)_{Gb/Iu/S1} \cdot 8}{k_{Gb/Iu/S1} \cdot D_{Gb/Iu/S1} \cdot 24 \cdot 3600}, \text{ де} \qquad (3.5)$$

$L(i)_{Gb/Iu/S1}$ - прогноз GSM/UMTS/LTE -трафік за розрахунковий період, в MB;

$k_{Gb/Iu/S1}$ – коефіцієнт розрахунку тривалості пікового завантаження мережевого елемента на інтерфейсі Gb (Формула 3.1).

Коефіцієнт ($k_{Gb/Iu/S1}$) може переглядатися та узгоджуватися групою планування та розвитку пакетної мережі та департаментом маркетингу в робочому порядку, залежно від динаміки споживання трафіку та у разі відхилення статистичних даних більш ніж на 10% від оцінок департаменту маркетингу. Періодичність перегляду коефіцієнта ($k_{Gb/Iu/S1}$) повинна бути не рідше одного разу на квартал (1 разу на місяць);

$D_{Gb/Iu/S1}$ - кількість днів у розрахунковому періоді;

i – індикатор розрахункового періоду.

На основі статистичних даних та консолідованих прогнозів будується лінія тренду, яка показує можливе (ймовірне) навантаження протягом планового періоду (Рисунок 3.1). При розрахунку планових показників ефективності/ абонентської ємності елемента мережі до значення лінії тренду додається величина технічного резерву.

Якщо в певній частині планового періоду спостерігається дефіцит ресурсу, визначається потреба в розширенні пропускної спроможності. Основним критерієм для визначення потреби в розширенні ємності елементів мережі є прогноз трафіку, наданий відділом маркетингу, але у разі розбіжності більш ніж на 10% між

прогнозом відділу маркетингу та статистичними даними за звітний період, дані коригуються та уточнюються.

3.2.4 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсу Gp/S8

Розрахунки пропускної здатності інтерфейсу Gp/S8 базуються на обсягах трафіку на плановий період, статистичних показниках завантаження (Мбіт/с) за звітний період та наявних ліцензіях і апаратних потужностях мережевих елементів SGSN/MME/S-GW і GGSN/P-GW для пропускної здатності інтерфейсу Gp.

Використовуються дані, включені до консолідованих прогнозів. Значення обсягу даних, надані Дирекцією з маркетингу в щомісячних прогнозах, переводяться в пропускну здатність інтерфейсу Gp/S8 за наступною формулою:

$$\text{Gp/S8}\ (i) = \frac{L(i)_{Gp/S8} \cdot 8}{k_{Gp/S8} \cdot D_{Gp/S8} \cdot 24 \cdot 3600}\ \text{, де} \qquad (3.6)$$

$L(i)_{Gp/S8}$ – прогноз роумінгового GPRS/UMTS/LTE - трафік за розрахунковий період, МВ;

$k_{Gp/S8}$ – коефіцієнт розрахунку тривалості пікового завантаження мережевого елемента на інтерфейсі Gp/S8 (Формула 3.1).

Коефіцієнт ($k_{Gp/S8}$) може переглядатися та узгоджуватися групою планування та розвитку пакетної мережі та департаментом маркетингу в робочому порядку, залежно від динаміки споживання трафіку та у разі відхилення статистичних даних більш ніж на 10% від оцінок департаменту маркетингу. Періодичність перегляду коефіцієнта ($k_{Gp/S8}$) повинна бути не рідше одного разу на квартал (1 разу на місяць);

$D_{Gp/S8}$ - кількість днів у розрахунковому періоді;

i – індикатор розрахункового періоду.

Результати розрахунку пропускної здатності інтерфейсу Gp/S8 та інтерфейсу Gn/S5 об'єднуються. Якщо класифікація періоду розрахунку вказує на дефіцит ресурсів, визначається необхідність розширення пропускної здатності.

Основним критерієм для визначення потреби в розширенні пропускної здатності елементів мережі є прогноз роумінгового трафіку, наданий відділом маркетингу, але у разі розбіжності більш ніж на 10% між прогнозними даними, наданими відділом маркетингу, та статистичними даними за звітний період, дані коригуються та узгоджуються.

3.2.5 Розрахунок ємності вузла SGSN/MME/S-GW/GGSN/P-GW за кількістю пакетних сесій (PDP ctx/EPS bearer)

Для розрахунку пропускної здатності вузлів за рахунок пакетних сесій використовуються дані зведеного прогнозу та наявна ліцензійна і апаратна ємність елементів мережі SGSN/MME/S-GW/GGSN/P-GW за рахунок пакетних сесій (PDP/носій).

На основі статистичних даних та прогнозів відділу маркетингу будується лінія тренду, яка показує потенційне (ймовірне) навантаження елемента мережі протягом планового періоду (рис. 3.1). При розрахунку планових показників ефективності/ абонентської ємності елемента мережі до значення лінії тренду додається значення технічної маржі.

Крім того, при розрахунку абонентської ємності елемента мережі PDP використовується коефіцієнт ($u_{pdp/bearer}$), який є відношенням кількості абонентів з активними пакетними сесіями (PDP ctx/EPS носіїв) до загальної кількості абонентів, розрахованої за формулою (3.2). Коефіцієнт ($u_{pdp/bearer}$) періодично переглядається Групою планування та розвитку пакетної мережі відповідно до динаміки зміни кількості абонентів з активними пакетними сесіями (PDP ctx/EPS носіїв) на основі статистичних даних. Остаточний розрахунок значення пропускної спроможності

SGSN/MME/S-GW/GGSN/P-GW за кількістю пакетних сесій (PDP ctx/EPS носіїв) здійснюється за наступною формулою

$$PDP / Bearer(i) = C_F \cdot u_{pdp/bearer}, \text{ де} \quad (3.7)$$

C_F - прогнозоване значення кількості абонентів, що отримується з прогнозу дирекції маркетинга;

$u_{pdp/bearer}$ - коефіцієнт визначає відношення кількості абонентів з активними пакетними сесіями (PDP ctx/EPS bearer) до загальної абонентської бази;

і – індикатор розрахункового періоду.

Якщо в класифікації розрахункових періодів зазначено дефіцит ресурсів, визначається потреба в додаткових елементах мережі. Основним критерієм для визначення потреби в розширенні ємності елементів мережі є прогноз абонентів, наданий відділом маркетингу, але при розбіжності більш ніж на 10% між прогнозом відділу маркетингу та статистичними даними за звітний період, дані коригуються та узгоджуються.

3.2.6 Розрахунок пропускної здатності інтерфейсу Gx/Gy для GGSN/P-GW

Для розрахунку пропускної здатності вузла за рахунок сеансів DIAMETER на інтерфейсі Gx/Gy використовуються дані зведеного прогнозу, а також наявні ліцензійні та апаратні потужності елементів мережі GGSN/P-GW відповідно до кількості сеансів DIAMETER.

На основі статистичних даних та прогнозів відділу маркетингу будується лінія тренду, яка показує потенційне (ймовірне) завантаження елементів мережі протягом планового періоду (рис. 3.1). При розрахунку планових показників роботи елементів мережі до значення лінії тренду додається величина технічної маржі.

Крім того, при розрахунку абонентської ємності елемента мережі GGSN/P-GW використовується коефіцієнт ($u_{pdp/bearer_PRP}$), розрахований за формулою (2), який визначає відношення кількості абонентів PrP (передплачених) з активними

пакетними сесіями (PDP ctx/EPS носій) до загальної кількості абонентів. Коефіцієнт ($u_{pdp/bearer_PRP}$) періодично переглядається менеджером ємності відповідно до динаміки зміни кількості PrP (prepaid) абонентів з активними пакетними сесіями (PDP ctx/EPS носій) на основі статистичних даних.

Остаточний розрахунок значення ємності GGSN/P-GW для сеансів DIAMETER на інтерфейсі Gx/Gy виконується за наступною формулою:

$$DIAMETER(i) = C \cdot u_{pdp/bearer_PRP}, \text{ де} \qquad (3.8)$$

C - прогнозоване значення кількості абонентів, що отримується з прогнозу дирекції маркетинга;

$u_{pdp/bearer_PRP}$ - коефіцієнт визначає відношення кількості абонентів PrP (припейд) абонентів з активними пакетними сесіями (PDP ctx/EPS bearer) до загальної абонентської бази;

i – індикатор розрахункового періоду.

Якщо в класифікації розрахункових періодів зазначено дефіцит ресурсів, визначається потреба в додаткових елементах мережі. Основним критерієм для визначення потреби в розширенні ємності елементів мережі є прогноз абонентів, наданий відділом маркетингу, але при розбіжності більш ніж на 10% між прогнозом відділу маркетингу та статистичними даними за звітний період, дані звіряються та коригуються.

3.2.7 Розрахунок ємності ресурсів віртуалізації.

Завантаження процесора використовується для розрахунку ємності ресурсів віртуалізації. Якщо показник завантаження становить 70%, слід підготуватися до розширення, оцінити динаміку зростання трафіку та розрахувати необхідну кількість віртуальних машин і серверів.

При досягненні порогового значення 80% розширення має відбутися, інакше існує високий ризик припинення надання послуг.

3.3 Результат розрахунку основних показників Evolved Packet Core

В результаті розрахунку параметрів продуктивності мережевого елемента Evolved Packet Core приймається технічне рішення щодо розширення ресурсів мережевого елемента Evolved Packet Core і, за необхідності, його заміни на більш продуктивне обладнання або виконання оцінок відділу маркетингу. Приймаються рішення про розгортання нових елементів мережі, які гарантують виконання прогнозів відділу маркетингу.

Основними критеріями для прийняття рішень є наступні показники ефективності:

- Абонентська ємність SAU на SGSN/MME/S-GW (Формула 3.3);
- Пропускна здатність інтерфейсу Gn/S5 (Mbps) на GGSN/S-GW/P-GW і інтерфейсу SGi (Формула 3.4);
- Пропускна здатність інтерфейсу Gp/S8 (Mbps) на SGSN/MME/S-GW і GGSN/P-GW (Формула 3.6);
- Эмність по пакетним сесіям (PDP/bearers) на SGSN/MME/S-GW/GGSN/P-GW (Формула 3.7);
- Пропускна здатність інтерфейсу Gb/Iu/S1 (Mbps) на SGSN/MME/S-GW ;
- Пропускна здатність інтерфейсу SGi (Mbps);
- Пропускна здатність інтерфейсу (TPS) на GGSN/P-GW;

3.4 Закінчення розрахунку

Після завершення розрахунків рекомендується змінити структуру та параметри мережевих елементів відповідних підсистем.

ВИСНОВКИ

Мережа 5G Core - це нове стандартизоване ядро 3GPP, яке сильно оптимізує управління як сигнальним трафіком, так і трафіком споживача, і в той же час готове до найсучаснішої віртуалізації VNF.

На основі нової функціональної архітектури 5G Core, потрібно інтегрувати нову мережу з існуючою, для цього були проаналізовані та визначені опції підключення радіомережі безпроводового зв’язку до 5G ядра.

Основними очікуваними перевагами 5G Core є підтримка MEC, Native Slicing, IoT, покращеннями QoS, а також багатьма іншими ефективно розділенних старих функцій EPC (LTE), що призводить до набагато кращої гнучкості обслуговування, безпеки та автоматизації.

В ході роботи проаналізоавно перехід мобільного зв’язку до 5G технології, а саме зв'язки з 5G, протоколи, 5G роумінг та інше. Було розібрано послуги на базі 5G технології, зокрема URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication), QOS стандартизація, eMBB (Extreme Mobile Broadband) і mMTC (Massive Machine-Type Communications). І головне було розібрано методику створення масштабованої пакетної мережі на базі технології 5G і методику розрахунку основних показників пакетної комутаційної підсистеми Evolved Packet Core.