

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах
п'ятого покоління»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

Сулик Д. А.

Керівник: д.т.н., професор каф. ІКСТ
Кичак В.М.

« 13 » 12 2023 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС
Семенов А.О.

« 13 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

Кичак В.М.
д.т.н., проф.

« 13 » 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань - 17 – Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)

Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

“18” 09 2023 року



З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сулику Дмитру Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління

керівник роботи Кичак Василь Мартинович, докт. техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” 09 2023 року № 247

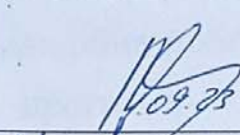

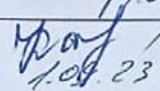
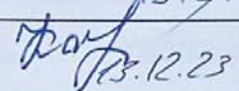
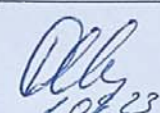
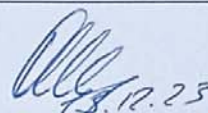
2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи діапазон частот - від 10 МГц до 6 ГГц; миттєва смуга пропускання - до 160 МГц; потужність - 50-100 МВт (17-20 дБм); діапазон шуму - 0-31,5 дБм; роздільна здатність ЦАП - 16 біт; кількість каналів – 2; максимальна кількість користувачів, які переглядають відео – 300; Максимальна кількість активних сесій користувачів на сервері сервіс провайдера – 100; поріг ініціалізації вимкнення сервера МЕС – 85-100; середній час перегляду відеофайлів – 45 хв.

4. Зміст текстової частини: дослідження особливостей розподілених обчислень у мережах 5G; методи побудови мереж майбутнього покоління на основі інтелектуального ядра мережі; динамічний алгоритм побудови мереж на основі інтелектуального ядра мережі; розробка математичної моделі вивантаження додатку мес для відеохостингу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) архітектура ПКМ (SDN) мережі; модель системи масового обслуговування; багаторівнева схема взаємодії ПКМ (SDN); принципова схема запропонованої моделі; модель обслуговування трафіку; схема реалізації системи моніторингу та керування в мережі 5G; архітектура мережі для підключення користувачів до сервісу відеоконтенту.

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кичак В.М., професор кафедри ІКСТ	 1.09.23	 13.12.23
Економічна частина	Кавецький В.В. доцент каф. ЕПВМ	 1.09.23	 13.12.23
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В. професор кафедри БЖДПБ	 1.09.23	 13.12.23

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

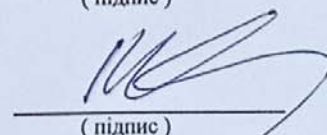
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	08.09.2023р.	
2.	Дослідження особливостей розподілених обчислень у мережах 5G	17.09.2023р.	
3.	Методи побудови мереж майбутнього покоління на основі інтелектуального ядра мережі	06.10.2023р.	
4.	Динамічний алгоритм побудови мереж на основі інтелектуального ядра мережі	27.10.2023р.	
5.	Розробка математичної моделі вивантаження додатку МЕС для відеохостингу	10.11.2023р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	17.11.2023р.	
7.	Охорона праці та безпека життєдіяльності	24.11.2023р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини	01.12.2023р.	
9.	Нормоконтроль МКР	04.12.2023р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	08.12.2023р.	
11.	Захист МКР ЕК	11.12.2023р.	

Студент


(підпис)

Сулик Д.А.

Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.391

Сулик Д. А. Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління – магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – Телекомунікаційні системи та мережі – Вінниця: ВНТУ 2023 р. 127 – стор., 34 – рис., 19 – табл., 24 – бібл. – українською мовою.

Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення виконання вимог концепції інтелектуального ядра та сервісної архітектури шляхом дослідження та розробки ефективних методів побудови перспективних мереж зв'язку.

Визначено модель, що відповідає вимогам мережі сервісної архітектури мережі, яка відрізняється від відомих наявністю інтегрованих вузлів граничних обчислювальних систем. Розглянуто метод вибору архітектури мережі 5G/SDN з граничною системою обчислень, що відрізняється від відомого оптимального розподілу послуг, що забезпечує мінімізацію середньої затримки по всій мережі.

Досліджено метод міграції додатків припинення обслуговування, що відрізняється від відомих тим що для його функціонування використовується прогнозування трафіку. Визначено модель, яка дозволяє вивантажити трафік відеохостингу групуючи користувачів, тим самим знижую навантаження на транспортні ділянки мережі для одного додатка.

Усі запропоновані мережеві та системні рішення й алгоритми оцінено порівняно з традиційними системами, що засвідчило переваги запропонованих у нових моделей і методів у галузі побудови мереж і систем зв'язку, а також алгоритмів оптимізації. Розглянуто сценарій надання послуг сервіс провайдером провайдера відеоконтенту користувачам, використовуючи локальні сервери МЕС оператора зв'язку при високому навантаженні на сервіс.

Ключові слова: інтелектуальне ядро; сервісна архітектура; гранична обчислювальна система; трафік відеохостингу; локальний сервер МЕС.

ABSTRACT

UDC 621.391

Sulyk D. A. Models of adaptive control of information traffic in fifth-generation networks - Master's thesis in speciality 172 - Telecommunications and Radio Engineering, Educational programme - Telecommunication systems and networks - Vinnytsia: VNTU 2023 - 127 - p., 34 - fig., 19 - tables, 24 - bibliography - in Ukrainian.

The purpose of the qualification work is to ensure that the requirements of the concept of an intelligent core and service architecture are met by researching and developing effective methods for building advanced communication networks.

A model is defined that meets the requirements of the network service architecture of the network, which differs from the known ones by the presence of integrated nodes of edge computing systems. A method for selecting a 5G/SDN network architecture with an edge computing system is considered, which differs from the known optimal distribution of services, ensuring minimisation of the average delay throughout the network.

A method of migration of out-of-service applications is investigated, which differs from the known ones in that it uses traffic forecasting for its functioning. A model has been defined that allows unloading video hosting traffic by grouping users, thereby reducing the load on the transport sections of the network for one application.

All the proposed network and system solutions and algorithms have been evaluated in comparison with traditional systems, which has shown the advantages of the new models and methods in the field of network and communication systems construction, as well as optimisation algorithms. The article considers the scenario of providing services by a video content provider to users using local MEC servers of a telecommunications operator under high service load.

Keywords: intelligent kernel; service architecture; edge computing system; video hosting traffic; local MEC server.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У МЕРЕЖАХ 5G	10
1.1 Програмно-конфігуровані мережі SDN	10
1.2 Архітектура EPC заснована на прикордонних обчисленнях.....	11
1.3 Граничні розрахунки для мереж п'ятого покоління	17
1.4 Аналіз стану дослідження	24
1.5 Висновки до розділу 1	37
2 МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ МАЙБУТНЬОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА МЕРЕЖІ	38
2.1 Аналітична модель програмно-конфігурованої мережі з урахуванням вузла пам'яті для правил маршрутизації.....	40
2.1.1 Проведені дослідження в цій галузі	41
2.1.2 Системна модель	42
2.1.3 Побудова математичної моделі	44
2.1.4 Спрощений сценарій.....	46
2.2 Чисельний аналіз	50
2.3 Інтелектуальне ядро мережі для обслуговування різних додатків толерантні до міграції	52
2.3.1 Системна модель	52
2.3.2 Структура програмно-конфігурованих мереж.....	54
2.3.3 Алгоритм вивантаження даних.....	55
2.3.4 Модель трафіку в системі граничних обчислень.....	56
2.3.5 Структура імітаційного моделювання	59
2.3.6 Аналіз результатів імітаційного моделювання	62
2.4 Висновки до розділу 2	65

3 ДИНАМІЧНИЙ АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА МЕРЕЖІ.....	67
3.1 Архітектура EPC на основі віртуалізації мережевих функцій	67
3.2 Архітектура EPC на основі SDN/NFV	69
3.3 Аналіз робіт і пропонуваній динамічний алгоритм.....	70
3.4 Система керування інформаційними потоками на основі модельної мережі 5G	72
3.5 Аналіз результатів імітаційного дослідження.....	74
3.6 Висновки до розділу 3	75
4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИВАНТАЖЕННЯ ДОДАТКУ MES ДЛЯ ВІДЕОХОСТИНГУ	76
4.1 Системна Модель	78
4.2 Математична модель.....	82
4.3 Висновки до розділу 4	90
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	91
5.1 Оцінювання наукового ефекту.....	91
5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	94
5.2.1 Витрати на оплату праці.....	95
5.2.2 Відрахування на соціальні заходи	98
5.2.3 Сировина та матеріали.....	98
5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	100
5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт	101
5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	102
5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень	103
5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	104
5.2.9 Службові відрядження.....	105
5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	106
5.2.11 Інші витрати.....	106
5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати.....	107

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	108
5.4 Висновок до розділу 5.....	110
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	111
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	111
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	114
6.2.1 Мікроклімат	114
6.2.2 Склад повітря робочої зони.....	115
6.2.3 Виробниче освітлення.....	116
6.2.4 Виробничий шум.....	117
6.2.5 Виробничі випромінювання.....	118
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій.....	119
6.3.1 Дія вогню на будівлі виробничих приміщень під час пожежі	119
6.3.2 Визначення нижньої та верхньої концентраційної межі спалахування пожежовивбухо-небезпечної суміші.....	120
6.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій.....	121
6.4 Висновки до розділу 6	122
ВИСНОВКИ.....	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	125
ДОДАТКИ.....	128
Додаток А ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	129
Додаток Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	134

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

IoT - Інтернет речей;
UPF - Функція площини користувача;
VMs - Віртуальні машини;
VNFs - Мережеві функції;
NFV - Віртуалізація мережевих функцій;
RNC - Контролер радіомережі з малою затримкою;
RAT - Технологія агрегації комірок;
MEC – Мобільні граничні обчислення;
ETSI - Європейський інститут телекомунікаційних стандартів;
QoS - Якість обслуговування;
BS – Базова станція;
ГА - Генетичний алгоритм;
SDN - Програмно-визначена мережа;
CSI - Інформація про стан каналу;
SDR - Програмно-конфігуроване радіо;
ПКМ – Програмно-керовані мережі;
СМО – Система масового обслуговування;
КРІ – Показник продуктивності мережі;
МХО – Мобільне хмарне обчислення;
UL - (англ.: Uplink) висхідний канал;
UE - (англ.: User Equipment) клієнтське обладнання;
НДР - Науково-дослідна робота.

ВСТУП

Актуальність теми. Ключовим технологічним прогресом у телекомунікаційній індустрії вважається можливість забезпечення гнучкої архітектури мережі зі збереженням рівня забезпечення якості обслуговування. Для забезпечення такої вимоги було розроблено концепцію граничних обчислень, яка забезпечує швидку реконфігурацію мережі, що дає змогу оптимальним шляхом розміщувати ресурси для надання послуг мережі. Серед них Тактильний Інтернет, Інтерактивні ігри, Віртуальна реальність та Промисловий Інтернет Речей. Усе це вимагає надзвичайно низької затримки для деяких компонентів застосунку. Як наслідок, фізичні обмеження (наприклад, швидкість світла) не дозволяють виконувати ці компоненти в традиційному хмарному форматі. Інший набір варіантів використання, який, ймовірно, значною мірою залежить від граничних обчислень, - це "масовий" Інтернет речей (IoT), де велике число пристроїв, таких як датчики, створюють і відправляють великий обсяг даних [1].

Учасники телекомунікаційного співтовариства сходяться на думці, що попередня фільтрація цих даних на границі мережі необхідна, щоб зробити систему в цілому масштабованою без перевантаження мережі та обчислювальних ресурсів хмари. Це робить наявність граничних пристроїв критично важливою для успіху 5G, а також відповідних стандартів для граничних обчислень MEC. Як зазначено в офіційному документі ETSI [ETSI 1], MEC може зіграти важливу роль у переході галузі до 5G. Це дає змогу розгортати додатки 5G в наявній інфраструктурі 4G з найменшими витратами.

Реалізація 5G вимагає різноманітної екосистеми зацікавлених сторін, до якої входять не тільки оператори телекомунікаційних компаній, постачальники обладнання, постачальники застосунків і контенту, стартапи та спільноти розробників, а також місцеві органи влади та інші державні організації. Для багатьох з них впровадження MEC має на увазі значні інвестиції в розробку і розгортання нової інфраструктури, зміну архітектури існуючих застосунків та

їхню інтеграцію з послугами МЕС, розуміння позитивного впливу, який величезна кількість мікроцентрів обробки даних може надати на місцеву економіку, а також на планування, необхідне для їхнього розповсюдження. Всі ці різноманітні організації шукають всебічне розуміння переваг МЕС з їхньої точки зору та рекомендації щодо вирішення проблем, пов'язаних з 5G [2].

Існує досить багато науково-дослідних робіт щодо концепції граничних обчислень у мережах зв'язку п'ятого покоління як мереж з надвисокою густиною, що є однією з ключових вимог мереж 5G [3].

Також активно досліджуються алгоритми вивантаження трафіку для гетерогенних мереж, що дають змогу раціонально розподіляти ресурси в таких мережах і досить надійно захищати ядро мережі від перевантажень тощо.

Аналіз останніх досліджень. У галузі мереж зв'язку п'ятого покоління існує досить багато праць учених: J. Andrews, J. Araniti, M. Dohler, N. Himayat, F. Baccelli, S. Rangan, T. Rappoport, S. Singh [4-8].

Водночас у царині мереж з ультра малими затримками дослідження тільки починаються, ще не розв'язано питання навіть вибору структури мережі для реалізації додатків мереж з ультра малими затримками. Проте можна відзначити досить відомі роботи M. Dohler, G. Fettweis, M. Maier, A. Aijaz, M. Simsek, J. Sachs, N. Nakamura, E. Steinbach [9-14].

Мета і завдання роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є забезпечення виконання вимог концепції інтелектуального ядра та сервісної архітектури шляхом дослідження та розробки ефективних методів побудови перспективних мереж зв'язку.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз концепції сервісної архітектури та вимог, що висувуються цією концепцією до мереж зв'язку, аналіз додатків та перспектив впровадження послуг Тактильного Інтернету, Інтернету речей тощо;
- розробка моделі та методу побудови мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, на основі використання технології мобільних граничних обчислень МЕС;

- розробка методу вивантаження трафіку для мережі зв'язку п'ятого покоління з використанням спільно як технології MEC.

- удосконалення методів побудови інтелектуального ядра мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, що реалізує вимоги сервісної архітектури, на основі технології програмно-конфігурованих мереж SDN.

- визначення платформи, що забезпечує централізоване управління вузлами граничних обчислювальних систем і мережевою інфраструктурою мережі.

З урахуванням викладеного тема магістерської кваліфікаційної роботи є актуальною.

Об'єктом дослідження є мережі зв'язку п'ятого покоління 5G.

Предметом дослідження є реалізація вимог до сервісної архітектури систем у мережах 5G.

Методи досліджень базуються на використанні: методів емпіричного моделювання, математичної статистики, теорії ймовірностей, оптимізації, модельна мережа, імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання виконувалося за допомогою пакетів Matlab, Wolfram Mathematica.

Новизна одержаних результатів:

- розглянута модель відповідає вимогам мережі сервісної архітектури мережі, яка відрізняється від відомих наявністю інтегрованих вузлів граничних обчислювальних систем.

- досліджений автономний механізм міграції додатків забезпечує низькі втрати сесій і ймовірності помилки, який на відміну від відомих функціонує без припинення обслуговування.

- визначений метод міграції додатків припинення обслуговування відрізняється від відомих тим, що для його функціонування використовується прогнозування трафіку

- розглянутий метод вибору архітектури мережі 5G/SDN з граничною системою обчислень відрізняється від відомих оптимального тим, що забезпечує мінімізацію середньої затримки по всій мережі.

Апробація роботи та її основні результати роботи проводилися на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)» у 2023 році.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У МЕРЕЖАХ 5G

1.1 Програмно-конфігуровані мережі SDN

Поточна робота над (software defined networking) SDN почалася приблизно у 2008 році. Це дало змогу відокремити площину управління від комутаційного обладнання. Для пересилання пакетів це було радикальною зміною порівняно зі спеціалізованим апаратним забезпеченням, що містить у собі управління фіксованими функціями. Що дає змогу запрограмувати апаратне забезпечення, яке обробляє трафік даних із гнучкістю, яка раніше була неможлива. Це сталося насамперед тому, що він відокремив цикли випуску порівняно гнучкого програмного забезпечення від порівняно більш повільних циклів випуску, інтегрованого програмного та апаратного забезпечення.

З моменту створення Open Networking Foundation (ONF) у 2011 році, тема SDN набула великої актуальності. Початкова трирівнева архітектура, що складається з рівнів інфраструктури, управління і додатків, допомогла пояснити, що таке програмно-визначувана мережа: рівень управління використовується для передавання даних (у традиційних мережах рівень управління розташовується всередині мережевого обладнання) з метою зробити мережу програмованою та дати змогу додаткам і мережевим службам безпосередньо керувати абстрагованою інфраструктурою. OpenFlow було презентовано як важливий протокол, що забезпечує необхідний зв'язок між рівнем управління та мережевими елементами інфраструктури.

Але незабаром виникла необхідність у розробці більш докладного уявлення. ONF взялася за це завдання й опублікувала першу детальну архітектуру SDN у 2014 році. Оновлення та розширення було опубліковано на початку 2016 року, що забезпечує краще розуміння завдань і функцій контролера SDN, а також взаємозв'язок між контролером SDN і рештою мережевого оточення. Акцент в

архітектурі змістився з гнучкого пересилання пакетів на динамічну віртуалізацію ресурсів і оркестрацію сервісів.

Отримана в результаті архітектура SDN може бути застосована до всіх типів застосунків у мережах підприємств, операторів зв'язку, центрів обробки даних і кампусів: від кінцевого користувача до власника обладнання як для абсолютно нових мереж, так і для мереж, які вже є, що розвиваються.

Більшість сучасних мережевих пристроїв мають функції управління і потоки даних, що працюють на одному і тому ж пристрої. Єдиний елемент управління, доступний мережевому адміністратору, - це площина управління мережею, яка використовується для налаштування кожного мережевого вузла окремо. Статична природа сучасних мережевих пристроїв не дає змоги виконувати детальне налаштування рівня управління. Саме тут на сцену виходять програмно-визначувані мережі. Кінцева мета SDN полягає в тому, щоб забезпечити відкрите, контрольоване користувачем управління апаратним перенаправленням мережевого елемента. SDN ґрунтується на ідеї централізації інтелектуальних функцій рівня управління, але при збереженні окремого рівня даних. Таким чином, мережеві апаратні пристрої зберігають свою комутацію Fabric (площину даних), але передають інтелектуальні функції (комутація і маршрутизація) контролеру. Це дає змогу адміністратору налаштовувати мережеве обладнання безпосередньо з контролера. Такий централізований контроль над усією мережею робить її дуже гнучкою [2].

1.2 Архітектура EPC заснована на прикордонних обчисленнях

Розташування обладнання на кордоні вважається абсолютно необхідним для реалізації ключових сценаріїв використання, що визначають потребу в мобільних технологіях 5-го покоління ("5G"). Серед них тактильний Інтернет, інтерактивні ігри, віртуальна реальність та промисловий Інтернет. Усе це вимагає надзвичайно низької затримки для деяких компонентів застосунку. Як наслідок, фізичні обмеження (наприклад, швидкість світла) забороняють

виконання цих компонентів у традиційній "далекій" хмарі. Інший набір сценаріїв використання, які, ймовірно, будуть значною мірою залежати від граничних обчислень, - це "масовий" Інтернет речей (IoT), коли велика кількість пристроїв, таких як датчики, надсилає великий обсяг даних до вузлів, що стоять вище.

Основні причини використання граничних обчислень у мережі: - додатки, чутливі до затримки (або компоненти, чутливі до затримки); - абонентські додатки, які генерують значний обсяг даних, що потребують обробки. Це неекономічно або, можливо, навіть недоцільно поміщати всі ці дані в хмару, потрібне локальне зберігання даних, наприклад, у корпоративній мережі [4].

Керування даними, що генеруються датчиками і виконавчими механізмами Інтернету речей (IoT), є однією з найбільших проблем, з якими доводиться стикатися під час розгортання системи IoT.

Традиційні хмарні системи IoT мають проблеми з масштабованістю, неоднорідністю та високою затримкою, які спостерігаються в деяких хмарних екосистемах. Одним із рішень є децентралізація додатків, управління та аналізу даних у самій мережі з використанням розподіленої обчислювальної моделі. Ба більше, Інтернет Речей швидко перетворюється на сферу доходів від граничних обчислень, про що свідчить граничне хмарне рішення Microsoft під назвою "Azure IoT Edge".

Однак IoT - це лише один із кількох типів застосунків, що вимагають присутності на периферії. В офіційному документі, який дуже вплинув на визначення поняття "5G", альянс мереж мобільного зв'язку наступного покоління (NGMN) перелічує вісім класів застосунків 5G, які визначають взаємодію з користувачем 5G і визначають вимоги до мобільних мереж 5G. Документ включає в себе: 1 Повсюдне відео. 1 50+ Мбіт/с скрізь. 1 Мережі для високошвидкісного поїзда. 1 Сенсорні мережі. 1 Тактильний Інтернет. 1 Природна катастрофа. 1 Послуги електронної охорони здоров'я. 1 Послуги мовлення.

Поверхневий аналіз цих категорій приводить до висновку, що більшість із них або вимагають граничних обчислень, або отримують від них значну вигоду. Відповідно ми можемо зробити такі твердження: Pervasive Video: граничні

обчислення можуть використовуватися для значного зниження навантаження на транзитну/базову мережу за рахунок прикордонного кешування, обробки та перекодування відео на периферії [2].

Високошвидкісний потяг: такі "високошвидкісні" середовища майже напевно потребуватимуть присутності застосунку "в поїзді", щоб уникнути обмежень мережі, пов'язаних із можливістю підключення від високошвидкісної платформи до стаціонарної мережі.

Сенсорні мережі: проблема Інтернету речей зі збору та обробки величезних обсягів даних, яка є основним напрямком туманних обчислень, належить до цієї категорії.

Тактильний Інтернет: відомо, що для випадків використання і додатків із цієї категорії потрібна наскрізна затримка до 1 мс. У більшості мереж фізичні обмеження, що накладаються швидкістю світла, унеможливають досягнення таких затримок без граничних обчислень.

Стихійні лиха: підтримка цих варіантів використання вимагає розгортання мереж на "острові зв'язності" (тобто з обмеженим / переривчастим або навіть відсутнім підключенням до Інтернету). Таким чином, будь-які додатки повинні працювати на периферії.

Широкомовні послуги: вони відіграють значну роль, коли контент присутній на кордоні, оскільки це дає змогу значно економити мережевий трафік. Ба більше, контекстуалізація широкомовної передачі на основі граничних обчислень може поліпшити те, що доступно в кожній конкретній області.

Очевидно, що периферійні обчислення є ключовою технологією для 5G, що було визнано ще в документі NGMN, в якому "розумний граничний вузол" вказано як "будівельний блок технології". Зазначено його використання для запуску основних мережевих сервісів, близьких до користувача, а також потенційне використання для додатків (наприклад, кешування на кордоні).

Ґрунтуючись на планах, оголошених Міжнародним Союзом Електрозв'язку ITU (International Telecommunication Union) та організацією спільного проєкту зі

створення мереж третього покоління 3GPP (Third Generation Partnership Project) щодо початку широкого впровадження 5G з 2020 року, можна очікувати, що в цей час настане нова ера з безпрецедентними можливостями з побудови мереж і послуг, які надають користувачам, які сьогодні називаються мережами та системами п'ятого покоління. Ці колосальні зміни в технологіях надають можливість підтримки в 5G принципово нових додатків. Нові застосунки потребують відповідних досліджень і розробок. Одним з найбільш важливих додатків при створенні мереж і систем п'ятого покоління є Тактильний Інтернет. Він вимагає від мереж 5G кругової затримки величиною в 1 мс, що є найскладнішим завданням з точки зору створення технології. Тому, такі мережі називаються ще й мережами з ультрамалими затримками. Подібно до передачі мови і даних у Тактильному Інтернеті стає можливим передача тактильних відчуттів у реальному часі. Тактильні взаємодії будуть основним додатком Тактильного Інтернету. Тактильний Інтернет створюється як інтерактивна система, що функціонує в реальному часі і забезпечує нові можливості при взаємодії людина-машина H2M (human-machine). Також він надає можливість передачі фізичних навичок дистанційно, таким чином утворюючи нову парадигму з мережевих навичок замість мереж, заснованих на контенті. Спостерігаючи за реальною затримкою при здійсненні тактильної взаємодії, слід зазначити, що вона має бути меншою, ніж час реакції людини. Вимоги тактильного Інтернету щодо кругової затримки в 1мс повинні включати всі можливі види затримки від джерела до одержувача. Одним із найважливіших чинників, що впливають на значення затримки, є кількість мережевих вузлів, які беруть участь у процесі забезпечення взаємодії між користувачами. Тому, зменшення цього числа може дозволити зменшити затримку до значення 1 мс для Тактильного Інтернету. Звідси випливає, що кількість вузлів, які беруть участь у процесі забезпечення взаємодії між користувачами, має бути якомога меншою, і вони мають бути розташовані якомога ближче до користувачького обладнання.

Використання мобільних граничних обчислень для мереж 5G і надання послуг Тактильного Інтернету є ключовим рішенням для зменшення затримки з кінця в кінець, забезпечуючи при цьому вивантаження трафіку зі стільникової мережі.

У рамках концепції EPC на основі NFV вузли EPC переносяться з виділених апаратних платформ на віртуальні машини (VM) або контейнери та реалізуються як функції віртуальної мережі (VNFS), що працюють як програмне забезпечення в хмарному середовищі (наприклад, OpenStack). Однак функціональних змін немає: інтерфейси і протоколи (наприклад, GTP), що використовуються для зв'язку між вузлами, як і раніше стандартизовані 3GPP.

Мережеві функції створюються і управляються хмарним контролером або за допомогою деяких новітніх інструментів, таких як OpenStack Tacker, OpenBaton або OpenMANO. Ресурси для VNFS надаються інфраструктурою NFV (NFVI).

NFV забезпечує такі переваги, як зниження витрат і гнучкість.

Завдання з перепроєктування архітектури EPC видається найбільш здійсненним у житті, оскільки воно не вимагає будь-яких серйозних змін у поточному розгортанні EPC. Кожен вузол може бути віртуалізований з використанням декількох віртуальних машин, що дає змогу одночасно розгорнути кілька EPC на основі NFV (VEPCS). Підтримка універсальних інтерфейсів і протоколів дає змогу мобільним операторам використовувати взаємодію п'яти ПК з наявними EPC [3].

Однак цей підхід має низку обмежень. Збереження всіх VNFS у рамках стандартів 3GPP створює проблеми під час додавання нових VNFS, оскільки останні мають бути налаштовані та створені узгодженим чином.

Крім того, процес масштабування та ініціалізації неефективний через тісні зв'язки між площинами управління і даними в P-GW і S-GW через те, що площини висувають різні вимоги до ресурсів обробки, як згадувалося раніше. Також передача даних із вузлів EPC у VNFS може призвести до втрати

інформації під час процедур масштабування, таких як видалення VNFS із системи. Це підвищує проблеми надійності та відмовостійкості.

За такого підходу шлюзи EPC (SGW, PGW) поділяються на площину управління SGW-C і PGW-C і площину даних SGW-U і PGW-U. Потім, використовуючи технологію NFV, функції площини управління (SGW-C, PGW-C) стають VNFS. У цьому разі функції площини даних (SGW-U, PGW-U) залишаються або на виділених апаратних платформах, або також стають віртуальними [5].

Після поділу площин даних і управління, SGW і PGW можуть бути об'єднані: SGW-C і PGW-C - в єдиний об'єкт управління, званий GW-C; SGW-U і PGW-U - в єдиний об'єкт площини даних, званий GW-U. У всіх випадках для зв'язку між площинами використовується контролер SDN, який також може бути віртуалізований. Його функції включають інтерпретацію сигнальних повідомлень, отриманих з площини управління, і налаштування правил пересилання в площині даних через відкритий API. Площину даних (SGW-U, PGW-U) може бути реалізовано у вигляді комутаторів OpenFlow, здатних інкапсулювати та декапсулювати GTP. Порівняно з першим методом, цей підхід не тільки має такі переваги, як гнучкість і зворотна сумісність, а й усуває недоліки архітектури vEPC з реалізацією SDN. SDN розділяє площини управління і даних, які тепер можна масштабувати незалежно економічно ефективним способом.

Поділ площин також дає змогу переміщати їх мережею, наприклад, ближче до користувача, щоб зменшити наскрізну затримку, а також сприяє розвитку мобільних периферійних обчислень. Крім того, SDN забезпечує краще управління мобільністю UE за рахунок гнучкого розподілу транспортних потоків в інфраструктурі.

За такого підходу шлюзи EPC (SGW, PGW) поділяються на площину управління SGW-C і PGW-C і площину даних SGW-U і PGW-U. Потім, використовуючи технологію NFV, функції площини управління (SGW, PGW-C) стають VNFS. У цьому разі функції площини даних (GWU, GWU) залишаються

або на виділених апаратних платформах, або також стають віртуальними. Після поділу площин даних і управління SGW і PGW можуть бути об'єднані: SGW-C і PGW-C в єдиний об'єкт управління, званий GW-C; SGW-U і PGW-U в єдиний об'єкт площини даних, званий GW-U. У всіх випадках для зв'язку між площинами використовується контролер SDN, який також може бути віртуалізований. Його функції включають інтерпретацію сигнальних повідомлень, отриманих з площини управління і налаштування правил пересилання в площині даних через відкритий API. Площину даних (SGW, PGW-U) може бути реалізовано у вигляді комутаторів OpenFlow, здатних інкапсулювати та декапсулювати GTP [13].

Порівняно з першим методом, цей підхід не тільки має такі переваги, як гнучкість і зворотна сумісність, а й усуває недоліки архітектури vEPC з реалізацією SDN. SDN розділяє площини управління і даних, які тепер можна масштабувати незалежно економічно ефективним способом. Поділ площин також дає змогу переміщати їх мережею, наприклад, ближче до користувача, щоб зменшити наскрізну затримку, а також сприяє розвитку мобільних периферійних обчислень. Крім того, SDN забезпечує краще управління мобільністю UE за рахунок гнучкого розподілу транспортних потоків в інфраструктурі.

1.3 Граничні розрахунки для мереж п'ятого покоління

МЕС для мереж 5-го покоління в якості розподіленого розміщення елементів архітектури має необхідні вимоги, які описуються в стандарті 3GPP TR 38.913 [6]. 1 Підтримка локальної маршрутизації та управління трафіком, зокрема, дозволяючи сеансу мати кілька інтерфейсів N6 у напрямку мережі передавання даних. 1 Включення функцій застосунку (тобто застосунків, зовнішніх по відношенню до базової мережі 5G) для впливу на вибір і повторний вибір UPF і трафіку. 1 Явна підтримка локальної мережі передачі даних, яка в більшості випадків відповідає прикордонній хмарі.

Щоб повною мірою оцінити можливості МЕС у мережі 5G, ми почнемо з архітектури мережі 5G, як визначено в [6]. Для цілей нашого обговорення достатньо найпростішого випадку, що не переміщується.

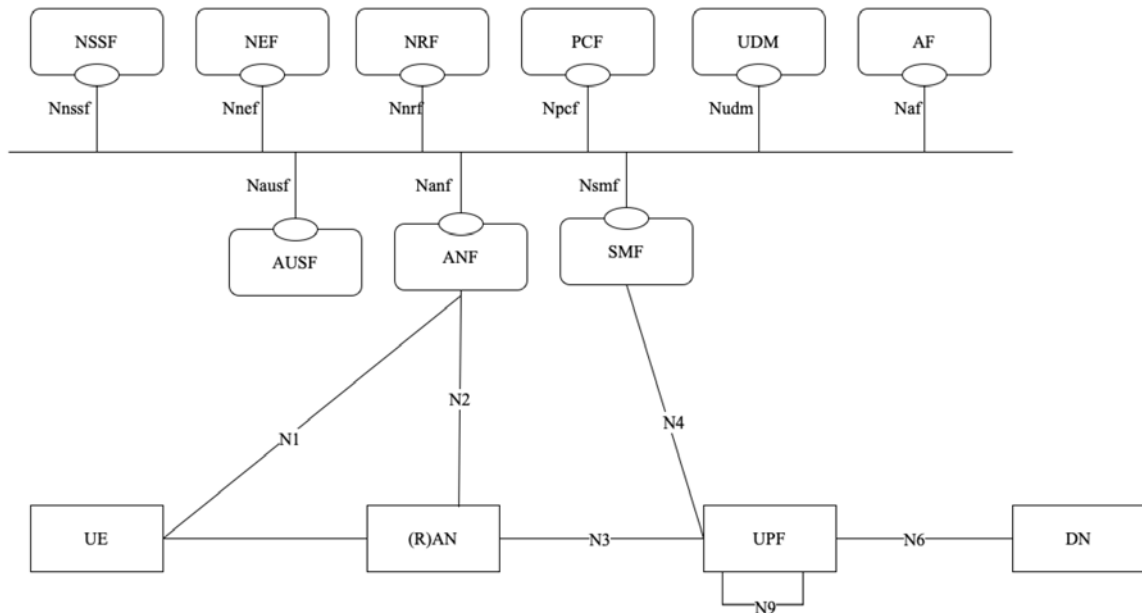


Рисунок 1.1 - Архітектура 5G відповідно до 3GPP

Можна виокремити деякі ключові висновки для рисунку 1.1.

По-перше, потрібно зазначити, де розташована площина користувача та управління.

Площина користувача фактично являє собою чотири нижні об'єкти на малюнку: UE, (R)AN, UPF і DN, хоча UE і мережа доступу (AN; RAN, якщо це мережа радіодоступу 3GPP) також містять об'єкти площини управління. DN відноситься до мережі передачі даних - як до деякої зовнішньої мережі передачі даних, яка знаходиться за межами базової мережі. Таким чином, єдиною чистою функцією площини користувача є точно названа функція площини користувача (UPF). Як зазначалося раніше, це один із ключових об'єктів базової мережі 5G для інтеграції з МЕС.

Усі інші мережеві об'єкти ядра 5G є функціями площини управління. Примітно, що вони зображені під'єднаними до загальної шини, що передбачає сервісний підхід.

Стандарт 3GPP TR 21.915 [9] визначає такі моделі розгортання архітектури мережі 5G: 1 неавтономна архітектура (Non-Stand Alone, NSA), яка побудована на основі з'єднання мережі доступу 5G (або NR) з існуючим ядром мережі LTE - EPC. Даний сценарій розгортання підтримує тільки послуги 4G (включно з eMMB) із застосуванням деяких поліпшених показників, що надаються NR;

1 автономна архітектура (Stand-Alone, SA), згідно з якою NR і E-UTRAN з'єднуються безпосередньо з новим ядром мережі 5G. У цій конфігурації підтримується повний набір служб 5G, зазначений у стандарті TR 22.891 [5].

Ці підходи містять у собі різноманітні опції взаємодії елементів мережевої інфраструктури, представлені на рисунку 1.2 і описуються в рамках набору специфікацій 3GPP release-15: 1 реліз 15 "Специфікації раннього видалення (Early drop)", завершений у грудні 2017 року, представлений NSA, який використовує Dual-Connectivity між LTE і 5G NR з площиною управління на "головному вузлі (master node)" LTE та підключеною до базової мережі 4G EPC (option 3, формально називається "E-UTRA - NR Dual Connectivity" або EN-DC); 1 реліз 15 "Основне видалення", завершений у червні 2018 року, додав нові специфікації мережі 5G Core (5GC), призначені для роботи з SA 5G NR (option 2), та оновлення до LTE для підтримки мереж 5GC (option 5, часто називається як покращений LTE або eLTE); 1 реліз 15 "Пізнє скидання (Late drop)", завершено у грудні 2018 року, він містить у собі додаткові опції NSA. Підключення відбувається до базової мережі 5GC з будь-якою провідною системою LTE (опція 7, формально звана "Наступне покоління E-UTRA - подвійне підключення NR" або NGEN-DC) з провідною системою NR (option 4, формально званий NR - E-UTRA Dual Connectivity" або NE-DC).

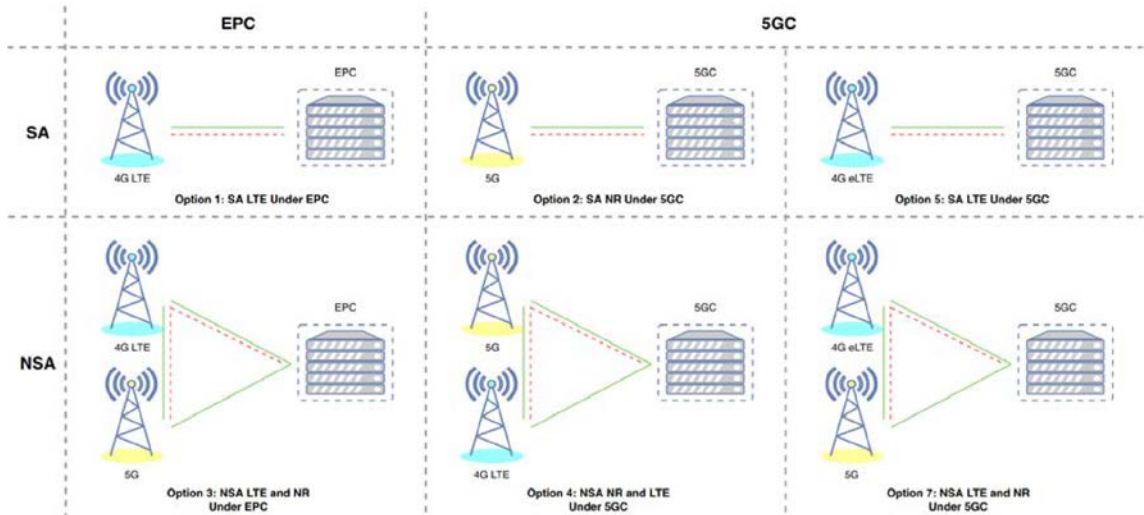


Рисунок 1.2 - Схема розгортання мереж 5G з різними опціями

На початку розгортання мережі 5G оператори матимуть можливість обирати між цими двома режимами. На вибір впливатимуть доступність спектра та вимоги до варіанту використання. У роботі буде розглянуто підхід до організації мережі з режимом NSA, який розглянемо детальніше.

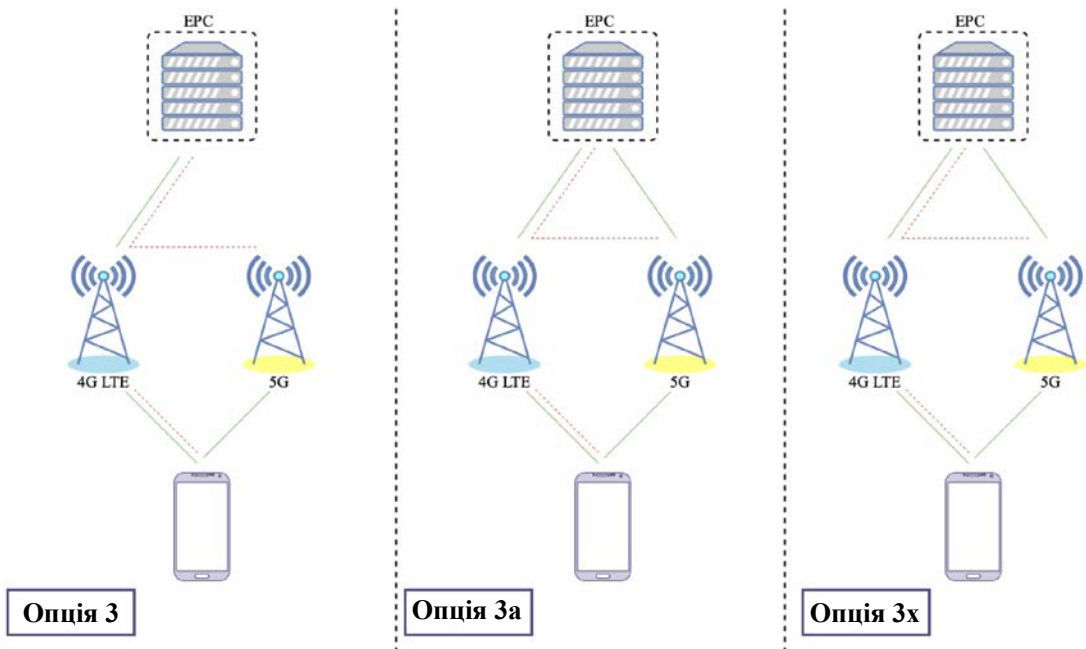


Рисунок 1.3 - Неавтономний (NSA) режим розгортання

Як визначає стандарт TS 37.340 [8], за сценарію NSA, базова станція 5G (enb-gNB) з'єднується з базовою станцією LTE (eNB) через інтерфейс X2, який уже використовується для підключення eNBs. Мережа радіодоступу e-UTRAN для архітектури NSA підключається до мережі EPC за допомогою інтерфейсу S1.

Розгортання архітектури 5G NSA складається з двох етапів.

Перший етап. Передбачає використання наявної мережі LTE з її оновленням для можливості взаємодії з 5GNR і вибіркове розгортання 5GNR там, де очікується високий попит на послуги передачі даних. Використовуються опції 3/3a/3x.

Другий етап. Передбачає впровадження 5GC в мережу і збільшення зони покриття 5G NR. У цьому випадку мережа 5G буде менше залежати від інфраструктури LTE. Мережа LTE все ще може використовуватися для забезпечення безперервності обслуговування. Використовуються опції 4/4a та опції 7/7a/7x.

Розглянемо докладніше варіанти опції 3: Опція 3: трафік розділяється на 4G і 5G в eNodeB.

Опція 3a: трафік розділений на 4G і 5G в EPC (S-GW). Опція 3x: трафік розділяється на 4G і 5G у комірці 5G.

Опція 3 чудово підходить для початкового розгортання, оскільки дає змогу швидко вводити переваги NR у контексті LTE MMB. При цьому вона дає запас за часом для введення SA з його новим ядром.

Ідея архітектури NSA, побудованої на Опції-3, полягає в тому, що призначене для користувача обладнання UE буде підключатися як до 5G NR, так і до E-UTRAN. При цьому площину управління буде реалізовано за допомогою інтерфейсу S1, підключеного до MME EPC [8].

У варіанті 3 основна мережа EPC підключена до eNB. Усі функції площини управління обробляються LTE, а NR використовується тільки для даних користувацької площини. gNB підключається до eNB і дані користувацького рівня з EPC можуть бути передані з eNB в gNB. У варіанті 3a частини користувацької площини як eNB, так і gNB безпосередньо з'єднані з EPC.

У варіанті 3x тільки площина користувача gNB під'єднується до EPC, а дані площини користувача до eNB маршрутизуються через gNB.

Грунтуючись на роботах [2-4], було виокремлено два основні способи перепроєктування архітектури EPC: 1. віртуалізація EPC за допомогою технології NFV (vEPC), 2. розділення площин управління і даних у vEPC за допомогою технології SDN/NFV.

У межах цієї концепції вузли EPC переносяться з виділених апаратних платформ на віртуальні машини (VMs) або контейнери та реалізуються у вигляді мережевих функцій (VNFs), які працюють як ПЗ у хмарному середовищі (наприклад, OpenStack). При цьому немає жодних функціональних змін: інтерфейси і протоколи (наприклад, GTP), що використовуються для зв'язку між вузлами, як і раніше, стандартизовані 3GPP. Мережеві функції створюються і управляються хмарним контролером або за допомогою деяких останніх інструментів MANO, таких як OpenStack Tacker, OpenBaton або OpenMANO. Ресурси для VNFs надаються NFVI [8].

NFV забезпечує такі переваги, як зниження витрат і гнучкість.

Це завдання перепроєктування архітектури EPC видається найбільш здійсненним у житті, оскільки воно не вимагає будь-яких серйозних змін у поточному розгортанні EPC. Кожен вузол може бути віртуалізовано на декількох віртуальних машинах, що призводить до можливості одночасного розгортання декількох EPC на основі NFV (vEPC). Підтримка стандартних інтерфейсів і протоколів дає змогу мобільним операторам здійснювати взаємодію vEPCs з наявними EPC [1].

Підтримка generic interfaces and protocols дозволяє мобільним операторам здійснювати взаємодію vEPCs з існуючими EPCs.

Однак у цього підходу є низка обмежень. Збереження всіх VNFs у рамках стандартів 3GPP створює проблеми під час додавання нових VNFs, тому що останні мають бути сконфігуровані та створені узгоджено.

Крім того, процес масштабування та ініціалізації все ще не ефективний через тісний зв'язок між площинами управління і даних у P-GW і S-GW, оскільки

площини мають різні вимоги до обробки ресурсів, як було сказано раніше. Крім цього, перенесення інформації з вузлів EPC на VNFs може спричинити втрату інформації під час процедур масштабування, зокрема видалення VNF із системи. Таким чином, виникають проблеми надійності та відмовостійкості.

За такого підходу шлюзи EPC (SGW, PGW) розділяються на площини управління - SGW-C і PGW-C та площини користувача - SGW-U і PGW-U.

Потім за допомогою технології NFV функції площини управління (SGW-C, PGW-C) стають віртуальними мережевими функціями VNFs. При цьому функції площини користувача (SGW-U, PGW-U) залишаються або на виділених апаратних платформах, або також стають віртуальними.

Після поділу площин даних і управління, SGW і PGW можуть бути об'єднані: SGW-C і PGW-C - в єдиний об'єкт управління, званий GW-C; SGW-U і PGW-U - в єдиний об'єкт площини користувача, GW-U. У всіх випадках для зв'язку між площинами використовується SDN-контролер, який також може бути віртуалізований. У його функції входить інтерпретація сигнальних повідомлень, отриманих від площини управління, і встановлення правил пересилання в площині користувача через відкритий API.

Площину користувача (SGW-U, PGW-U) може бути реалізовано у вигляді комутаторів OpenFlow, здатних до інкапсуляції та декапсуляції GTP.

Порівняно з першим підходом цей підхід не тільки має такі переваги, як гнучкість і зворотна сумісність, а й долає недоліки архітектури vEPC із впровадженням SDN. SDN розділяє площини управління і даних, які тепер можуть масштабуватися незалежно одна від одної економічно ефективним способом. Поділ площин також дозволяє переміщати їх по мережі, наприклад, ближче до користувача, що скорочує наскрізну затримку, а також сприяє розвитку мобільних прикордонних обчислень. Крім того, SDN забезпечує краще управління мобільністю UE за рахунок гнучкого розподілу потоків інфраструктури.

1.4 Аналіз стану дослідження

На сьогоднішній день дослідження граничних обчислення є одним з актуальних у сфері телекомунікації, тому що граничні обчислення допомагають розв'язувати проблеми надання послуг обходячи фізичні властивості телекомунікаційного обладнання. А точніше зменшувати навантаження на ділянках мережі, де сконцентрована велика кількість підключень.

У [1] показано поєднання технологій 5G і мобільних граничних обчислень для роботизованої телехірургії, обговорено пов'язану з цим роботу роботизованої телехірургії, представлений системний архітектурний проект роботизованої телехірургії 5G, що підтримується SDN та віртуалізацією мережевих функцій (NFV), описано порівняльне дослідження аналізу 4G та 5G за ключовим показником продуктивності, спільних застосунків 5G і експериментальній установці телероботизованої хірургії, представлено результати та обговорено запропоновану архітектуру.

Мета дослідження розробити архітектуру та реалізувати роботизовану телехірургію з тактильним зворотним зв'язком, шляхом моделювання та вимірювання якості послуг за параметрами продуктивності мережі.

Послуги мобільних граничних обчислень можуть бути розгорнуті в декількох географічних точках, включно з макробазовою станцією LTE (4G) (eNodeB), контролером радіомережі з малою затримкою (RNC) 5G, мультирадіодоступом та технологією агрегації комірок (RAT), що може бути межею базових мереж.

Агрегація декількох RAT може бути розташована всередині підприємства (наприклад, у лікарні, штаб-квартирі великої корпорації) або всередині/зовні для сценаріїв громадського покриття (наприклад, на стадіоні, у торговельному центрі) для управління кількістю локальних точок доступу з декількома RAT, що забезпечують радіопокриття приміщення. Платформа MEC розгортається з урахуванням декількох чинників, включно з масштабованістю, обмеженнями фізичного розгортання, продуктивністю мережі (наприклад, затримкою) і

мережевою інформацією, яку буде розкрито. Розгортання застосунку MEC може залежати від доступності конкретних послуг та інших параметрів, таких як необхідні ресурси, доступність NFV, масштабованість, вимоги до низької затримки тощо. Платформа NFV може бути присвячена MEC для управління та оркестровки NFV [12].

Результати та обговорення дослідження довели, що тактильна роботизована телехірургія 5G (T5ET) забезпечує очікуваний результат порівняно з традиційною телехірургією в 4G. База обговорюється таким чином, тремтіння: у традиційній телехірургії тремтіння систем 4G більше, ніж системи 5G. Було виявлено, що система тактильного інтернету 5G з тактильним зворотним зв'язком має мінімізувати затримку на 62% порівняно з системою 4G традиційної телехірургії, а пропускну здатність мережі системи 5G має бути збільшено приблизно на 108% щодо системи 4G.

У [2] йдеться про еволюцію Інтернету та основні проблеми, з якими стикається тактильний Інтернет, як-от наднадійна мережа з малою затримкою, також вивчається передача дуже маленьких пакетів відповідно до вимог служб 5G uRLLC, імовірність передачі, помилка та її зміна залежно від затримки передачі та довжини пакета. У ньому представлено послуги 5G і мінімальні вимоги до технічних характеристик, описано концепцію Тактильного Інтернету, вивчено характеристики мобільної мережі 5G з погляду досяжної швидкості та надійності для Тактильного Інтернету, а також представлено деякі технології, які використовуються для забезпечення низької затримки для. Виявлено, що низька затримка Тактильного Інтернету створює безліч проблем, тому обговорюються деякі рішення, представлені на різних рівнях наскрізної мережевої архітектури, щоб гарантувати низьку затримку. Одним із таких рішень є граничні обчислення з множинним доступом (MEC). Це вважається однією з технологій, яка забезпечує наднизьку затримку, наднадійність і високу пропускну спроможність, мережеві функції і контент повинні бути ще ближче до абонента. Прикордонні обчислення з множинним доступом (MEC) прискорюють роботу контенту, сервісів і додатків, підвищуючи швидкість відгуку на периферії. Якість досвіду

мобільного користувача також може бути покращено за рахунок ефективності мережі та операцій обслуговування, заснованих на огляді умов радіозв'язку та мережі. Ці додатки реалізовано як програмні об'єкти, що виконуються тільки на високому рівні інфраструктури віртуалізації. MEC пропонує розробникам додатків і постачальникам контенту можливості хмарних обчислень і середовище обслуговування інформаційних технологій на границі мережі. У Європейському інституті телекомунікаційних стандартів (ETSI) існує спеціальна робоча група, що вивчає граничні обчислення з множинним доступом.

У [3] обговорюється, як встановити такий віддалений моніторинг пацієнтів у мережах 5G, які складаються з вузлів граничних обчислень із множинним доступом. MEC відіграє роль міні-хмари, здатної забезпечити достатню обчислювальну потужність і ємність зберігання на кордоні мережі. Інтеграція MEC IoT в 5G пропонує безліч переваг, як-от висока доступність, висока масштабованість, низькі витрати на смугу пропускання, низька затримка, локальна обізнаність, а також додаткова безпека і конфіденційність. Він також зосередився на ключовій угоді між IoT, MEC і центром реєстрації, щоб гарантувати взаємну автентифікацію, анонімність і незв'язність. Беручи до уваги високу неоднорідність пристроїв IoT, які можуть сприяти точному відображенню стану здоров'я пацієнта, вкрай важливо розробити дуже легку схему, що дає змогу брати участь навіть найменшим пристроям. У ньому згадується загальна архітектура системи віддаленого моніторингу пацієнтів на основі 5G MEC у схемі, описаній нижче праворуч, - це хмарний сервер, який діє як довірена третя сторона і як об'єкт, що збирає всі результати аналізів. Вузол MEC розташований посередині і відповідає за локальний зв'язок, обчислення та зберігання. Оскільки вузли MEC розгорнуті мережевими операторами, яким не можна повністю довіряти, ми розглядаємо їх як чесних, але цікавих суб'єктів у системі. Це означає, що вузли MEC виконуватимуть усі необхідні дії, але можуть бути зацікавлені у виявленні зв'язку результатів аналізу з реальними особами для продажу цих даних. Як наслідок, знання про MEC повинні бути обмежені тільки можливістю встановити легітимність запитаного пристрою і пов'язати

правильний набір пристроїв з однією і тією ж групою для проведення узгодженого аналізу. Найнижчий рівень, так званий рівень пристроїв, складається з більш обмежених, таких як датчик артеріального тиску, датчик якості повітря, камера тощо. Для того щоб зменшити витрати на подібні пристрої, як-от невеликі переносні датчики та навіть імплантовані датчики, що вимірюють чутливі фізіологічні дані, а також брати участь у процесі без надто великого впливу на термін служби батареї, необхідні кроки в протоколі автентифікації між IoT і МЕС мають бути якомога легшими.

У [5] подано всебічний огляд архітектур і алгоритмів, запропонованих на сьогодні для Тактильного Інтернету. У ньому згадувалося, що тактильний Інтернет націлений на наднизьку наскрізну затримку в обидва кінці, що дорівнює 1 мс. Це вимагає, щоб застосунки перебували відносно близько до кінцевих точок (наприклад, застосунок для роботизованої хірургії має бути відносно близьким до консолі хірурга і робота, що виконує операцію). Був розглянутий найкращий сценарій, коли затримка поширення, обумовлена обмеженою швидкістю світла (300 км/мс), є єдиним обмежувальним фактором, відстань між кінцевими точками будь-якого заданого тактильного застосунку обмежена зверху 150 км, щоб забезпечити виконання вимоги тактильного Інтернету до затримки в 1 мс. Однак у реальних сценаріях ця верхня межа стає ще меншою, оскільки затримка в черзі, затримка доступу до каналу і затримка передавання також можуть сприяти загальній затримці тактильних пакетів. Подібно до вимог до затримки, надійність тактильного Інтернету також може варіюватися залежно від застосунку, верхня межа яких може початися з частоти відмов 10^{-3} . Найважливіші тактильні інтернет-додатки (наприклад, телехірургія) вимагають надійності до 10^{-7} .

Описано проблеми тактильного Інтернету, оскільки тактильні інтернет-додатки, як-от телехірургія, здебільшого вимагають наднизької затримки та високого рівня надійності й безпеки. Вимоги до затримки додатків Tactile Internet можуть різнитися залежно від типу додатка та динамічності середовища. Це було одне з головних завдань тактильних інтернет-вимог. В архітектурі мережі

використовуються або мобільні граничні обчислення (MEC), або технологія Wi-Fi, щоб забезпечити можливість розвантаження і збільшити пропускну здатність мережі.

Запропоновано багаторівневу хмарну систему для забезпечення можливості розвантаження в стільниковій мережі та підтримки тактильних інтернет-додатків. Складається з трьох ієрархічних рівнів хмари: з мікро-хмарами, міні-хмарами та центральними хмарами на найнижчому, середньому та вищому рівнях відповідно. Одиниці мікро-хмари підключені до кожної базової станції (БС) через волоконно-оптичні лінії зв'язку. Міні-хмари середнього рівня розташовуються в БС. Кожна з цих одиниць під'єднана до групи одиниць мікро-хмари і має вищу пропускну здатність. Базова хмарна одиниця знаходиться на вершині хмарної ієрархії. Вона має найпотужніші можливості та знаходиться в базовій мережі. Контролює всі одиниці міні-хмари та слугує шлюзом до/з віддалених загальнодоступних хмар. Завдання, які не можуть бути опрацьовані міні-хмарами, будуть перенесені на цей рівень.

Щоб оцінити продуктивність запропонованої системи, проводиться моделювання з кількома сценаріями. Результати показують, що запропонована система може забезпечити затримку прийому-передачі близько 1 мс.

Однак під час моделювання враховується лише невелика кількість користувачів. Таким чином, ця стаття може відповідати критерію наднизької затримки (C1) тільки в маломасштабних сценаріях. Оскільки жодні показники оцінки, пов'язані з надійністю, не враховуються, критерій надвисокої надійності (C2) не розглядається. Необхідно використовувати технологію SDN в опорних мережах, щоб забезпечити гнучкість маршрутизації трафіку та зменшити затримку зв'язку.

У цій архітектурі базова мережа формується комутаторами доступу (наприклад, Open vSwitch), OpenFlow, проміжними блоками та централізованим контролером SDN. Комутатори доступу в базовій мережі також підключені до BS у мережі радіодоступу (RAN). Крім того, всі вузли в мережі контролюються і управляються централізованим контролером SDN за протоколом OpenFlow.

Централізований контролер SDN знає про глобальний мережевий статус усіх вузлів. Він може встановлювати ефективні шляхи маршрутизації для забезпечення вимог до якості обслуговування (QoS) кінцевих користувачів (тобто обмеження кількості проміжних вузлів).

Щоб оцінити наскрізну затримку запропонованої архітектури, досліджується моделювання з двома технологіями. У першому сценарії БС, які обслуговують обох кінцевих користувачів, під'єднані до одного і того ж пристрою міні-хмари, тоді як у другому сценарії кінцеві користувачі під'єднані до окремих пристроїв міні-хмари. Результати показують, що наскрізна затримка близько 1 мс може бути досягнута в обох сценаріях. Крім того, наскрізну затримку можна додатково зменшити за рахунок збільшення пропускної здатності мережі. Отже, ця робота відповідає критерію наднизької затримки (C1). Проте, продуктивність пропонованої архітектури за більшої кількості користувачів потребує подальшого вивчення. У цій роботі не розглядається критерій надвисокої надійності (C2), оскільки аспект надійності не обговорюється.

У [6] проілюстровано архітектуру мобільних прикордонних обчислень (MEC), що складається з географічно розподілених прикордонних серверів. У них обчислювальні можливості надаються на кордоні мережі, що знаходиться в безпосередній близькості від кінцевих користувачів для надання мережевих послуг з низькою затримкою. Планування прикордонних серверів MEC у відповідних місцях - перший фундаментальний крок до розгортання системи MEC, що залежить від низки чинників, включно з критеріями продуктивності (такі як затримка доступу).

Формулюється проблема планування MEC за допомогою невизначеного формулювання програмування, в якому розміщення прикордонних серверів MEC і розподіл ресурсів сервера визначаються спільно. На практиці обчислювальні потреби мобільних кінцевих користувачів агрегуються на рівні базової станції (BS), а потім спрямовуються в систему MEC.

Отже, потреби в ресурсах рівня BS можуть представляти потреби мобільних користувачів.

На відміну від моделей детермінованої оптимізації, у нашому формулюванні вимоги BS розглядаються як невизначені випадкові змінні з довільним шаблоном. Мета полягає в тому, щоб звести до мінімуму очікувану затримку доступу. Через складність розв'язання такої спільної невизначеної проблеми вони розробляють засновану на навчанні структуру, яка об'єднує стохастичне моделювання, нейронну мережу і генетичний алгоритм (ГА). Розглянуто систему МЕС, в якій географічно розподілені прикордонні сервери утворюють проміжний рівень обчислень між BS (кінцевими пристроями) та віддаленою центральною хмарою з метою зменшення затримки, забезпечення ефективних мережевих послуг та покращення взаємодії з користувачем.

У деяких роботах проблема розміщення моделюється як вибір деяких місць розташування з набору можливих, тому прикордонні сервери можуть бути вільно розгорнуті в будь-якому місці в заданому регіоні. Через різноманітність поведінки мобільних користувачів вимоги до БС динамічно змінюються в просторі та в часі. Таким чином, моделюються запити на обслуговування кожної БС як довільну стохастичну змінну.

Зроблено моделювання на ПК, оснащеному Intel Core i3, 4-ядерним процесором і 12 ГБ ОЗП, а середовище програмного моделювання пропонованої платформи базується на ECLIPSE, MATLAB і IBM CPLEX. Стохастичне моделювання реалізовано мовою java, а IBM CPLEX використовується на третьому етапі стохастичного моделювання для реалізації симплексного алгоритму. ГА і нейронна мережа реалізовані за допомогою набору математичних інструментів MATLAB, оскільки це може знизити складність програмування.

У [8] представлено тактильну структуру інтернет-системи, в якій використовуються багаторівневі мобільні граничні обчислення (МЕС). Переважно це пов'язано зі структурою базової мережі, а система моделюється в

надійному середовищі та вводить двосторонню затримку, що дорівнює порядку 1 мс.

Проектування тактильної інтернет-системи та її реалізація стикаються з деякими труднощами, головна з яких полягає в малій наскрізній затримці. Таким чином, затримка залежить від кількості мережевих вузлів, що беруть участь у процесі зв'язку. Для її зменшення в обидва кінці та досягнення вимоги в 1 мс для тактильної інтернет-системи необхідно зменшити кількість мережевих вузлів, які беруть участь у процесі зв'язку, і наблизити їх до користувачького обладнання. Це може бути досягнуто завдяки використанню деяких технологій, що забезпечують потужні рішення проблем, пов'язаних із проектуванням стільникової системи 5G і тактильної інтернет-системи.

Однією з основних технологій є мобільні граничні обчислення (MEC). Результати та моделювання, які досягнуті за допомогою одного з найефективніших, найнадійніших і найпотужніших середовищ, - це середовище CloudSim і пов'язані з ним проекти розширення. CloudSim - це середовище моделювання на основі Java, яке дає змогу моделювати та проводити експерименти над хмарними мережами.

Розглядається два випадки моделювання, у першому випадку два хости належать двом різним базовим станціям (eNB), але два eNB під'єднані до однієї й тієї самої міні-хмари. У другому випадку два хости знаходяться в різних осередках, підключених до різних модулів міні-хмари. За результатами моделювання затримка прийому-передачі зменшується зі збільшенням пропускної здатності системи. У другому випадку затримка прийому-передачі вища, ніж у першому, тому що контролер базової мережі не бере участі в процесі зв'язку, оскільки модуль міні-хмари керує процесом зв'язку.

Користувачький бітрейт для майбутньої стільникової системи 5G варіюватиметься від 1 Гбіт/с до 10 Гбіт/с. Для найменшої очікуваної швидкості передачі даних (1 Гбіт/с) запропонована тактильна система забезпечує затримку проходження сигналу в обидва напрямки 0,95 мс для першого випадку моделювання та 1,22 мс для другого випадку. У міру того, як бітрейт

піднімається вище 1 Гбіт/с, затримка приймання-передавання стає нижчою за попередні значення, що дає змогу пропонованій структурі позбутися проблеми із затримкою приймання-передавання 1 мс. Нарешті, порівняно з традиційною мережею Evolved Packet Core, заснованою на 3GPP версії 15, пропонована система забезпечує зниження затримки під час передання туди й назад на 88% у першому випадку і на 84% у другому випадку, що є більш поганим результатом.

У [9] обговорюються технології, протоколи зв'язку та необхідна інфраструктура для забезпечення наднизької затримки на основі 5G, яка вважається ключовою можливістю тактильного Інтернету. У ньому також йшлося про різні типи застосунків, в основному тактильних, які вимагають високої якості обслуговування, особливо з точки зору затримки.

Також згадуються найважливіші можливості для досягнення вимог тактильного Інтернету, як-от мобільні граничні обчислення (MEC), програмно-визначені мережі (SDN) і віртуалізація мережевих функцій (NFV).

Управління ресурсами може бути ефективно досягнуто за допомогою спільних граничних обчислень, оскільки завдання розділяється на невеликі підзадачі і обробляється за допомогою різних граничних пристроїв.

Запропоновано процес у дослідженнях щодо зниження затримки таким чином: 1 Випереджальне виділення ресурсів було б найкращим рішенням для критично важливих додатків. Тактильні додатки можна розділити відповідно до їхніх вимог на додатки з низькою, високою та адаптивною затримкою. Механізм розподілу ресурсів має змінювати свою поведінку залежно від типу застосунку за допомогою спеціального механізму, що підходить для кожного з них. Суворі вимоги до затримки для попереджувального наскрізного виділення ресурсів - найкращий спосіб гарантувати критерій затримки в 1 мс. 1 Мобільне ядро хмари - це цікава ідея, що дає змогу перенести всі функції, можливості та послуги традиційної хмари в базову мережу; це зменшить кількість переходів, через які має проходити тактильний трафік. Крім того, це може наблизити хмару до користувачів з точки зору фізичного місця розташування та зменшити затримку. 1 Мобільність додасть додатковий вимір складності, який вплине на QoS і

особливо на затримку при зміні точки підключення з однієї на іншу, особливо коли розглядається випадок автомобільного інтернету через тактильний. Затримка передачі обслуговування впливатиме на тип затримки зв'язку, рішення на основі місця розташування можна розглядати як найкраще рішення такого роду проблем. І Алгоритми штучного інтелекту можна розглядати на кожному етапі проектування будь-якого розподілу ресурсів або оркестрації в базовій мережі. Основною цікавою областю, з якою слід поєднувати, є примусове навчання або процес навчання, оскільки тактильна поведінка є такою, що повторюється, і не вимагає створення нових дій для опрацювання руху, тому рішення, що ґрунтується на навчанні, було б цікавою областю для вивчення. І Випереджальна мережа також дає змогу зменшити затримку, використовуючи деякі принципи, як-от контекст, передбачення та оптимізація. У випереджальній мережі контекстна інформація буде потім вивчатися за допомогою минулої та теперішньої інформації, буде досягнуто передбачення поведінки, а потім проведена оптимізація для задоволення вимог будь-якого додатка.

У [9] вивчається тактильний інтернет загалом, його майбутні додатки, як-от автономні транспортні засоби, тактильна охорона здоров'я, віддалена робототехніка та надійне опрацювання зображень. Також згадуються пов'язані технології, які вирішують проблему затримки в 1 мс.

Однією з таких ключових технологій є SDN, яку можна розглядати як нову хвилю на шляху до ефективної та гнучкої інфраструктури.

SDN забезпечує архітектурну структуру, в якій рівні управління і даних розділені, при цьому підтримуючи можливість програмування управління мережею за допомогою програмних контролерів. Це особливо привабливе рішення для мобільної опорної мережі, воно пропонує великі можливості для спрощення управління мережею, організації мережевих потоків, збільшення можливостей мережі. Оскільки парадигма SDN концентрує мережевий інтелект на центральному контролері, вона звільняє відносно простіші прикордонні пристрої від виконання складних мережевих дій, наприклад, виявлення сервісів. Крім того, SDN забезпечує спільне використання і динамічне надання мережевих

ресурсів і функцій. Коли потрібна передача пакетів невеликого розміру, можна використовувати міні-слоти, які являють собою мінімальну одиницю для виділення ресурсів. Крім планування з роздільною здатністю підкадра в 1 мс, також можуть бути розглянуті менші одиниці планування, що складаються з 7 символів в інтервалі 0,5 мс або 2 символів в міні-слоті 0,143 мс.

У [5] представлено програмно-визначувані мережі (SDN), пояснюється важливість цих технологій для майбутньої системи зв'язку 5G і застосунків Tactile Internet, що реалізують нові мобільні граничні обчислення, сховища та мережеві рішення.

Для підтримки низької затримки, безпеки, надійності та високої швидкості передавання даних у мережах 5G, щоб Тактильний Інтернет став реальністю, будуть потрібні: - нові радіоінтерфейси, які поліпшать затримку і швидкість передавання даних; - ефективна підтримка багатоканального зв'язку підвищить безпеку, надійність і швидкість передавання даних; - сегментація мережі забезпечить підтримку якості обслуговування; - підтримка ніздрюватих мереж дасть змогу використовувати величезну кількість пристроїв.

SDN є ключовою технологією для мереж зв'язку 5G. Абстракції SDN включають пересилання пакетів, маршрутизацію і налаштування як обчислювальне завдання, а не спеціалізовані протоколи. Використовуючи цю абстракцію, SDN забезпечує так звані функції поділу мережі. Існує чотири основні області випробувального стенду 5G Lab Germany: SDN/NFV, хмара та сховище, мережа доступу та безпека, з окремими випробувальними стендами, основна мета яких - продемонструвати й оцінити рівень зрілості прийнятих рішення в комплексі. Випробувальні стенди також здатні проілюструвати, як вони можуть розкрити весь потенціал у реальній інфраструктурі шляхом створення, розвитку та підтримки інноваційної екосистеми 5G, яка підтримує тактильні інтернет-додатки.

Як ядро цілісного випробувального стенду 5G Lab Germany область SDN/NFV складається з мережевих пристроїв операторського класу та

обчислювальних кластерів, включно з трьома маршрутизаторами Ericsson R6000 з підтримкою OpenFlow.

Для управління маршрутизаторами розгорнуто два високопродуктивні сервери в якості SDN-контролерів зі встановленим OpenDaylight.

У [2] запропоновано структуру системи граничних обчислень Інтернету транспортних засобів (EC-IOV) для підвищення продуктивності наявної системи EC-IOV. Продуктивність запропонованої системи оцінюють і порівнюють з наявною. Низька затримка може підтримувати роботу EC-IOV, а мережа 5G - надати базову інфраструктуру для структурування більш інтелектуального середовища EC-IOV. Крім того, очікується, що 5G у 1000 разів перевищить пропускну спроможність системи, у 10 разів перевищить пікову швидкість і у 25 разів перевищить середню пропускну спроможність стільники, що також виведе EC-IOV на новий рівень.

У середовищі EC-IOV з підтримкою 5G передача даних здійснюється в основному між транспортними засобами, базовими станціями 5G (gNB), транспортними засобами та gNB з використанням серверів EC. Необхідно зосередитися на стратегії розподілу обчислень, включно із ситуаціями перевантаження та недовантаження для багатоскачкового зв'язку, яка спирається на підтримку програмно-визначуваної мережі (SDN). SDN - це технологія, яка розділяє рівень управління та рівень даних, а також централізовано управляє мережевими ресурсами через планувальника [8].

Конкретний процес планування має такий вигляд: транспортний засіб і gNB відправляють контрольні сигнали каналом управління, і транспортний засіб оновлює інформацію про стан каналу (CSI). Відповідно до отриманих сигналів, транспортний засіб відправляє запит на передачу CSI та інформацію GPS на gNB, gNB виконує алгоритм планування на основі отриманої інформації для отримання результатів планування. gNB транслює результати планування, керуючи каналом, і транспортний засіб передає дані відповідно до результатів.

SDN може всебічно відстежувати і динамічно контролювати ємність мережеских ресурсів і конфігурацію інформації. SDN інкапсульований у кілька

незалежних компонентів, тому він може працювати разом із компонентами управління обчислювальними ресурсами та ресурсами зберігання.

Він безумовно забезпечує ефективніший, гнучкіший та інтелектуальніший режим доставки ІТ у мережу і контролює витрати на експлуатацію, технічне обслуговування, безпеку та управління. Водночас можна реалізувати гнучкіше управління і контроль над базовою інфраструктурою користувача, щоб адаптуватися до бізнес-моделі, що швидко розвивається. Потім SDN може більш розумно й ефективно використовувати ресурси пропускної спроможності мережі за рахунок динамічної ємності сервера і розподілу відповідно до вимог користувача.

Завдяки управлінню SDN, обчислювальні дані можуть бути вивантажені, сходяться до деяких gNB, а інші gNB можуть бути переключені в режим очікування, який не споживає енергію. Таким чином, при використанні SDN можна ефективно уникнути багатьох ситуацій перевантаження або недостатнього навантаження. У 5G gNB допомагає ІoV виконувати міграцію і планування обчислювальних завдань самоорганізованим чином через SDN. У сценарії застосування ЕС-ІoV базові станції 5G мають такі функції: - спільна ретрансляція. gNB оснащений функцією ретрансляції та переадресації кожної традиційної базової станції, яка діє як точка бездротового доступу, допомагаючи транспортним засобам зв'язуватися з мережею; - альтернатива RSU. У контексті високошвидкісної роботи gNB в системі ЕС-ІoV замінює RSU і зв'язується з транспортними засобами в режимі реального часу, поширює інформацію про дорожній рух на транспортні засоби за допомогою радіомовлення і сприяє зв'язку між декількома системами. Це не тільки економить витрати на створення системи ЕС-ІoV, але також допомагає SDN в управлінні та моніторингу мережі; - оцінка продуктивності. Час, що витрачається на виконання обчислювальних завдань, є ще однією базовою метрикою для оцінки продуктивності двох систем ЕС-ІoV. З одного боку, тривалий час виконання не підходить для деяких ресурсномістких обчислювальних завдань. З іншого боку, тривалий час виконання означає більший час очікування для користувачів служби і може

знизити QoE. Ми оцінюємо і порівнюємо час, що витрачається на звичайну систему EC-IoV і систему EC-IoV з підтримкою 5G. Як інтуїтивно видно, система EC-IoV з підтримкою 5G вимагає трохи більше часу, ніж звичайна система EC-IoV [3, 6].

1.5 Висновки до розділу 1

Проведено аналіз концепції об'єктно-орієнтованих архітектур мереж зв'язку. Концепція об'єктно-орієнтованої архітектури дасть змогу реалізувати гнучку віртуальну інфраструктуру, яка дасть змогу оптимально розподіляти навантаження на мережу.

Проведено аналіз додатків і перспектив впровадження різних послуг у мережу, засновану на граничних обчислювальних системах. При цьому розглянуто додатки V2X, IPTV, тактильний інтернет та інші.

Розглянуто модель, що відповідає вимогам мережі сервісної архітектури мережі, яка відрізняється від відомих наявністю інтегрованих вузлів граничних обчислювальних систем.

2 МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ МАЙБУТНЬОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА МЕРЕЖІ

Мобільний та радіозв'язок будуть і надалі відігравати важливу роль у зміцненні економічного, технологічного, фінансового, соціального зростання, охорони здоров'я, освіти та наукових досліджень. Для підтримки зростання і задоволення постійно мінливих вимог промисловість і дослідницькі галузі завжди прагнуть розробляти і впроваджувати нові механізми і методи в мобільному і радіозв'язку, полегшувати життя людей, наприклад, такі як, розвиток Інтернету речей [1], мережі 5G [2, 3], децентралізованих транспортних мереж [4], тактильного міжмережевого зв'язку [5] і т.д.

Наразі основним напрямком у розвитку мереж і систем зв'язку є створення мереж зв'язку 5G. Спочатку створення мережі зв'язку 5G ґрунтувалося на концепції Інтернету речей, для реалізації якої було потрібне створення надщільних мереж зв'язку з кількістю пристроїв близько 1 мільйона на 1 км² [6]. Це нетривіальне завдання останнім часом стало ще складнішим із появою концепції тактильного Інтернету, яка вимагала передачі тактильних відчуттів, щоб обмежити затримку в обох напрямках мережею до 1 мс. Це призводить до перегляду основ побудови мереж зв'язку і через фундаментальні обмеження швидкості передачі світла до децентралізації мережі та її ресурсів. Ці вимоги висуваються не тільки до передачі тактильних відчуттів, а й до безпілотних транспортних засобів з підтримкою мережі, додатків доповненої реальності тощо.

Тому в рамках реалізації мережі зв'язку 5G з'являється концепція мереж зв'язку з наднизькою затримкою, яка на основі наявних досліджень у сфері мереж зв'язку у 2030 році визначить основу для побудови мереж зв'язку в довгостроковій перспективі. У мережах 2030 року і, на нашу думку, набагато раніше, взаємодія людини і машини (H2M) і, зокрема, аватари людини і робота відіграватимуть виняткову роль. Вимоги до мереж зв'язку багато в чому визначатимуться впровадженням Індустрії 4.0, яка вже сьогодні набуває цілком

певної форми в рамках роботи над промисловим Інтернетом речей. Тут взаємодія мережі та виробництва вимагає нового погляду на проблеми сумісності технічних засобів, послуг, класів і параметрів якості обслуговування та якості сприйняття [13].

Для досягнення найвищої доступності та надійності системи, а також наднизької затримки, необхідної для тактильної інтернет-системи, компоненти системи створюють значні обмеження з точки зору контексту, контенту та мобільності [8, 9]. Таким чином, має бути встановлена відповідна конструкція для тестового з'єднання, необхідна між первинним і вторинним доменом з певними специфікаціями. Основна проблема, з якою стикається перевірка мережевого домену - це наскрізна затримка в 1 мс. Уся пропонована робота для мережевої галузі доводить, що вона повинна використовувати нові технології, такі як програмно-конфігуровані мережі (SDN), віртуалізація мережевих функцій (NFV), мобільні граничні обчислення (MEC) і програмно-конфігуроване радіо (SDR). Система зв'язку 5G полегшить реалізацію мережевого домену для системи тактильного Інтернету, оскільки вона визначить базову структуру. Основна проблема полягає в адаптації структури 5G для досягнення наскрізної затримки 1 мс. Тактильну інтернет-систему зазвичай можна розглядати як тришарову систему, що базується на структурі системи 5G, запропонованій NGMN [14]. У цьому розділі обговорюються переваги граничних обчислень у мобільних мережах і варіанти використання, які можуть бути розгорнуті в найближчому майбутньому. Це допомагає розглянути архітектури та варіанти розгортання MEC і оцінити довгострокову роль MEC у розвитку мереж 4G і 5G, також ми пропонуємо динамічний алгоритм для забезпечення продуктивності мережі. Вивчивши інші роботи на цю тему [10-12], було побудовано стенд мережі 5G: віртуалізація EPC з використанням технології віртуалізації мережевих функцій (NFV) (vEPC), поділ площин управління і даних у vEPC з використанням технології SDN/NFV.

2.1 Аналітична модель програмно-конфігурованої мережі з урахуванням вузла пам'яті для правил маршрутизації

Нині мережа 5G привертає пильну увагу наукової спільноти. Ця тема дослідження дає привід для вивчення в різних областях.

Деякі з поточних досліджень включають можливість використання радіочастоти для бездротової передачі енергії [5] або проблему розвантаження мережевого трафіку [12]. У деяких статтях більше уваги приділяється соціально-технічному аспекту, наприклад, [11], де розглядається продуктивність мережі між пристроями з урахуванням соціальних мереж.

Фундаментальна концепція ПКМ (SDN) змінює традиційне розуміння мережевої архітектури, вводячи терміни програмованих мереж і абстрагуючись від фізичної мережевої інфраструктури. Початкове визначення ПКМ (SDN) - це поділ функцій управління мережею і потоком трафіку (Control Plane) і функцій комутації пакетних даних (Data Plane). Функції розрахунку топології мережі та таблиць маршрутизації трафіку виконуються на окремому пристрої - контролері мережі. Весь мережевий інтелект знаходиться на мережевому контролері.

Функції комутації та маршрутизації пакетів (Data Plane) виконуються на мережевому обладнанні, яке підтримує завантаження таблиць комутації з центрального мережевого контролера, зазвичай з використанням протоколу OpenFlow. Це дає змогу масштабувати ресурси, необхідні для управління трафіком, незалежно від ресурсів, необхідних для комутації пакетів, щоб забезпечити найбільш ефективну експлуатацію обладнання. Крім того, централізація рівня управління знижує кількість керованих інтелектуальних пристроїв, спрощує роботу мережі та надання послуг.

Розвиток ідеї централізації функцій управління мережею дає нам змогу ширше визначати ПКМ (SDN). Це розробка стандартних протоколів і моделей даних, які дадуть змогу організувати централізоване управління мультивендорними і багаторівневими мережами. Контролери ПКМ (SDN) надають системам вищого рівня абстрактну топологію і моделі обслуговування,

спрощуючи організацію обслуговування і даючи змогу створювати нові застосунки, що використовують можливості мережевого програмування.

2.1.1 Проведені дослідження в цій галузі

Для аналітичного моделювання ПКМ (SDN) на основі OpenFlow у роботі [1] було використано теорію черги зі зворотним зв'язком для відображення взаємодії площини керування та площини даних, де комутатор моделюється як черга $M/M/1$, а контролер - як система організації черги зі зворотним зв'язком типу $M/M/1/S$. Ця робота [1] є першою спробою відобразити взаємодію між контролером і комутатором. У подальшій роботі цих авторів [2] використовується мережа Джексона для моделювання площини даних, тоді як контролер окремо моделюється як черга $M/M/1$ (з урахуванням сценаріїв як нескінченного, так і кінцевого буфера). Виходячи зі стандарту OpenFlow, трафік, що надходить від контролера на комутатор, не повинен мати можливості знову відправитися на контролер. Однак цей важливий аспект не було враховано обома моделями [1,2]; вони не розрізняють трафік між контролером та іншим трафіком. Тому нами розглянуто поділ для комутатора процесів аналізу для визначення типу трафіку та передавання мережею.

У [6] запити для визначення типу потоку від комутаторів на контролер моделюються як процес надходження серії запитів $M^k/M/1$ для отримання середнього часу обслуговування потоку. З огляду на обмежений час визначення правила для передання потоків, можна визначити максимальну кількість комутаторів для одного контролера. Однак у цій роботі не враховується зворотний зв'язок між площиною даних і контролером.

Найточніше моделюють роботу протоколу OpenFlow на комутаторі автори в роботі [5] і автори статей [6, 7] за рахунок поділу пакетів, які тільки-но прийшли в систему, і пакетів, що повернулися з контролера, які об'єднують велику роботу в моделях масового обслуговування для ПКМ (SDN).

Однак, великі дослідження недостатньо точно описують роботу ПКМ (SDN) мережі і не дають змоги оцінити аналітично всі параметри продуктивності. Ґрунтуючись на підході в роботі [2, 3, 7], нами було розглянуто систему з поділом вхідних потоків за типами трафіку і додано вузол, що відповідає за таблицю потоків (flow table).

Іншим ефективним аналітичним методом, крім теорії черг, є мережеве числення, яке також застосовується для аналізу мереж ПКМ (SDN) і OpenFlow [3, 4]. Цей підхід дає змогу визначити верхню межу опрацювання подій і визначення розміру буфера контролера ПКМ (SDN).

Оцінки, отримані в цих роботах, були використані нами під час проведення чисельного аналізу побудованої мережі.

2.1.2 Системна модель

Розглянемо випадок використання мережі ПКМ (SDN), як показано на рисунку 2.1. Побудована мережа складається з одного мережевого контролера і чотирьох послідовно з'єднаних комутаторів, кожен із комутаторів має виділений віртуальний канал для приймання та передавання сигнальної інформації контролеру. Система приймає пакети різних видів послуг від підключених клієнтів. Контролер зберігає таблицю всіх правил для пересилання пакетів відповідно до типів послуг, водночас кожний комутатор має обмежену пам'ять і може зберігати інформацію тільки про найчастіші типи пакетів, які надходять на нього. У разі, якщо комутатор не має правила маршрутизації для пакета, що надійшов на нього, - він звертається сигнальним каналом до мережевого контролера, який, зі свого боку, знаходить у своїй пам'яті потрібне правило і відправляє його на комутатор.

Коли новий пакет надходить на комутатор, у разі якщо інформація про його тип послуги присутня в пам'яті комутатора, пакет пересилається наступному комутатору відповідно до відомого маршруту. Якщо в пам'яті комутатора немає інформації про маршрут для даної послуги, пакет перенаправляється на

контролер виділений віртуальним каналом для передачі сигнальної інформації із запитом на пошук необхідного правила [11, 13].

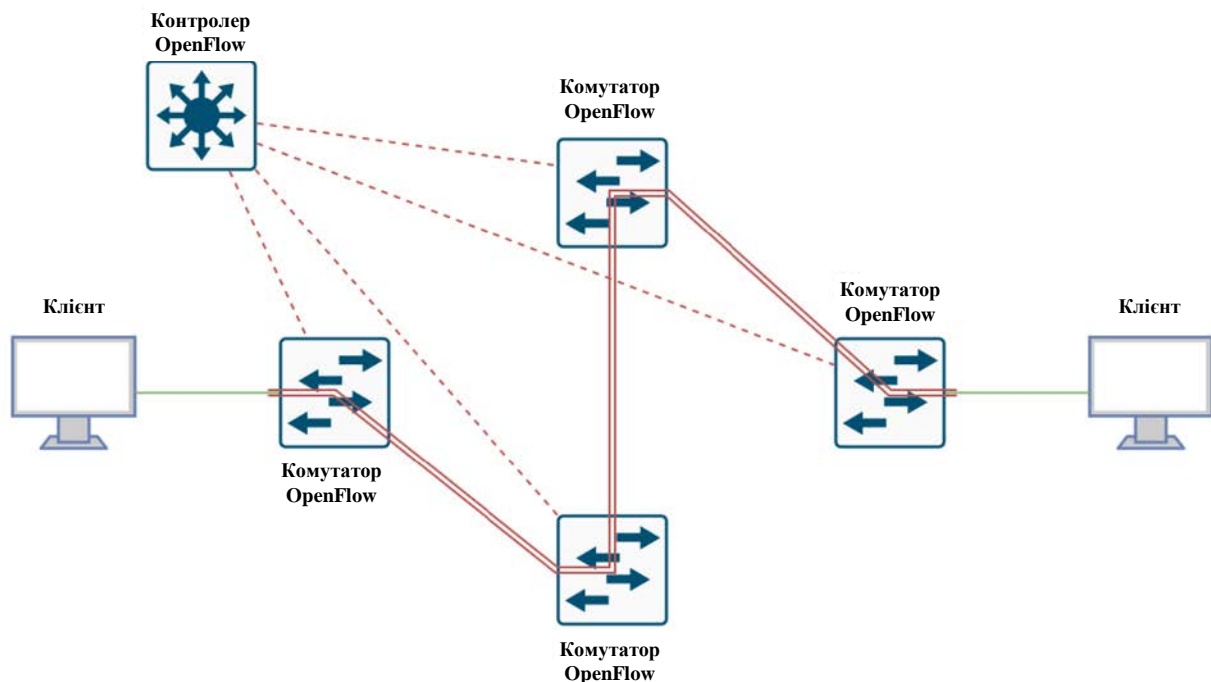


Рисунок 2.1 - Архітектура ПКМ (SDN) мережі

Коли пакет надходить на контролер, виконується пошук правила для побудови маршруту для цього пакета, а потім пакет повертається назад на комутатор, який його передав. Водночас усі комутатори, які входять у маршрут для цього типу трафіку, отримують правило для подальшого передавання пакета, у такий спосіб знижується кількість звернень до контролера мережі.

Правило на комутаторі може бути видалене з двох причин: якщо недостатньо пам'яті для нового правила, що надходить від контролера, або після закінчення заданого часу очікування нового пакета даного типу. У першому випадку комутатор видаляє одне зі старих відомих правил за певним алгоритмом - або найстаріше, пакети для якого найдовше не надходили, або найрідкіснішого типу послуг [10]. У другому випадку правило видаляється, якщо протягом певного часу не було пакетів цього типу, що надходять на комутатор, кожен новий пакет такого типу оновлює цей таймер.

2.1.3 Побудова математичної моделі

Цю систему можна подати як мережу масового обслуговування, що складається з $L + 1$ вузлів, де L - кількість мережевих комутаторів. Кількість вхідних потоків - K , відповідає кількості різних типів послуг, які є пуасонівськими потоками з постійною інтенсивністю $\lambda_k, k = 1, \dots, K$.

Кожен вузол комутатора має таблицю правил, яка може містити до $M \leq K$ правил і обробляти потік упродовж деякого часу T_s , загалом кажучи, що залежить від кількості правил у пам'яті, таймер зберігання правила в таблиці становить рівно T_m одиниць часу, а вузол контролера обробляє кожен пакет протягом постійного часу T_c .

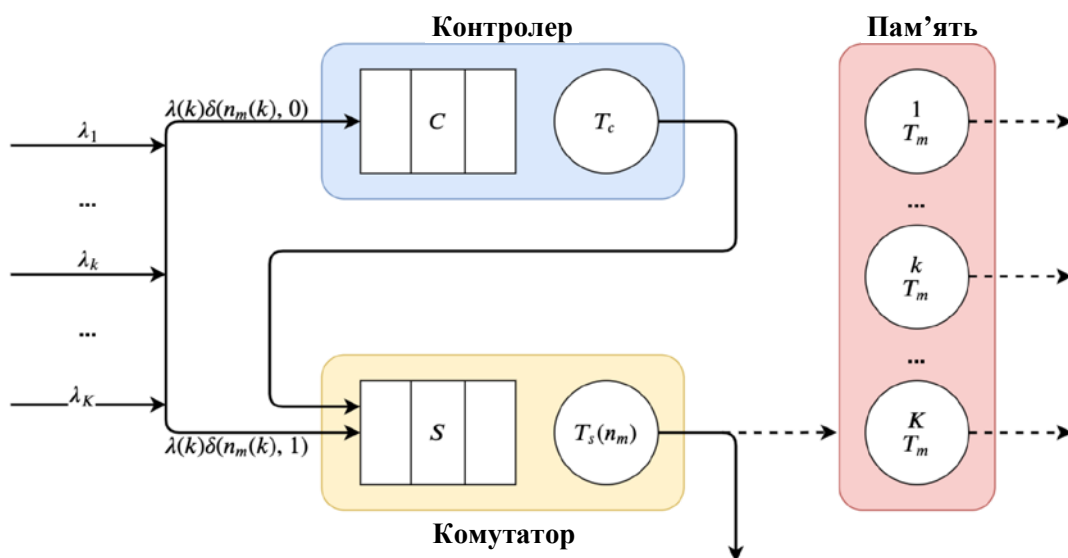


Рисунок 2.2 - Модель системи масового обслуговування

Через накладені обмеження, а саме той факт, що контролер надсилає сигнальну інформацію одразу всім комутаторам, які беруть участь у маршрутизації пакетів знайденого правила, можна припустити, що, з урахуванням архітектури, яку ми розглядаємо, затримки під час надходження пакета можуть виникати лише в першому вузлі мережі, тому уявімо таку математичну модель.

У моделі, представлений на рисунку 2.2, розглядається тільки контролер і один із мережевих комутаторів. Пам'ять для зберігання правил на комутаторі виділено в окремий вузол Пам'ять. Слід зазначити, що в той час як усі типи послуг спільно використовують черги в контролері та комутаторі, кожна з них має свій власний слот у вузлі Пам'ять, представлений у вигляді окремого приладу.

Нехай у систему надходять K пуассонівських потоків з інтенсивністю $\lambda(k)$, $k = 1, \dots, K$. Згідно з дельта-функцією:

$$\delta(n_m(k), j) = \{1, n_m(k) = j, 0, n_m(k) \neq j, \quad (2.1)$$

Пакети вхідного потоку йдуть або до комутатора, або до вузла контролера, залежно від наявності правила в пам'яті комутатора. У цій системі передбачається миттєве визначення наявності правила у вузлі Пам'ять. - Модель вузла Комутатор відповідає системі $G/G/1/S$. СМО складено таким чином, що в момент надходження заявки на цей вузол, комутатор завжди має відповідне правило, тому заявку обслуговують відповідно до обраної дисципліни обслуговування. Якщо ж правила не було, то заявку спочатку буде відправлено на контролер. Також приймемо спрощення, що в системі немає втрат через видалення правила в той час, коли заявка перебуває в черзі обслуговування на комутаторі - якщо заявка перебувала на комутаторі, вона гарантовано буде обслуговуватися. Це спрощення достатньою мірою корелює з технічною моделлю [10], оскільки на практиці така ситуація рідко трапляється.

Тривалість обслуговування на пристрої є випадковою величиною T_s , яка зазвичай залежить від кількості правил у пам'яті комутатора (чим більше правил, тим більше часу потрібно для його пошуку).

Після завершення обслуговування на вузлі Комутатор запит відправляється на вузол Пам'ять, оновлюючи таймер зберігання правил. - Структура вузла Контролер відповідає системі $G/G/1/C$. У той момент, коли заявку отримано, її поміщають у чергу для пошуку необхідного правила маршрутизації. Тривалість

пошуку - це тривалість обслуговування заявки на приладі. У загальному вигляді, це випадкова величина з нескінченно малою дисперсією, яка може бути апроксимована деякою константою T_c . Після завершення обслуговування на вузлі Контролер, заявку відправляють на вузол Комутатор для подальшого передавання пакета, а також на вузол Пам'ять для додавання правила й оновлення таймера зберігання. - Структура вузла Пам'ять. Вузол складається з K приладів, і одночасно може бути зайнято не більше M приладів ($M \ll K$), оскільки пам'ять зберігання правил на комутаторі обмежена. Заявка k -го потоку, що надходить, перебуває на k -му приладі вузла відповідно. Заявка застане пристрій вільним, якщо правила для цього типу трафіку раніше не було в пам'яті, а якщо правило вже було на приладі, заявка, розміщена на ньому, буде замінена, і таймер зберігання правила буде оновлено. Під тривалістю обслуговування тут розуміється тривалість зберігання правила в пам'яті комутатора і дорівнює константі T_m .

Заявка, що надійшла від вузла Контролер, може застати вузол Пам'ять у стані, коли всі доступні M приладів зайняті, тоді вона матиме пріоритет над заявкою, що відповідає типу потоку з найменшою інтенсивністю надходження, таким чином, витісняючи її з пам'яті. Позначимо стан k -го пристрою у вузлі пам'яті як $n_m(k) = \{1\text{-пристрій зайнятий}; 0\text{-пристрій вільний}\}$.

2.1.4 Спрощений сценарій

Щоб отримати марковський випадковий процес, зробимо таке спрощувальне припущення. Нехай тривалість обслуговування в кожному вузлі мережі буде випадковими величинами з експоненціальним розподілом імовірностей і такими інтенсивностями обслуговування:

- На вузлі Комутатор - μ_s ,
- На вузлі Контролер - μ_c ,
- На вузлі Пам'ять - μ_m ,

однаковими для всіх типів потоків, що входять до системи.

У такому разі, ми можемо ввести випадковий процес $X(t) = n_c(t), n_s(t), n_m(t)$ у розглянуту систему. Простір станів визначено формулою:

$$X = \{(n_c, n_s, n_m)\}: n_c = (n_c(1), \dots, n_c(K)), \sum_{k=1}^K n_c(k) \leq C, \quad (2.2)$$

$$n_s = (n_s(1), \dots, n_s(K)), \sum_{k=1}^K n_s(k) \leq S, n_m = (n_m(1), \dots, n_m(K)), n_m(k) \in \{0,1\}, \sum_{k=1}^K n_m(k) \leq M\}.$$

Для введеного марковського процесу складено діаграми інтенсивностей переходів у центральний стан на рисунку 2.3 і з центрального стану на рисунку 2.4.

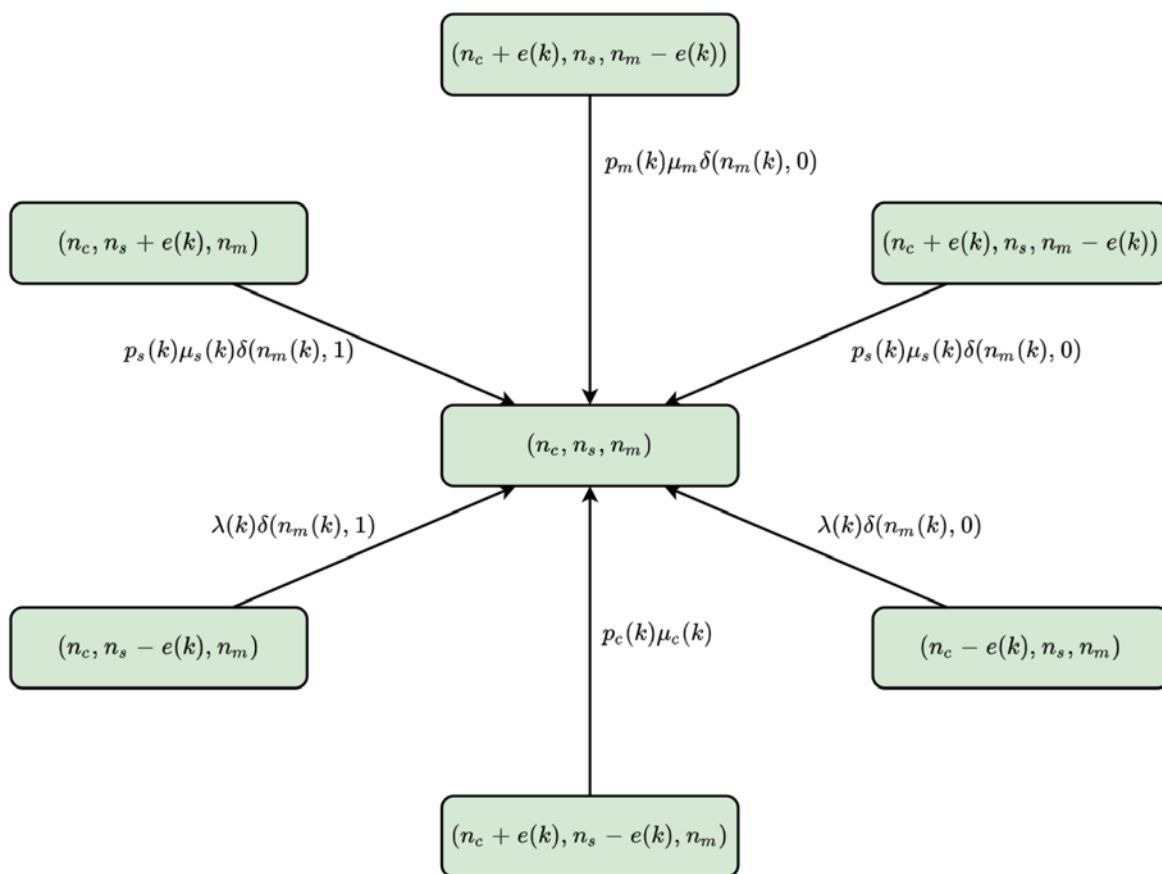


Рисунок 2.3 - Діаграма інтенсивностей переходів у центральний стан

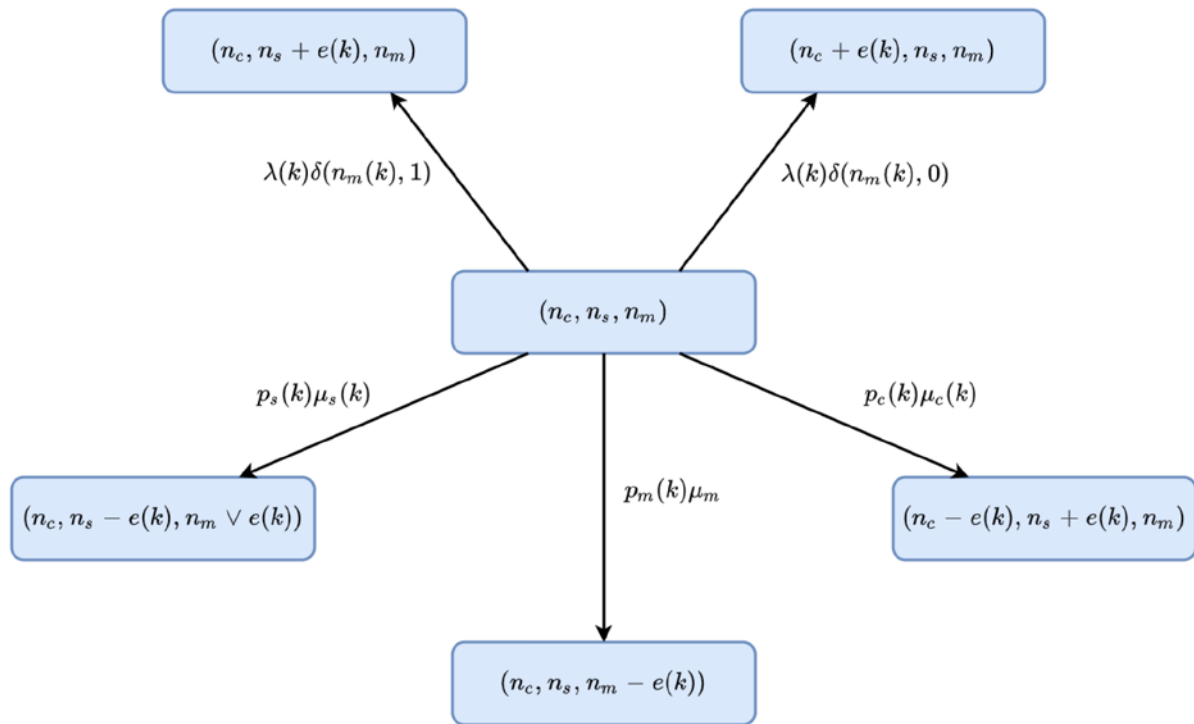


Рисунок 2.4 - Діаграма інтенсивностей переходів із центрального стану
Також було отримано рівняння для центрального стану

$$p(n_c, n_s, n_m) \sum_{k=1}^K (\lambda(k) + p_c(k)\mu_c(k) + p_s(k)\mu_s(k) + p_m(k)\mu_m) \quad (2.3)$$

де

$$p_i(k) = \frac{n_i(k)}{\sum_{j=1}^K n_i(j)}, i \in c, s, m. \quad (2.4)$$

Для цієї системи розглядаються такі показники якості обслуговування: середня кількість заявок на контролері та комутаторі (2.5), середній час очікування на контролері (2.7) та комутаторі (2.9), а також середня кількість пакетів та середній час очікування в усій системі (2.6) і (2.8).

$$N_i(k) = \sum_{(n_c, n_s, n_m) \in X} n_i(k) p(n_c, n_s, n_m), i \in \{c, s\}, \quad (2.5)$$

$$N(k) = N_c(k) + N_s(k), \quad (2.6)$$

$$W_c(k) = \frac{N_c(k)}{\lambda(k) \hat{p}_c(k)}, \quad (2.7)$$

$$W(k) = \frac{N(k)}{\lambda(k)}, \quad (2.8)$$

$$W_s(k) = W(k) - \hat{p}_c(k) W_c(k), \quad (2.9)$$

де

$$\hat{p}_c(k) = \sum_{(n_c, n_s, n_m) \in X} p(n_c, n_s, n_m) \delta(n_m(k), 0), \quad (2.10)$$

$$\hat{p}_s(k) = \sum_{(n_c, n_s, n_m) \in X} p(n_c, n_s, n_m) \delta(n_m(k), 1) \quad (2.11)$$

та

$$\hat{p}_c(k) + \hat{p}_s(k) = 1. \quad (2.12)$$

Тут $p_c(k)$ та $p_s(k)$ - імовірності того, що пакет, який надійшов, буде відправлено на контролер або комутатор відповідно.

2.2 Чисельний аналіз

Беручи до уваги той факт, що загальний простір станів експоненціально зростає з кількістю різних типів трафіку, у цьому дослідженні ми прагнемо тільки довести похідну модель. Таким чином, ми розглядаємо один тип трафіку і відносно невелику довжину черги, оскільки кожен додатковий тип трафіку призводить до експоненціального розширення простору станів.

Оскільки вузли контролера і комутатора здебільшого відповідають тільки за пошук правила маршрутизації та надсилання пакета, а пакет не змінюється під час перебування в системі, ми вважаємо, що час, необхідний для його обслуговування на контролері і на комутаторі, ідентичний. Середній час перебування правила в пам'яті досить великий, щоб мінімізувати навантаження на контролер. Система вивчається в незавантаженому стані.

На рисунках 2.5 і 2.6 показано графіки середнього числа пакетів на контролері, комутаторі та в системі. Експоненціальна шкала осі Y, використовувана для відображення значень для контролера, оскільки значення набагато менші, ніж на перемикачі.

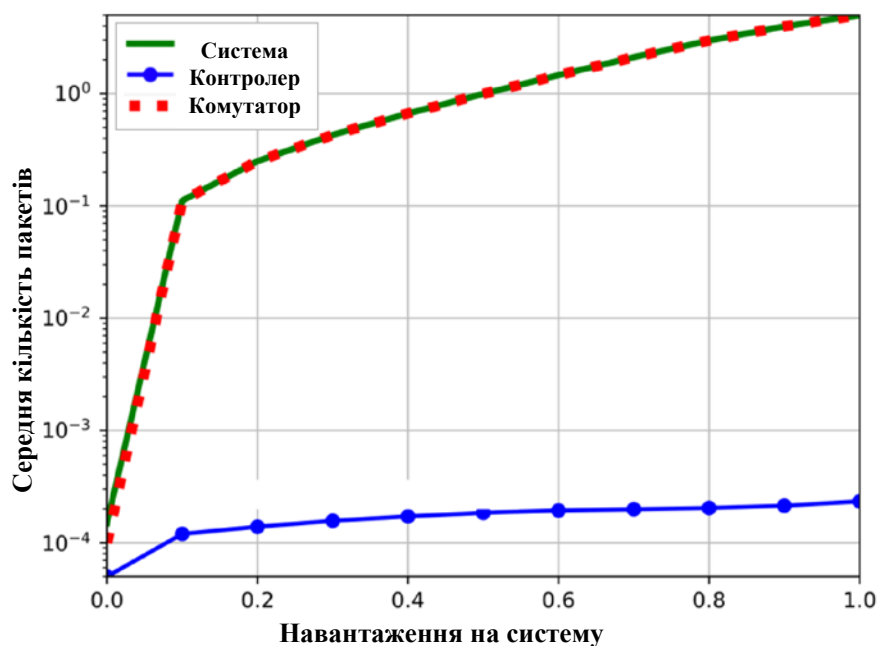


Рисунок 2.5 - Середнє число пакетів на вузлах мережі від навантаження

На рисунку 2.7 показано середній час, який пакет проводить на контролері, на комутаторі і в системі. Обидва графіки дано залежно від завантаження першого типу трафіку.

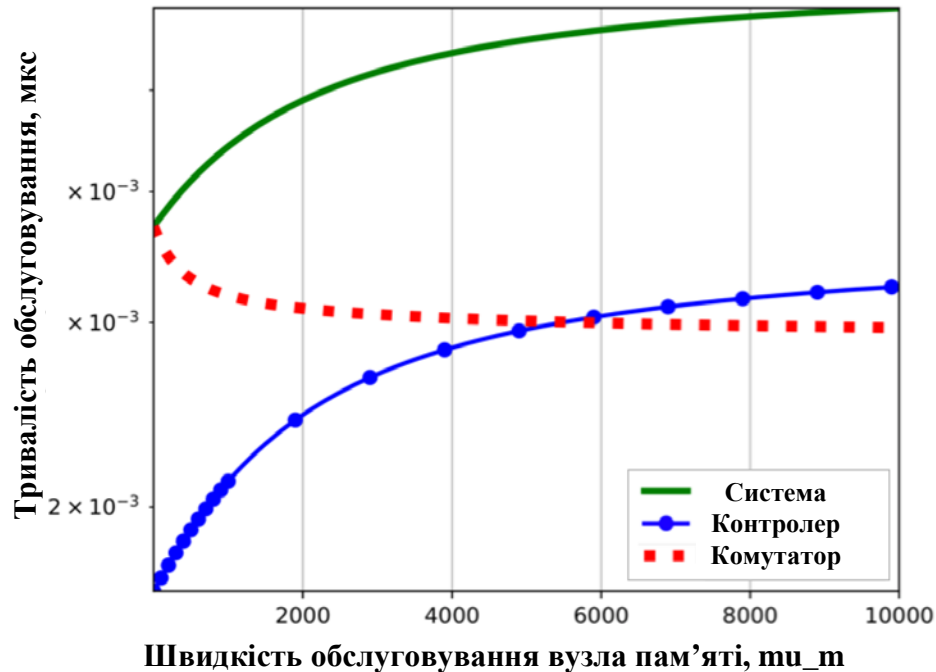


Рисунок 2.6 - Середній час обслуговування заявки від навантаження

На рисунку 2.7 показано ті самі параметри при завантаженні $\lambda = 800$ залежно від швидкості обслуговування вузла пам'яті. Можна бачити, що обидва графіки відображають схожу поведінку, оскільки чим більше пакетів у вузлі, тим довший середній час обслуговування на цьому вузлі. Крім того, що менше часу зберігається правило у вузлі пам'яті, то частіше надсилається пакет на контролер, що призводить, з одного боку, до збільшення середнього числа пакетів і середнього часу на контролері, у системі та на з іншого боку, зниження цих значень для перемикача. Збільшення кількості пакетів у системі пов'язане з тим, що частина навантаження перенаправляється на контролер.

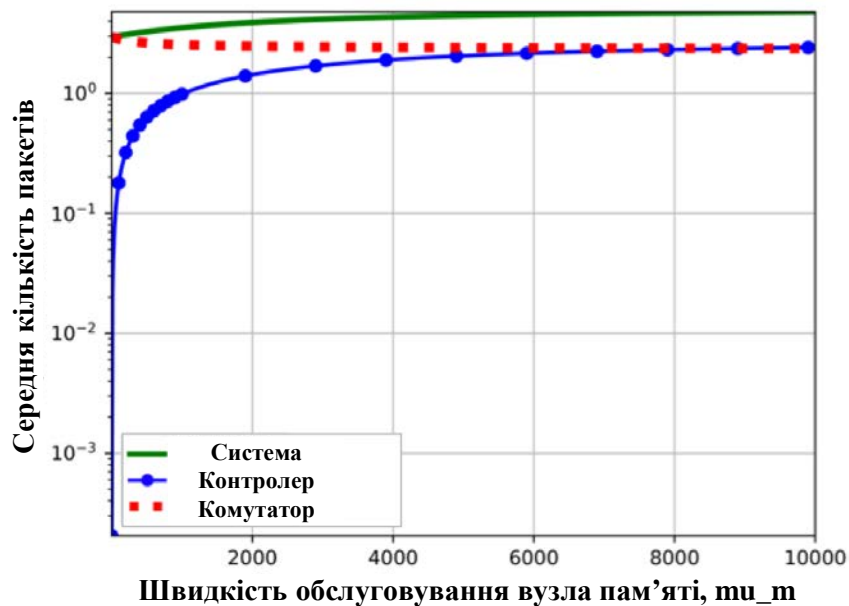


Рисунок 2.7 - Середнє число пакетів на вузлах мережі від часу зберігання правил

Можна бачити, що для перерахованих даних майже всі пакети негайно передаються на комутатор, внаслідок чого його завантаження надзвичайно близьке до завантаження системи. У цьому разі контролер залишається здебільшого невикористаним.

2.3 Інтелектуальне ядро мережі для обслуговування різних додатків толерантні до міграції

2.3.1 Системна модель

Пропонована система розгортаються граничні обчислення з мережевою інфраструктурою, що базується на ПКМ, для обслуговування різноманітних додатків, толерантних до міграції. Система у вигляді трирівневої архітектури, яка показана на малюнку нижче.

Перший рівень являє собою кінцеві пристрої.

Другий рівень являє собою набір граничних вузлів, які обслуговують пристрої першого рівня.

Третій рівень - це хмарна інфраструктура, яка є батьківською. Включає в себе інтеграцію різних протоколів.

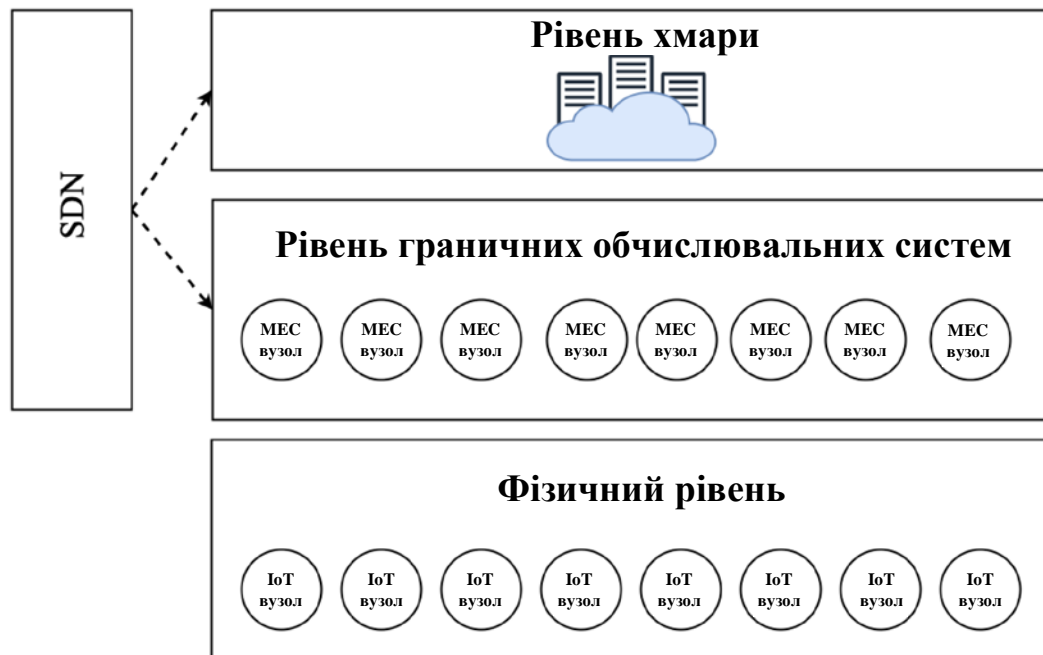


Рисунок 2.8 - Багаторівнева схема взаємодії ПКМ (SDN)

Мережа також використовується основна комунікаційна парадигма, поряд із трьома введеними рівнями. Які розгорнуті для допомоги системі та забезпечення контролю, управління і безпеки для введеної системи.

Наскрізна системна структура пропонованої системи IoT представлена на рисунку 2.9.

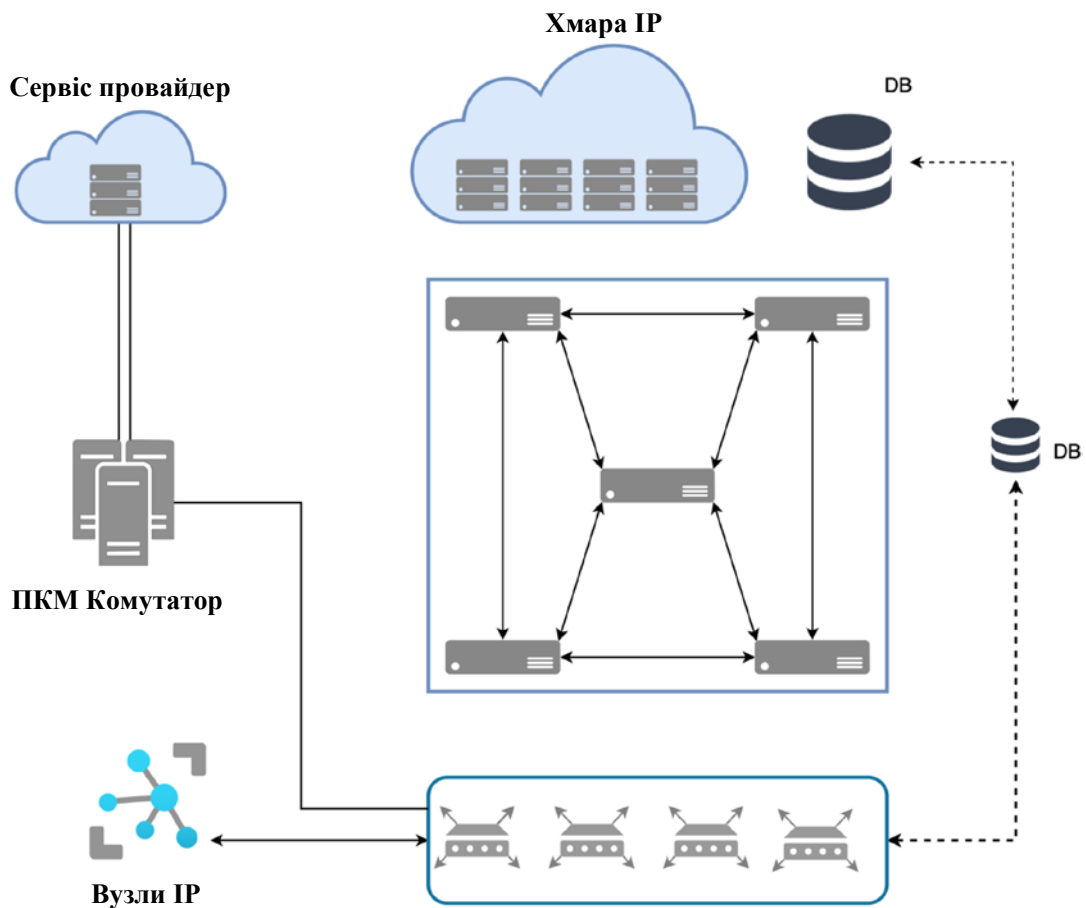


Рисунок 2.9 - Принципова схема запропонованої моделі

2.3.2 Структура програмно-конфігурованих мереж

У системі розгортається єдиний централізований фізичний контролер SDN, який контролює і управляє розподіленими вузлами MEC і, отже, пристроями IoT. На рис. 2.8 показано три основні рівні розгорнутої моделі SDN. Площина даних мережі SDN містить усі сенсорні вузли, які можуть мати додаткові ресурси від вузлів MEC, а схему площини управління представлено розгорнутим контролером SDN [5].

У мережі SDN також використовуються розподілені комутатори OF з обмеженими обчислювальними можливостями. Ці комутатори можуть надавати деякі обмежені послуги на додаток до функцій перемикання. Контролер SDN може налаштовувати і керувати всіма розгорнутими комутаторами OF через

відповідний інтерфейс, тобто будь-яку підтримувану версію протоколу OF [8]. Контролер SDN використовує алгоритм кластеризації, представлений у [9], так що кожен вузол MEC або група вузлів MEC пов'язані з розподіленим контролером SDN.

Розподілені контролери SDN розгортають функцію перенесення пакетів, щоб забезпечити безпеку баз даних і роботу проти атак насичення [6].

Розподілена мережа SDN дає змогу мережевому оператору програмувати MEC-вузли та пристрої IoT і керувати ними через інтерфейси прикладного програмування (API).

2.3.3 Алгоритм вивантаження даних

Пропонована система працює на основі алгоритму потоку даних. Робота мережі проходить через різні етапи. Першим кроком є автентифікація, оскільки вузол IoT має бути авторизованим. Вузол IoT зв'язується безпосередньо з хмарою IoT для авторизації.

Потім хмара IoT виконує процес аутентифікації та ідентифікує пристрій, що авторизується. Наступним кроком є визначення адреси, за якої хмара телефонує постачальнику послуг, щоб визначити місце розташування IoT. Для цієї мети постачальник послуг звертається до оркестратора SDN, який ініціалізує пошук пристрою IoT. Ба більше, оркестратор SDN заповнює таблицю маршрутизації різними шляхами маршрутизації між вузлом IoT і хмарою та знаходить усі комутатори OF, призначені для цього зв'язку.

Оскільки система в основному враховує використання ресурсів, вона використовує всі доступні ресурси. Отже, контролер SDN дає змогу комутаторам OF виконувати деякі завдання обробки та обчислення даних, що пересилаються IoT після рівня MEC. Контролер SDN оцінює комутатори OF з доступними ресурсами після перевірки певних параметрів. Ці параметри такі: Трафік IoT Транзитний трафік Трафік доступу. Контролер SDN визначає можливість включення даних IoT, переданих у базову мережу через рівень туману, до складу

доступних ресурсів комутаторів OF, оптимізуючи попередні параметри, і, таким чином, інформує обрані комутатори. Оркестратор створює віртуальну машину на обраних комутаторах OF, які використовуються для обробки даних. Наступним кроком є міграція бази даних. Хмара IoT через постачальника послуг переносить базу даних для обслуговування групи IoT через певні комутатори OF. Мережа продовжує працювати, а комутатори OF агрегують і синхронізують дані IoT з хмарою.

Обробка обчислювальних завдань для комутаторів OF дає різні переваги для запропонованої нами структури системи IoT, ці переваги включають наступне: - Зменшення затримки зв'язку. - Зниження навантаження на канал. - Корисність для антиперсистентного трафіку в базовій мережі та - Ефективне використання ресурсів.

2.3.4 Модель трафіку в системі граничних обчислень

Зрозуміло, що скорочення частини абонентського трафіку в локальній хмарі знижує загальний трафік, а отже, підвищує якість обслуговування (QoS) трафіку, який обслуговує мережа. Впровадження вузлів MEC з SDN в мережі IoT має великий вплив на продуктивність і ефективність мережевого трафіку. Для підвищення цієї продуктивності вводиться модель трафіку на основі туманних обчислень. Ця модель трафіку відображає вплив впровадження туманних обчислень на служби трафіку в мережі.

Для оцінювання ефективності впровадження MEC вузлів (на продуктивність і ефективність трафіку як основний показник розглядають час доставки вивантажених даних, що відображає вплив MEC обчислень на обслуговування трафіку в мережу.

Пропонована модель трафіку розглядає роботу мережі доступу, опорної мережі та сервера додатків як процеси організації черги. Модель трафіку передбачає систему масового обслуговування G/G/1, а також припускає, що основною характеристикою мережі доступу, базової мережі та сервера додатків

є час доставки T [4]. На рисунку 2.10 показано пропоновану модель трафіку, засновану на моделі черг $G/G/1$.

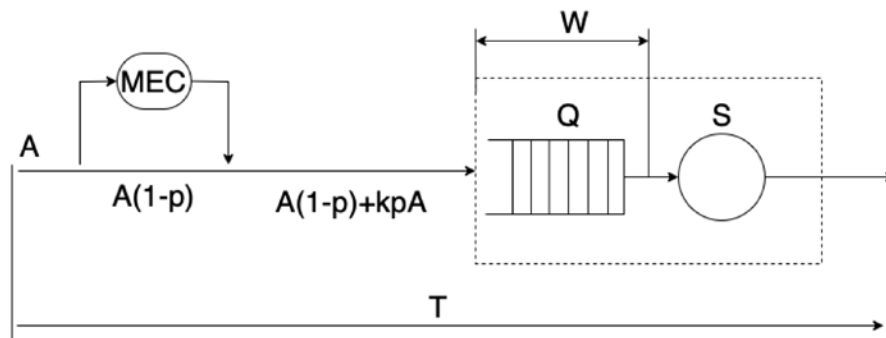


Рисунок 2.10 - Модель обслуговування трафіку

Загальний трафік, створений групою користувачів (наприклад, вузлами IoT) у стільнику або базовій станції, має інтенсивність A . Призначений для користувача трафік може бути перенаправлений на найближчий вузол MEC; передбачається, що ймовірність того, що ця подія відбудеться, дорівнює P . Це зменшує обсяг трафіку, оброблюваного в мережі доступу. Таким чином, трафік, що обслуговується мережею доступу, дорівнює x , де x розраховується таким чином:

$$x = A (1 - P) \quad (2.13)$$

Інтенсивність трафіку, оброблюваного вузлом MEC, дорівнює x_0 , де x_0 можна розрахувати таким чином:

$$x_0 = AP \quad (2.14)$$

У результаті служба трафіку вузла туманних обчислень створює трафік, який спрямовується в базову мережу з інтенсивністю x^{00} , де x^{00} розраховується таким чином:

$$x^{00} = APK, \quad 0 < K \leq 1 \quad (2.15)$$

де K - константа ймовірності зі значенням від нуля до одиниці. Для будь-якого значення K , нижчого за одиницю, обсяг трафіку, що пересилається в базову мережу, зменшується, і, отже, блок МЕС забезпечує скорочення трафіку і зменшує перевантаження мережі. Нульове значення константи K відповідає видаленню шару граничних обчислень.

Загальний час доставки T можна розрахувати таким чином [1]:

$$T = W + s = \rho s / (2(1 - \rho)) \varepsilon + s, \quad \rho = as \quad (2.16)$$

$$a = x + x^{00} = A(1 - P) + APK \quad (2.17)$$

де s - час обслуговування, ε - коефіцієнт форми [4]. Ефективність впровадження вузлів МЕС обчислень за трафіком дорівнює E і може бути розрахована як відсоткове зниження затримки в черзі звичайної мережі IoT (тобто без впровадження вузлів туманних обчислень) і завдяки наявності шару МЕС обчислень.

$$E = 1 - E_F/E_0 = 1 - (1 - \rho)/(1 - \rho(1 - P))(1 - P) \quad (2.18)$$

де E_F - це ефективність існування шару МЕС обчислень, а E_0 - ефективність звичайної системи IoT без шару МЕС. Максимальне значення E відповідає максимальній ефективності використання вузлів туманних обчислень. На рисунку 2.11 показано вплив зміни ймовірності перенаправлення трафіку в шар МЕС на ефективність E за різних значень ρ . У міру збільшення ймовірності вузли МЕС можуть обробляти більший обсяг трафіку і, таким чином, підвищується ефективність. Крім того, залежність показує, що ефективність швидко зростає в разі великого значення трафіку і повільно зростає в разі малого значення трафіку.

Крім того, ефективність варіюється від 0, коли трафік не спрямовується в туманну хмару, до 1, коли весь трафік спрямовується в МЕС вузли.

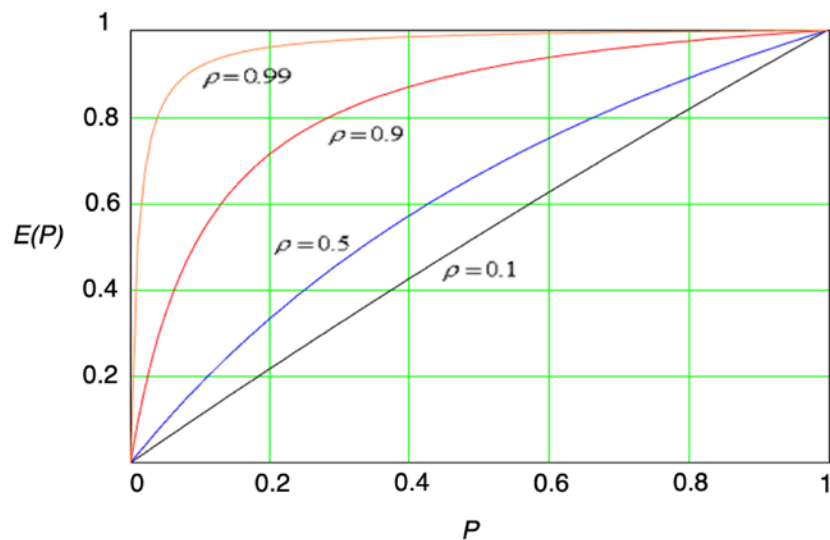


Рисунок 2.11 - Імовірність перенаправлення трафіку в шар МЕС

2.3.5 Структура імітаційного моделювання

Для оцінки продуктивності запропонованої структури системи та алгоритму вивантаження даних проводиться наступний експеримент. Побудуємо систему, показану на рисунку 2.9, а компоненти мережі, які розглядаються, наведено в таблиці 2.1, із введенням специфікацій кожного компонента.

Архітектура x86 розгорнута для роботи в якості комутатора OF, здатного підтримувати завдання обробки та обчислень [2]. Ми використовуємо 48 вузлів Raspberry; кожен із них представляє вузол IoT. 48 вузлів Raspberry діють як генератори трафіку, які генерують трафік даних, у середньому по 6 на кожен вузол. Прикладний рівень підтримує протоколи MQTT і CoAP.

Таблиця 2.1 - Вхідні параметри імітаційного дослідження

Device	Specifications	
IoT-Cloud	Vendor	Fujitsu
	CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v4 @ 2.10GHz
	Core	32
	RAM	48 GB
Service provider	Vendor	lanner
	CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 v4 @ 2.20GHz
	Core	12
	RAM	32 GB
Orchestrator/controller	Brain4Net Service Platform	
OF Switch	Vendor	lanner
	CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 v4 @ 2.20GHz
	Core	12
	RAM	40 GB
IoT-Node	Raspberry pi 3	

Система моделюється на машині з процесором Intel Core i5 з частотою 3,07 ГГц і пам'яттю 16 ГБ. Параметри моделювання, що розглядаються, наведено в таблиці 2.2.

Для оцінювання продуктивності пропонованої системи враховуються такі показники продуктивності як для моделювання, так і для експериментальних робіт; використання ресурсів (наприклад, зберігання, оброблення та енергія) і наскрізна затримка.

Таблиця 2.2 - Вхідні параметри симулятора

Параметр	Позначення	Значення
МЕС вузол		
Висхідний потік	BWUP	500 Mbps
Низхідний потік	BWDown	10000 Mbps
Ємність пам'яті	RAM	6144 MB
Обчислювальна потужність	CPU	30000 MIPS
Затримка в мережі оператора	^d Fog-Gateway	4 ms
Затримка вузла абонента	^d Fog-Node	1ms
Хмара		
Висхідний потік	BWUP	10000 Mbps
Низхідний потік	BWDown	10000 Mbps
Ємність пам'яті	RAM	40960 MB
Обчислювальна потужність	CPU	30000 MIPS
Затримка в хмарі	^d Cloud-Gateway	100 ms
Оператор мережі		
Висхідний потік	BWUP	10000 Mbps
Низхідний потік	BWDown	10000 Mbps
Ємність пам'яті	RAM	8192 MB
Обчислювальна потужність	CPU	5000 MIPS
Вузли абонентів		
Висхідний потік	BWUP	200 Mbps
Низхідний потік	BWDown	250 Mbps
Ємність пам'яті	RAM	2048 MB
Обчислювальна потужність	CPU	1500 MIPS

2.3.6 Аналіз результатів імітаційного моделювання

Щоб оцінити продуктивність розгортання парадигми розподілених туманних обчислень і SDN, система моделюється для трьох розглянутих випадків. У першому випадку система моделюється без розгортання розподілених туманних обчислень і мережі SDN. У цьому випадку розподілені IoT-пристрої повинні були взаємодіяти з віддаленою хмарою, а обчислювальні можливості поблизу не надавалися. Другий випадок являє собою систему з розподіленим рівнем туманних обчислень і без розгортання мережі SDN. У цьому випадку розподілені пристрої IoT можуть використовувати прилеглі можливості туманних обчислень. Останній випадок являє собою запроповану мережу IoT з розгортанням розподілених туманних обчислень, контрольованих мережею SDN. У таблиці 2.3 наведено характеристики розглянутого випадку.

Таблиця 2.3 - Опис сценаріїв симулятора

Сценарій	розгорнута технологія зв'язку
Сценарій 1	Централізоване хмарне обчислення
Сценарій 2	Централізоване хмарне обчислення і граничне обчислення
Сценарій 3	Централізоване хмарне обчислення і граничне обчислення з інтегрованим SDN

На рисунках 2.12 і 2.13 показано результати моделювання з точки зору використання ресурсів. Запропонована система IoT з розподіленими МЕС і мережею SDN забезпечує вищу продуктивність, ніж раніше розглянуті випадки з точки зору використання ресурсів зберігання.

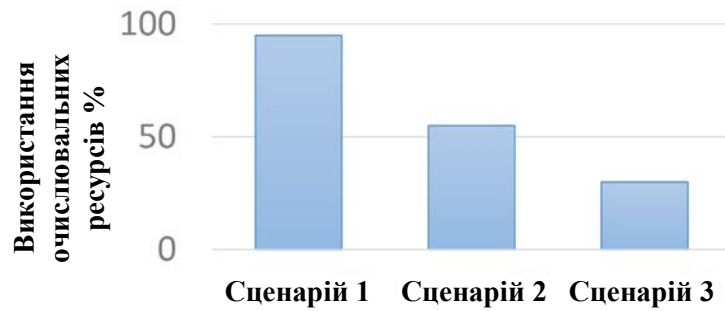


Рисунок 2.12 - Середнє завантаження ресурсів з точки зору обробки для розглянутих випадків моделювання



Рисунок 2.13 - Середнє використання ресурсів у перерахунку на енергоспоживання для розглянутих варіантів моделювання

Рисунок 2.12 ілюструє показники використання ресурсів обробки для кожного розглянутого випадку. Пропонована система ефективно використовує ресурси обробки з вищою продуктивністю, ніж інші розглянуті системи. На рисунку 2.13 представлено загальну енергію, споживану для обчислювальних завдань усіма елементами мережі в кожному розглянутому випадку на основі моделі енергоспоживання, представленої в [7]. Розгортання SDN із розподіленими граничними обчисленнями забезпечує вищу енергоефективність мережі IoT і, отже, ефективніше використання енергетичних ресурсів.

Результати показують, що пропонована система забезпечує більш високу ефективність затримки. Таким чином, пропонована система IoT забезпечує вищу

ефективність із погляду використання обчислювальних ресурсів (наприклад, оброблення, зберігання та енергії) і затримки.

Це пов'язано з тим, що розгортання парадигми розподілених граничних обчислень наближає обчислювальні ресурси до пристроїв IoT. Крім того, розгортання SDN для контролю та управління. Мережа IoT-MEC є ключовим рішенням для підвищення продуктивності. Це пов'язано з раніше згаданими перевагами мереж на основі SDN.

Рисунок 2.14 ілюструє відсоток середнього завантаження ЦП комутаторів OF у двох розглянутих випадках. У першому випадку мережа працює без шару MEC, це сильно навантажує комутатори ОВ. У другому випадку розгортаються вузли туману. Результати показують високу продуктивність, досягнуту в разі розгортання MEC.

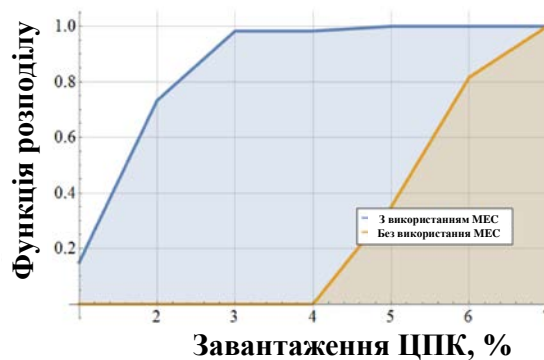


Рисунок 2.14 - Завантаження ЦПК вузла MEC з комбінованою функцією комутатора

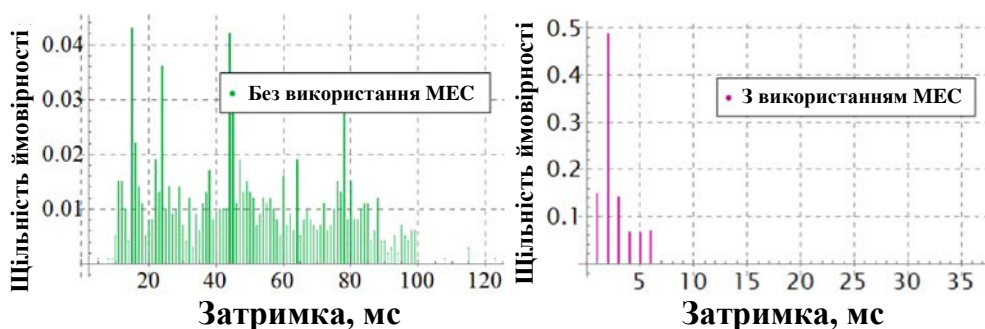


Рисунок 2.15 - Щільність ймовірності затримки послуги

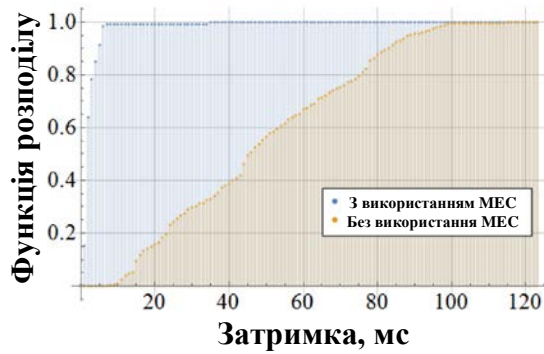


Рисунок 2.16 - Функція розподілу затримки послуги

2.4 Висновки до розділу 2

Побудова мереж майбутнього покоління на основі інтелектуального ядра мережі включає в себе використання передових технологій та методів для забезпечення більш ефективної, гнучкої та інтелектуальної мережі.

Впровадження алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу даних мережі, прогнозування навантаження, виявлення аномалій та автоматизованого управління ресурсами. Використання концепції SDN для централізованого та динамічного управління мережевими ресурсами, розподілу трафіку та забезпечення більшої гнучкості.

Впровадження технологій NFV для віртуалізації мережевих сервісів, забезпечення більшої ефективності використання ресурсів та швидкого розгортання нових сервісів. Залучення переваг технологій 5G, таких як велика пропускна спроможність, низька затримка та підтримка великої кількості пристроїв, для покращення продуктивності та розширення можливостей мережі.

Сприяння розвитку мережі для підтримки великої кількості підключених пристроїв та обробки великого обсягу даних, які генеруються різними IoT-пристроями. Використання технологій інтелектуальної кібербезпеки для виявлення та захисту від загроз на рівні мережі, включаючи аналіз поведінки та прогнозування потенційних загроз.

Застосування технологій гомоморфного шифрування для захисту конфіденційності даних під час їх передачі та обробки в інтелектуальному ядрі мережі. Комбінування різних технологій та підходів для створення гібридної мережі, яка враховує усі переваги доступних технологій.

Використання автоматизованих систем управління для оптимізації роботи мережі, виявлення та виправлення проблем. Розгляд можливостей використання зелених технологій для зменшення впливу мережі на довкілля та оптимізації використання енергії. Вказані методи дозволяють побудувати інтелектуальне ядро мережі, яке може ефективно відповідати на виклики та забезпечувати високий рівень сервісу та продуктивності.

3 ДИНАМІЧНИЙ АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЯДРА МЕРЕЖІ

3.1 Архітектура EPC на основі віртуалізації мережевих функцій

У рамках концепції EPC на основі NFV вузли EPC переносяться з виділених апаратних платформ на віртуальні машини (VM) або контейнери і реалізуються як функції віртуальної мережі (VNFS), які працюють як програмне забезпечення в хмарному середовищі (наприклад, OpenStack). Однак функціональних змін немає: інтерфейси і протоколи (наприклад, GTP), що використовуються для зв'язку між вузлами, як і раніше стандартизовані 3GPP.

Мережеві функції створюються і управляються хмарним контролером або за допомогою деяких новітніх інструментів, таких як OpenStack Tacker, OpenBaton або OpenMANO. Ресурси для VNFS надаються інфраструктурою NFV (NFVI).

NFV забезпечує такі переваги, як зниження витрат і гнучкість.

Це завдання з перепроєктування архітектури EPC видається найбільш здійсненним у житті, оскільки воно не вимагає будь-яких серйозних змін у поточному розгортанні EPC. Кожен вузол може бути віртуалізований з використанням декількох віртуальних машин, що дає змогу одночасно розгорнути кілька EPC на основі NFV (VEPCS). Підтримка універсальних інтерфейсів і протоколів дає змогу мобільним операторам використовувати взаємодію п'яти ПК з наявними EPC.

Однак цей підхід має низку обмежень. Збереження всіх VNFS у рамках стандартів 3GPP створює проблеми під час додавання нових VNFS, оскільки останні мають бути налаштовані та створені узгодженим чином.

Крім того, процес масштабування та ініціалізації неефективний через тісні зв'язки між площинами управління і даними в P-GW і S-GW через те, що площини висувають різні вимоги до ресурсів обробки, як згадувалося раніше. Крім того, передача інформації з вузлів EPC у VNFS може призвести до втрати

інформації під час процедур масштабування, таких як видалення VNFS із системи. Це підвищує проблеми надійності та відмовостійкості. За такого підходу шлюзи EPC (SGW, PGW) поділяються на площину управління - SGW-C і PGW-C і площину даних - SGW-U і PGW-U [7]. Потім, використовуючи технологію NFV, функції площини управління (SGW-C, PGW-C) стають VNFS. У цьому разі функції площини даних (SGW-U, PGW-U) залишаються або на виділених апаратних платформах, або також стають віртуальними.

Після поділу площин даних і управління SGW і PGW можуть бути об'єднані: SGW-C і PGW-C - в єдиний об'єкт управління, званий GW-C; SGW-U і PGW-U - в єдиний об'єкт площини даних, званий GW-U. У всіх випадках для зв'язку між площинами використовується контролер SDN, який також може бути віртуалізований. Його функції включають інтерпретацію сигнальних повідомлень, отриманих з площини управління, і налаштування правил пересилання в площині даних через відкритий API. Площину даних (SGW-U, PGW-U) може бути реалізовано у вигляді комутаторів OpenFlow, здатних інкапсулювати та декапсулювати GTP. Порівняно з першим методом, цей підхід не тільки має такі переваги, як гнучкість і зворотна сумісність, а й усуває недоліки архітектури vEPC з реалізацією SDN. SDN розділяє площини управління і даних, які тепер можна масштабувати незалежно економічно ефективним способом.

Поділ площин також дає змогу переміщати їх мережею, наприклад, ближче до користувача, щоб зменшити наскрізну затримку, а також сприяє розвитку мобільних периферійних обчислень. Крім того, SDN забезпечує краще управління мобільністю UE за рахунок гнучкого розподілу транспортних потоків в інфраструктурі [9].

3.2 Архітектура EPC на основі SDN/NFV

За такого підходу шлюзи EPC (SGW, PGW) поділяються на площину управління - SGW-C і PGW-C і площину даних - SGW-U і PGW-U. Потім, використовуючи технологію NFV, функції площини управління (SGW, PGW-C) стають VNFS. У цьому разі функції площини даних (GWU, GWU) залишаються або на виділених апаратних платформах, або також стають віртуальними. Після поділу площин даних і управління SGW і PGW можуть бути об'єднані: SGW-C і PGW-C - в єдиний об'єкт управління, званий GW-C; SGW-U і PGW-U - в єдиний об'єкт площини даних, званий GW-U. У всіх випадках для зв'язку між площинами використовується контролер SDN, який також може бути віртуалізований. Його функції включають інтерпретацію сигнальних повідомлень, отриманих з площини управління, і налаштування правил пересилання в площині даних через відкритий API. Площину даних (SGW, PGW-U) може бути реалізовано у вигляді комутаторів OpenFlow, здатних інкапсулювати та декапсулювати GTP.

Порівняно з першим методом, цей підхід не тільки має такі переваги, як гнучкість і зворотна сумісність, а й усуває недоліки архітектури vEPC з реалізацією SDN. SDN розділяє площини управління і даних, які тепер можна масштабувати незалежно економічно ефективним способом. Поділ площин також дає змогу переміщати їх мережею, наприклад, ближче до користувача, щоб зменшити наскрізну затримку, а також сприяє розвитку мобільних периферійних обчислень. Крім того, SDN забезпечує краще управління мобільністю UE за рахунок гнучкого розподілу транспортних потоків в інфраструктурі.

3.3 Аналіз робіт і пропонуваній динамічний алгоритм

Нове покоління комунікаційних технологій 5G пропонує безліч нових додатків і послуг з точки зору людей і пристроїв (речей).

Отже, зростаючий попит на пропускну здатність у мережах 5G може призвести до нестачі бездротового спектра, незважаючи на його недостатнє використання в міських районах. Парадигма розумного міста передбачає широке використання пристроїв міжмашинної взаємодії, що вимагає розроблення гнучкішої системи управління спектром. Поява мереж 5G призводить до нових проблем, зокрема, до розширення можливостей спектра.

Було підраховано, що межа спектра буде досягнута до 2025 року [13].

Тому потрібні нові стратегії ефективного використання бездротового спектра [6].

Короткий огляд основних концепцій машинного навчання та їх застосування в найпопулярніших додатках 5G, включно з когнітивними радіосистемами, масивними системами MIMO, фемто/малими комірками, гетерогенними мережами, інтелектуальними мережами, зберіганням енергії, зв'язком між пристроями, були розглянуті в [7, 8]. Дана робота визначає актуальність даного питання, проблеми формулювання та методології ефективного машинного навчання в контексті розвитку мереж з метою задіяння досі недосяжних ресурсів і способів застосування. У [9] автори пропонують відповідні вхідні та вихідні характеристики гетерогенного мережевого трафіку та систем, керованих глибокими нейронними мережами. У цій роботі автори описують, як працює пропонована система і чим вона відрізняється від традиційних нейронних мереж.

Крім того, попередні результати демонструють багатообіцяючу продуктивність пропонованої системи глибокого машинного навчання порівняно з першою еталонною стратегією відкритого найкоротшого шляху з погляду передавання сигналу, пропускнуої здатності та затримки.

Докладний огляд літератури був проведений у [3], включно зі списком літератури щодо великих наборів даних, методів машинного навчання, технологій SDN і NFV і методів їхнього розроблення з використанням систем 5G. У статті здебільшого розглядається впровадження цих технологій у сфері організації та управління трафіком даних.

У [2] автори запропонували практичну платформу і процеси прогнозування трафіку, що ґрунтуються на великих масивах даних, машинному навчанні та ключових показниках продуктивності мережі (KPI), які є досить гнучкими, щоб забезпечити точне передбачення параметрів потоку даних різних типів осередків (GSM, 3G, 4G) для довгострокового і короткострокового прогнозування. Було оцінено продуктивність запропонованої моделі, застосовної до реального набору даних, узятих із KPI - понад 6000 сотень реальних мереж упродовж 2016 і 2017 років. У той час як автори в [2] запропонували систему Інтернету транспортних засобів (IOV), у якій карти міст сегментовані на невелику кількість унікальних карт. Вони застосовують алгоритм мурашиної колонії до кожної карти, щоб знайти найкращий маршрут. Крім того, запропоновано функцію розрахунку інтенсивності потоків даних для моделі інтенсивних потоків даних, засновану на принципах нечіткої логіки. Пропонований метод вибору маршруту на основі IOV порівнюється з наявними алгоритмами вибору найкоротшого шляху, такими як алгоритм Дейкстри, алгоритм Краскеля та алгоритм Prima.

Результати експерименту показали хорошу продуктивність запропонованого методу вибору маршруту на основі IoV.

Принцип роботи в пропонованому алгоритмі полягає в переміщенні та розміщенні в мережі таким чином, щоб динамічно знижувати навантаження на один вузол. Це означає, що міграція відбувається тільки тоді, коли навантаження на центральний вузол збільшується. Схема на рисунку 3.1 показує покроковий процес міграції EPS. Контролер ініціює міграцію, тим самим повідомляючи сам додаток (eps). Суть алгоритму полягає в тому, щоб спочатку клонувати застосунок і тільки потім переносити сеанси, таким чином мінімізуючи час простою застосунку.

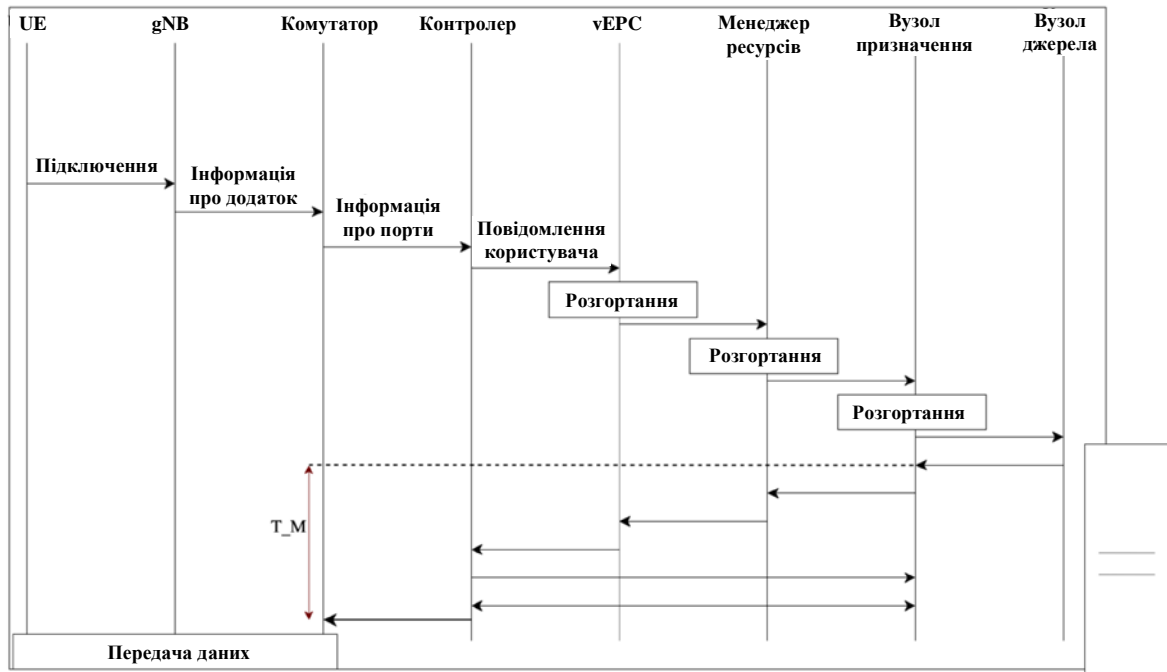


Рисунок 3.1 - Діаграма функціонування вивантаження

3.4 Система керування інформаційними потоками на основі модельної мережі 5G

Для реалізації запропонованої методології динамічного розподілу послуг ми зібрали систему моніторингу 5G NSA, показаний на рисунку 3.2. Кожен мережевий елемент був упакований в окремий контейнер і запущений в одній віртуальній площині.

У міру виконання ми імпантували роботу на ПЛІС. З такими функціями:
Діапазон частот: від 10 МГц до 6 ГГц.

Миттєва смуга пропускання: до 160 МГц.

Потужність: 50-100 МВт (17-20 дБм)

Діапазон шуму: 0-31,5 дБм.

Роздільна здатність ЦАП: 16 біт.

Кількість каналів: 2.

Як контролер FPGA використовується OAI (openairinterface). Наша мета - розподілити елементи мережі АНБ для зниження витрат на ресурси при

збереженні необхідної якості QoS. Для цього ми пропонуємо механізм для безперебійної передачі сервісу на інші вузли. Схему послідовності наведено на рисунку 3.1. У ньому описано, як послугу передають із використанням SDN із найменшими втратами для активних користувачів. Для цієї процедури вводиться додатковий елемент, який відповідатиме за розподіл і розгортання ресурсу у вузлах. Цей елемент має доступ до мережевого контролера і безпосередньо до служб EPC з використанням методу REST API. Приблизне очікування пропонованої системи - висока масштабованість мереж і швидке виявлення проблемних зон мережі.

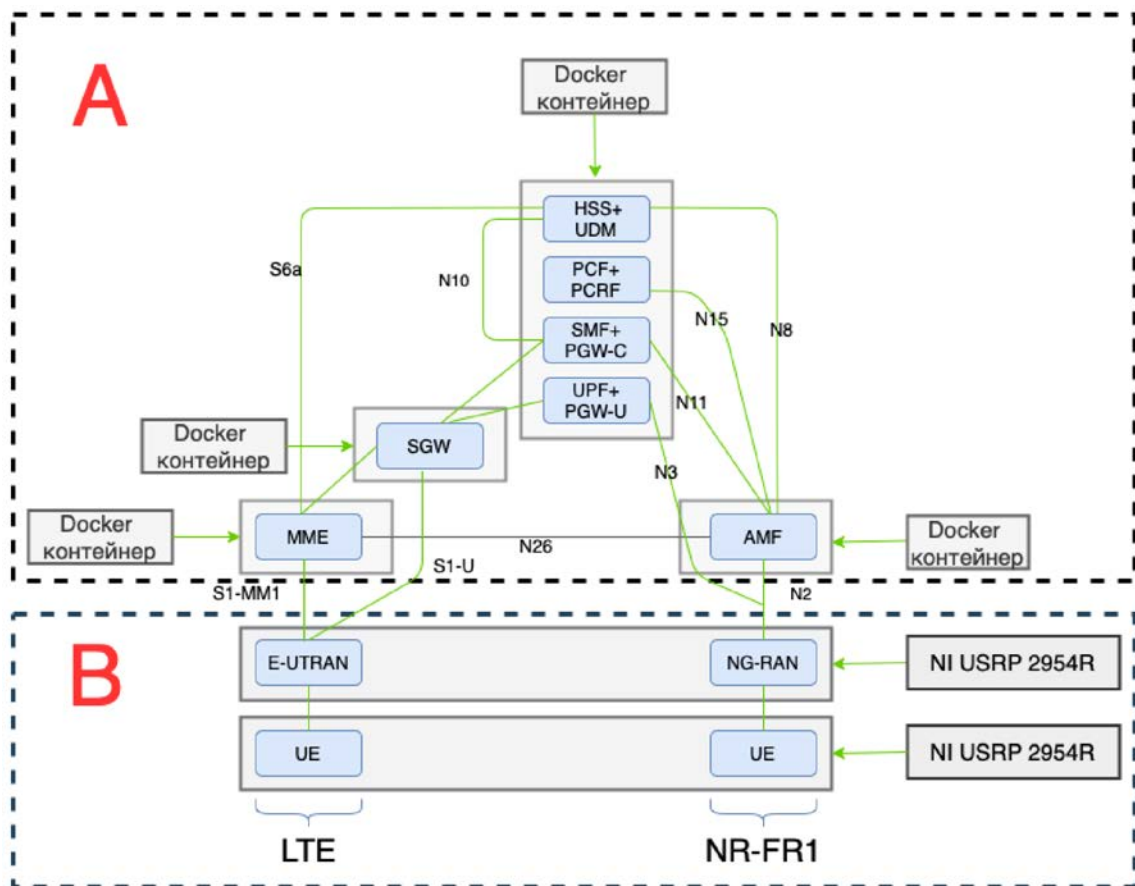


Рисунок 3.2 - Схема реалізації системи моніторингу та керування в мережі 5G

У моделі, представлений на рисунку 2.11, розглядається тільки контролер і один із мережевих комутаторів. Пам'ять для зберігання правил на комутаторі виділено в окремий вузол Пам'ять. Слід зазначити, що тоді як усі типи послуг

спільно використовують черги в контролері та комутаторі, кожна з них має свій власний слот у вузлі Пам'ять, представлений у вигляді окремого приладу.

В дослідженні ми використовували різну кількість активних користувацьких сеансів для вивчення можливого впливу на процес міграції.

Оскільки активні сеанси мають пряме підключення до HSS + UDM. Саме ці елементи ми використовуємо в процесі міграції, щоб отримати найгірший сценарій [4].

3.5 Аналіз результатів імітаційного дослідження

В дослідженні було використано різну кількість активних користувацьких сеансів для вивчення можливого впливу на процес міграції.

Тому що активні сеанси мають пряме підключення до HSS+UDM. Саме ці елементи використовуються в процесі міграції, щоб отримати найгірший сценарій. Далі було отримано такі результати. На рисунку 2.3 показано, що при 640 активних сеансах міграція відбувається за 4 хвилини. І з невеликими обсягами сеансу менш ніж за одну хвилину. І зрозуміло, що тоді відбувається різке збільшення часу міграції.

Рисунок 2.4 показує втрату пакетів під час міграції з тією ж кількістю сеансів. У результаті ми отримуємо, що зі збільшенням міграції користувачів час міграції збільшується, але кількість пакетів виправлень на користувача зменшується. Наступним етапом експерименту було вивчення ймовірності збою мережі за великої кількості сеансів. Для цього ми відтворили великий генератор трафіку до 14 000 абонентів з одночасним підключенням до EPC у стандартних умовах. Нашим завданням було вивчити відносне порівняння запропонованої нами розподіленої мережі з традиційними централізованими. У результаті, коли ми розподіляємо послуги на граничних обчисленнях, ми отримуємо надійнішу мережу, де за 14 000 абонентів імовірність відмови послуги знижується на $\sim 0,25$, рисунок 3.3.

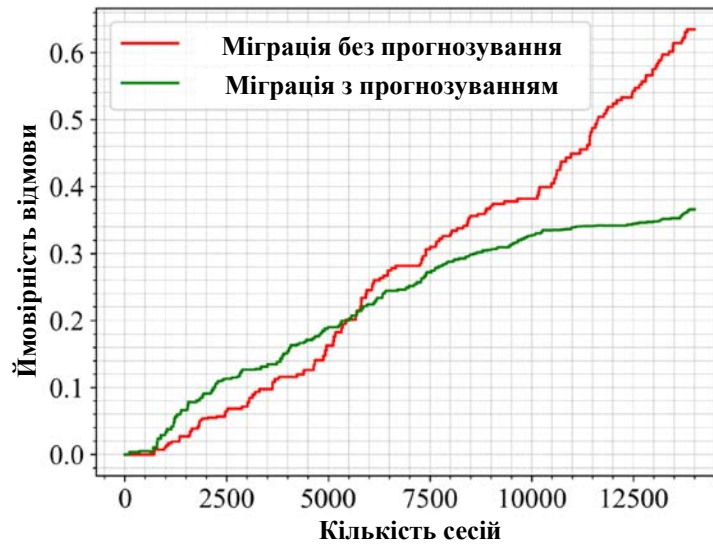


Рисунок 3.3 - Ймовірність відмови додатків залежно від кількості сесій

3.6 Висновки до розділу 3

Запропоновано алгоритм динамічної перебудови мережі шляхом розподілу послуги (у нашому випадку ерс). Ми змоделювали роботу мобільної мережі NSA 5G. Разом з тим відтворено розподіл HSS +UDM у вузлах MEC. Нарешті, ми отримали, що загальна ймовірність збою служби знизилася на $\sim 0,3$ при 14000 сеансах. У поточній і майбутній роботі ми плануємо інтегрувати генетичний алгоритм для визначення оптимальної роздільної здатності сервісів, яка зменшить втрату пакетів під час міграції. Крім того, ми також плануємо проводити експерименти не тільки з EPC, а й з іншими елементами мережі, навіть за межами послуг оператора.

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИВАНТАЖЕННЯ ДОДАТКУ МЕС ДЛЯ ВІДЕОХОСТИНГУ

У сучасному світі з кожним роком зростає попит на надання різних мультимедійних послуг. Зокрема, величезною популярністю користуються сервіси надання відеоконтенту онлайн, які дають змогу отримувати доступ до інформації в доступнішій формі в будь-який час і в будь-якому місці з пристрою, що має доступ до інтернету. Але зі зростанням кількості відеоконтенту і попитом на його отримання, зростають вимоги до якості послуг, що надаються. Оператори відео-сервісів зі свого боку намагаються поліпшити якість наданого відео, що збільшує розміри відеофайлів і вимагають більшої пропускної здатності каналу передавання до кінцевого користувача, і знизити затримки з його доставки.

Ідея децентралізованого розміщення контенту оператором відео-сервісу не нова. У більшості країн, навіть великих міст, оператори користуються послугами географічно розподіленими мережевою архітектурою доставки контенту (Content Delivery Network, CDN), що дає змогу оптимізувати доставку відео, використовуючи сервери, які розташовані набагато ближче до кінцевого користувача. Застосування серверів граничних обчислень з множинним доступом (Multi-access Edge Computing, MEC) дає змогу, по-перше, ще оптимізувати процес доставки завдяки розміщенню запитуваного контенту користувачем на серверах навіть не всередині одного, а району або вулиці. По-друге, вирішує проблему високого навантаження на транспортні мережі, що вигідно оператору відео-сервісу, який отримує можливість надання контенту високої якості, а також оператор транспортної мережі може скоротити витрати на експлуатацію мережі та отримати додатковий прибуток за надання в оренду серверів граничних хмарних обчислень.

МЕС представляє можливість хмарних обчислень і середовище ІТ-послуг на кордоні мобільної мережі. Межа мережі охоплює інфраструктуру базової станції та центри обробки даних, розташовані близько до радіомережі, які

можуть витягувати контекст із мережі радіодоступу (RAN) і обробляти розподіленим чином.

У [9] автори представили класифікацію моделей додатків і дослідження новітніх моделей мобільних хмарних додатків. У роботі [58] стислий аналіз вимог для мобільних хмарних обчислень (МХО), розділи додатків і технології вивантаження, класифікація контекстів і методів управління контекстом. У [3] автори надали огляд визначення, архітектури та додатків МХО, а також загальних проблем і деяких наявних рішень. У [4] можна знайти дослідження наявних робіт щодо платформ та інтелектуальних схем доступу МХО. [7] дає детальну систематику мобільних хмарних обчислень, що ґрунтується на ключових питаннях і підходах до їхнього вирішення. У [6, 7] було представлено всебічний огляд сучасного механізму автентифікації в МХО і проведено порівняння хмарних обчислень. Автори в [9] надають систематику МЕС, що базується на різних аспектах, включно з його характеристиками, технологіями доступу, додатками, цілями тощо. У роботі [8] наведено класифікацію розгорнутих додатків у МЕС відповідно до технічних метрик МЕС і переваг МЕС для зацікавлених сторін у мережі. Обговорення загроз і безпеки в граничних парадигмах, а також багатообіцяюче рішення для кожного конкретного завдання можна знайти в [9]. У [10] висвітлено репрезентативні додатки та різні аспекти дослідження проблем туманних обчислень.

У [11] дається огляд нових проблем безпеки та конфіденційності в туманних обчисленнях, а також проблеми хмарних обчислень. Дослідження методів веб-кешування та попередньої вибірки для підвищення продуктивності мережі, а також класифікацію політик кешування можна знайти в [12]. Опис переваг і недоліків стратегій заміни кешу можна знайти в [13].

4.1 Системна Модель

Як описано вище, споживання відео-контенту онлайн зростає з кожним роком, тому що будь-яка інформація, представлена відеорядом зі звуковим супровідом, дає змогу полегшити її сприйняття або просто провести дозвілля.

Запити на надання таких послуг, особливо розважального характеру, не мають сталої інтенсивності, а відбуваються здебільшого лавинними сплесками відносно часу доби та дня тижня. Наприклад, у вечірній час більшість людей приїжджає додому з роботи і розташовується за переглядом улюбленого серіалу, ток-шоу тощо. У цьому розділі буде описано процес надання онлайн відео користувачам і можливі сценарії оптимізації доставки контенту користувачам.

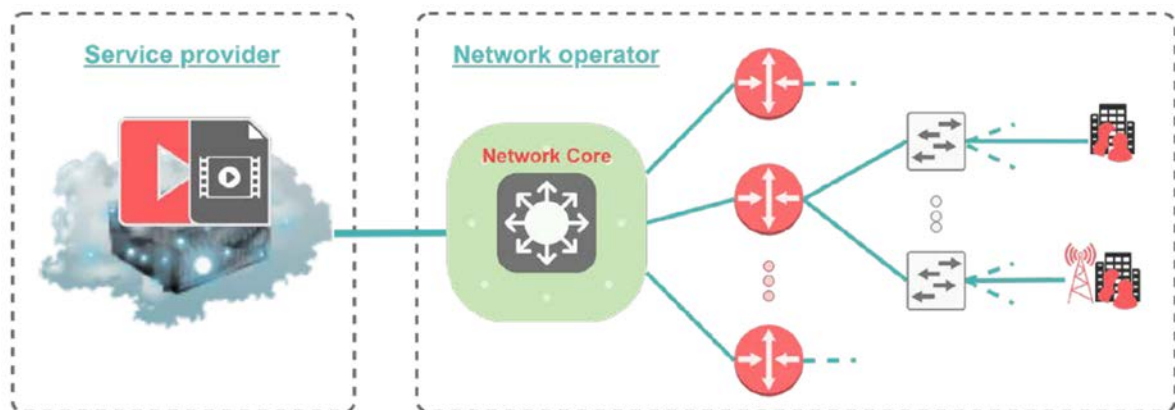


Рисунок 4.1 - Архітектура мережі для підключення користувачів до сервісу відеоконтенту

На рисунку 4.1. представлено схему архітектури отримання користувачами послуги з перегляду онлайн відео. У лівій частині розташований сервіс-провайдер на серверах якого зберігаються або обробляються відео для надання користувачам за запитом. Праворуч зображено мережу доступу оператора останньої милі, який надає доступ кінцевим користувачам у глобальну мережу, а зокрема підключення до серверів сервіс-провайдера. Дана мережа представлена більш докладно і складається з 1-го сегмента - включає в себе всі

елементи ядра мережі оператора, відповідає за маршрутизацію трафіку по зонах усередині мережі та за її межі; 2-ий сегмент складається з кінцевих комутувальних пристроїв для стаціонарного підключення користувачів та/або базових станцій мережі стільникового зв'язку для бездротового підключення мобільних користувачів (цей сегмент варіативний та змінюється в залежності від поставленої задачі).

Між сервіс-провайдером і оператором мережі розташовуються магістральні оператори і точки обміну трафіком, які зображено прямим з'єднанням, тому що здебільшого вносять тільки затримку під час встановлення з'єднання і передавання даних, а також не є основними вигодонабувачами під час оптимізації процесу надання послуги користувачам.

Розглянемо процес надання послуги користувачам. Сам процес встановлення з'єднання для послуги онлайн відео докладно описано та вивчено в роботах [10, 12], тому пропонується розглянути основні моменти, представлені на рисунку 4.2: 1 користувач, який знаходиться в мережі оператора зв'язку, надсилає запит на перегляд відео сервіс-провайдеру, 1 сервіс-провайдер опрацьовує запит та надсилає користувачеві підтвердження встановлення з'єднання, 1 створюється канал передавання даних і користувач розпочинає перегляд відео.

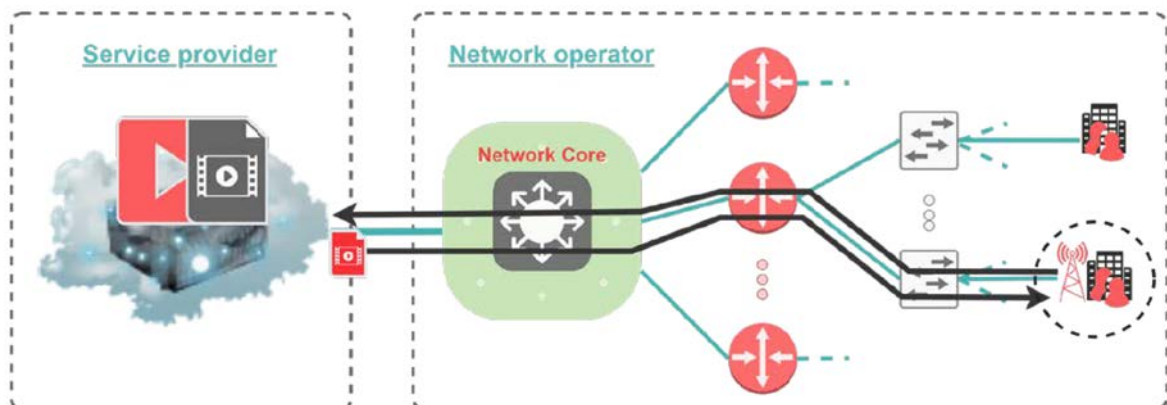


Рисунок 4.2 - Схема надання послуги користувачам

Оператор мережі обслуговує кілька зон (районів) у яких він може обслуговувати N користувачів, які потенційно можуть почати переглядати відеоконтент. Більшу частину часу ця послуга не користується великим попитом, що не створює великого навантаження на мережу оператора і сервери сервіс-провайдера, тому оптимальним є спосіб доставки контенту, показаний на рисунку 4.1. Але в якісь моменти велика кількість користувачів починає переглядати одночасно однаковий відеоконтент (наприклад, реліз популярного серіалу або ток-шоу), тим самим створюючи дуже високе навантаження на сервери і мережу доступу.

Такий лавинний сплеск запитів призводить до збільшення затримки на надання послуги та зменшення смуги пропускання для одного користувача, внаслідок обмеженості ширини каналу зв'язку оператора мережі.

Для зниження навантаження на ресурси сервіс-провайдера і мережу доступу оператора розташуємо в кожній граничній комутаційній зоні обслуговування користувачів сервери МЕС (рисунок 4.3). Це дасть змогу тимчасово розміщувати застосунок із доступом до відео сервіс-провайдера на потужностях оператора мережі, розташованих у безпосередній близькості до користувачів. Тоді процес доставки контенту зводиться до встановлення з'єднання і доставки контенту зі свого сервера МЕС для кожної навантаженої зони.

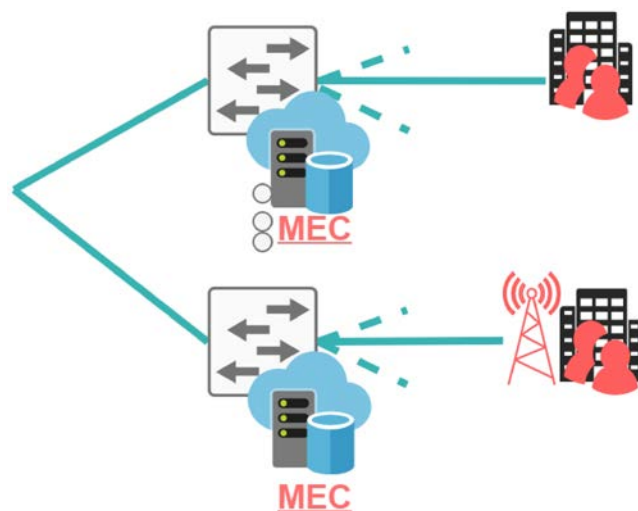


Рисунок 4.3 - Розташування серверів МЕС в архітектурі оператора

Під час побудови системної моделі розглянемо одну зону оператора мережі, в якій перебувають N користувачів, які потенційно можуть скористатися однією послугою. Отримувати відеоконтент безпосередньо з серверів оператора сервісу можуть $H < N$ користувачів, а щойно запитують послугу $n > H$ користувачів, то відбувається вивантаження контенту на сервер МЕС, і всі користувачі вже переглядають відео з локального сервера МЕС. Згодом затребуваність великої кількості користувачів у послугі зникає, тоді в разі досягнення кількості активних користувачів $n \leq L$ - порогу доцільного використання сервера МЕС, відбувається ініціалізація видалення сервісу із сервера МЕС та перемикання користувачів, що залишилися, на основний сервер контент-провайдера. Процес видалення і перемикання відбувається не відразу, якщо кількість користувачів $n \leq L$ протягом заданого проміжку часу.

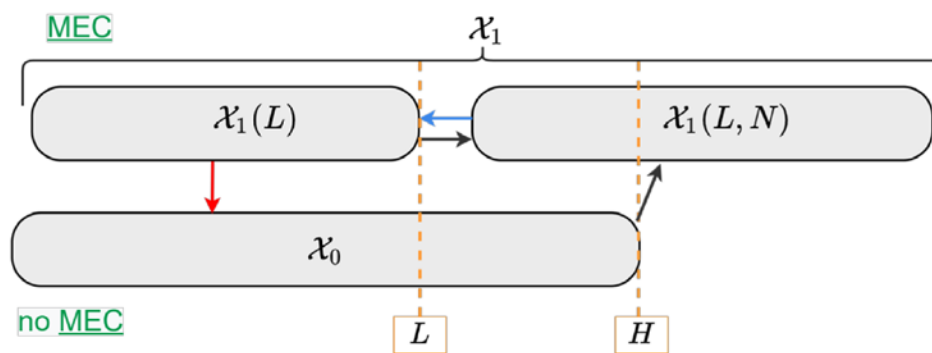


Рисунок 4.4 - Множина станів системи міграції додатка відеосервісу на МЕС

На рисунку 4.4. представлено множини станів розглянутої системи і переходи між ними. X_0 - множина станів обслуговування користувачів безпосередньо із серверів сервіс-провайдера, без використання МЕС, $X_1(L)$ - множина станів відключення МЕС, перемикання користувачів на основний сервер, $X_1(L, H)$ - множина станів обслуговування із сервера МЕС без можливості перемикання на основний сервер.

4.2 Математична модель

Для проведення аналізу показників ефективності побудованої системи побудуємо модель у вигляді СМО міграції додатка з віддаленого сервера сервіс-провайдера на сервер МЕС оператора мережі. У систему надходить експоненціальний потік запитів користувачів на надання послуги потокового відео з інтенсивністю λ . При обслуговуванні в групі X_0 і досягненні кількості користувачів у системі $n > H$, обслуговування користувачів переходить у групу станів $X_1(L, H)$. Середня тривалість перегляду відеоконтенту одним користувачем дорівнює μ^{-1} хвилин, розподілена експоненціально. Під час переходу системи в групу станів $X_1(L)$ ініціалізується процес вимкнення МЕС сервера і перемикання обслуговування користувачів на сервер сервіс провайдера в групу станів X_0 .

Для коректного вимкнення сервера МЕС потрібно в середньому α^{-1} хвилин, цей параметр також розподілений експоненціально. Для аналізу СМО введемо МП $\chi(t)$, що описує поведінку системи в момент часу t , із простором станів:

$$\mathcal{X} \mathcal{X} = X_0 + X_1 \mathcal{X},$$

де

$$X_0 = \{(s, n) \in X_0 : s = 0, n = (0, H)\},$$

$$X_1 = \{(s, n) \in (X_1 L \cup X_1(L, H)) : s = 1, n = (1, H)\}$$

Діаграму переходів МП $\chi(t)$ показано на рисунку 4.5.

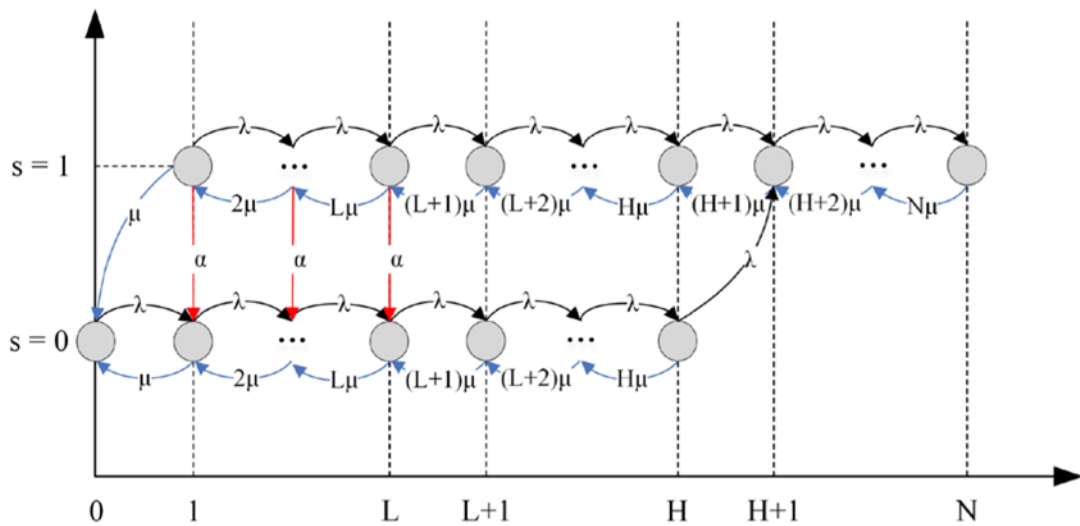


Рисунок 4.5 - Діаграма переходів МП $\chi(t)$

Використовуючи діаграму, випишемо матрицю інтенсивностей переходу Марковського процесу $\chi(t)$:

$$\alpha_{(s,n),(s',n')} = \{\lambda, s' = s, n' = n + 1 \vee s' = s + 1, n' = n + 1 = H + 1n\mu, s' = s, n' = n - 1 \vee s' = s - 1, n' = n - 1 = 0\alpha, s' = s - 1, n' = n \leq L, s' = s, n' = n0, \quad (4.1)$$

Для обчислення стаціонарних імовірностей $p_{ss,nn}$ станів $(ss,nn) \in \chi\chi$ СМО. Випишемо систему рівнянь рівноваги (СРР):

$$\begin{aligned} \{\lambda p_{0,0} &= \mu p_{0,1} + \mu p_{1,1}(\lambda + n\mu)p_{0,n} = n\mu p_{0,n+1} \cdot 1(n < H) + \lambda p_{0,n-1} + \alpha p_{1,n} \cdot 1(n \leq L), n \\ &= \underline{1, H}(\lambda + n\mu + \alpha)p_{1,n} \\ &= n\mu p_{1,n+1} \cdot 1(n < N) + \lambda p_{1,n-1} \cdot 1(n > 1) + \lambda p_{0,H} \cdot 1(n = H + 1), n \\ &= \underline{1, N} \sum_{(s,n) \in X} p(s, n) = 1 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Важливим показником функціонування системи є час перебування користувачів у множині станів X_1 , що в системній моделі відповідає часу перегляду користувачами відеоконтенту із сервера МЕС до моменту його

вимкнення, тобто часу життя застосунку сервіс-провайдера після міграції на МЕС. У математичній моделі дана дорівнює інтервалу часу від того моменту, коли марковський процес $\chi(t)$, що досяг кількості заявок у системі HN , перейшов у множину X_1 , тобто в стан $(1, H + 1)$, до моменту, коли процес повернувся назад у множину X_0 .

В математичній моделі ця величина дорівнює інтервалу часу від того моменту, коли марковський процес $X(t)$, що досяг числа заявок у системі N , увійшов до множини X_1 , тобто до стану $(1, H + 1)$, до моменту, коли процес повернувся назад до множини X_0 , тобто до стану $(0, L)$.

Для знаходження функції розподілу F_{τ_1} випадкової величини τ_1 ведемо усічений марковський процес $\hat{X}(t)$, що описує поведінку системи в момент часу $t > 0$ із простором станів:

$$\hat{X} = X_1 + \hat{X}_0^B,$$

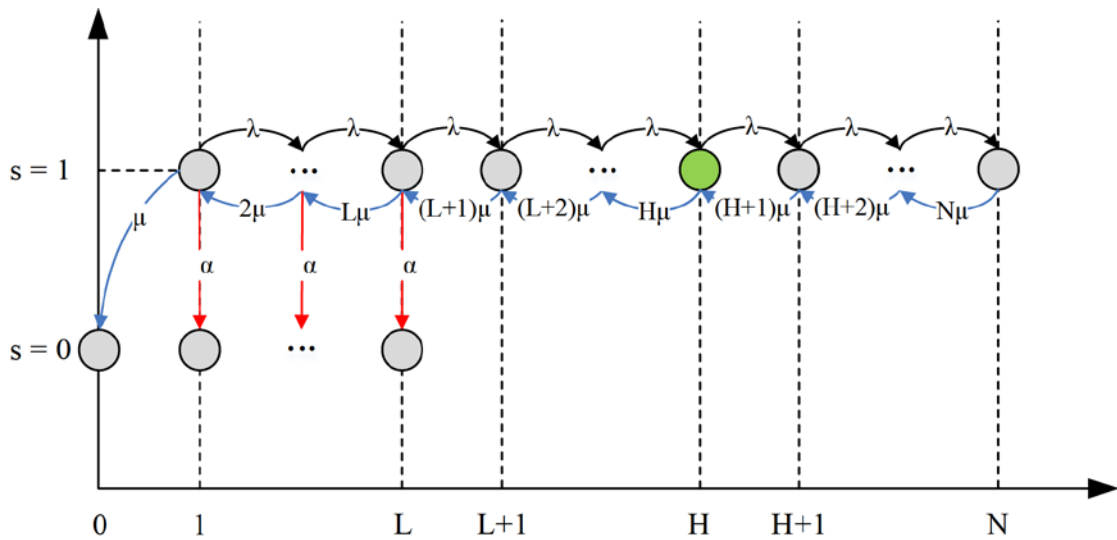


Рисунок 4.6 - Усічена діаграма переходів МП $\hat{\chi}(t)$

Матрицю $P^\wedge(t)$ ймовірностей переходів СМО можна записати так:

$$\hat{P}(t) = e^{\hat{A}t} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\hat{A}t)^n}{n!}, t \geq 0 \quad (4.3)$$

де \hat{A} - нескінченно малий оператор МП $\chi^{\wedge}(t)$. Тоді вектор $P^{\wedge}(t)$ задовольняє таким рівнянням:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{p}}^T(t) &= \hat{\mathbf{p}}^T(0)\hat{\mathbf{P}}(t), \\ \times \frac{d}{dt}\hat{\mathbf{p}}^T(t) &= \hat{\mathbf{p}}^T(0)\hat{\mathbf{A}}e^{\hat{\mathbf{A}}t}, t \geq 0. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Початковий вектор $\hat{\mathbf{p}}(0)$ ймовірностей:

$$\hat{p}_{(s,n)}(0) = \{1, (s, n) = (1, H + 1)0, (s, n) \neq (1, N)\} \quad (4.5)$$

Тоді ФР $F_{\tau_1}(t)$ випадкової величини τ_1 дорівнює

$$F_{\tau_1}(t) = \sum_{i=0}^L p_{(0,i)}(T), t \geq 0 \quad (4.6)$$

Щільність розподілу СВ τ_1 дорівнює:

$$f_{\tau_1}(t) = \mu p_{(0,0)}(t) + \lambda \sum_{i=1}^L p_{(0,i)}(t) \quad (4.7)$$

Математичне очікування СВ τ_1 дорівнює:

$$M_{\tau_1} = \int_0^{\infty} t f_{\tau_1}(t) dt = \mu \int_0^{\infty} t p_{(0,0)}(t) dt + \lambda \sum_{i=1}^L \int_0^{\infty} t p_{(0,i)}(t) dt \quad (4.8)$$

Для проведення чисельного аналізу розглянемо зону обслуговування оператора мережі, в якій проживає N користувачів, які є фанатами одного серіалу. Нові епізоди серіалу виходять раз на тиждень і більшість користувачів прагнуть подивитися якомога швидше, тим самим створюючи високе навантаження на сервери сервіс-провайдера. У нашому сценарії кожні λ -1 хвилин відбувається запит на перегляд відео-контенту. Тривалість перегляду відео залежить від тривалості та захопливості опублікованої серії, що в середньому займає μ -1 хвилин. Допустиме навантаження на сервери сервіс провайдера приймемо таким, що дорівнює N запитів користувачів, при досягненні якого відбувається міграція додатка відеоконтенту на найближчий сервер МЕС провайдера мережі.

У якийсь момент багато користувачів закінчують перегляд серіалу і зменшується кількість активних користувачів. Щойно їхня кількість досягає порога L активних сесій, стає недоцільним надання послуги через локальний сервер МЕС і починається процес його відключення, для якого в середньому потрібно α -1 хвилин. Для більш коректної оцінки системи введемо параметр:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (4.9)$$

що показує відношення частоти запитів, що надходять на перегляд відео, до його середньої тривалості. З його допомогою можна задати навантаження, що створюється користувачами, що в нашому випадку буде корелювати із середнім числом активних сесій. Спочатку розглянемо, як змінюватиметься час перегляду відео через МЕС за різних значень порога початку його вимкнення. Початкові дані наведено в таблиці.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані

Позначення	Значення	Опис
N	300	Максимальна кількість користувачів, які переглядають відео
H	100	Обмеження числа активних сесій користувачів на сервері сервіс провайдера
L	85-100	Поріг ініціалізації вимкнення сервера МЕС
μ^{-1}	45	Середній час перегляду відео
ρ	95,100,105,110,115	Навантаження на сервери, кількість активних сесій
α^{-1}	15	Час, необхідний для вимкнення МЕС

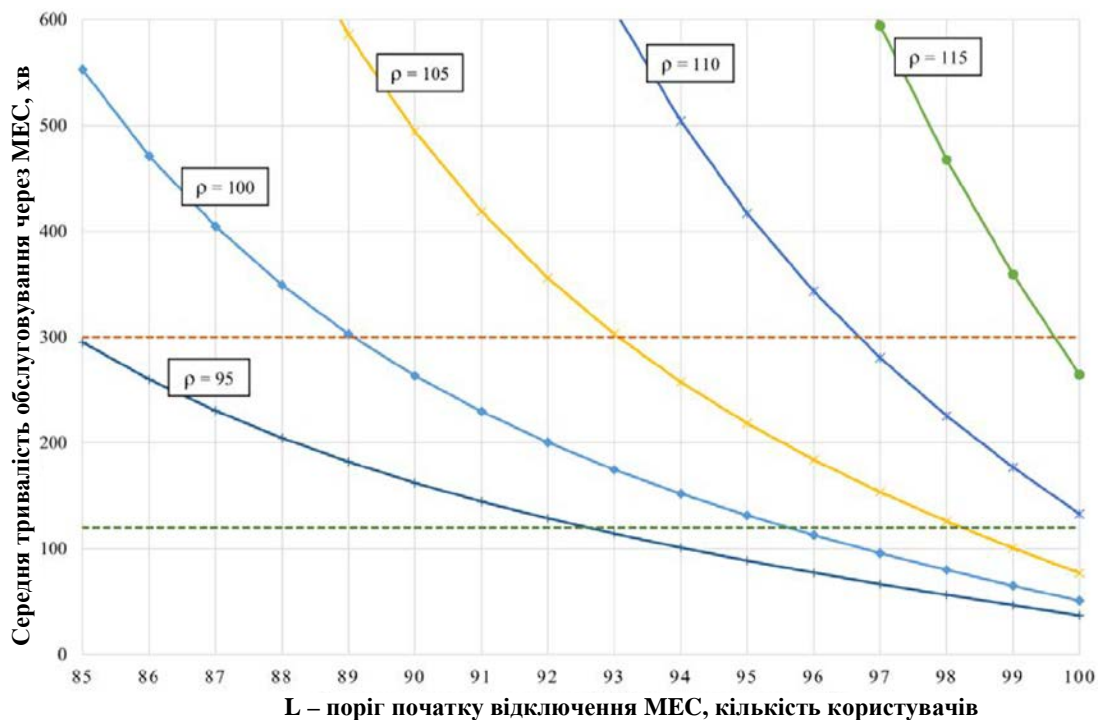


Рисунок 4.7 - Середній час обслуговування програми через МЕС

На рисунку 4.7 представлено графік залежності середнього часу обслуговування користувачів через сервер МЕС від величини порога початку вимкнення L за різного навантаження (кількості активних сесій). Можна помітити, що під час збільшення L час використання МЕС зменшується не лінійно, і що ближче до порога H , то менш значущі зміни. Періоди високого навантаження, за якого необхідно використовувати МЕС, припадають зазвичай на вечірні години, отже, оптимальним час використання сервера МЕС пропонується обрати в діапазоні від 120 хвилин (2 год.) до 300 хвилин (5 год.), що виділені пунктирною лінією. За 110 і 115 середнього числа активних сесій поріг вимкнення, необхідний для потрапляння в заданий діапазон, дорівнює від 97 до 100 користувачів, що досить близько до порога H . Що показує ефективність застосування МЕС при такому навантаженні, але накладає підвищені витрати на сервіс провайдера.

Важливим є оцінити, як впливає середня тривалість перегляду відео і тривалість відключення сервера МЕС на час надання послуги через МЕС. Для цього пропонується розглянути оптимально навантажену систему за $\rho = 100$ і декількох значень $L = 85, 90, 95, 100$, за яких середній час обслуговування через МЕС перебуває всередині та поза межами інтервалу на рисунку 4.7.

Розглянемо на рисунку 4.8 середню тривалість перегляду відео від 45 хв. до 2 год., що відповідає типовим серіалам або повнометражним картинам. Можна помітити, що за збереження середнього числа активних сесій збільшення тривалості кожної сесії може значно впливати на час використання МЕС, особливо за досить низьких значень порога L . Це зумовлено тим, що загальний час захоплення аудиторії стає більшим, а можливість вимкнення кількох користувачів нижчою. Хоча при використанні $L = H$, середній час використання МЕС не сильно змінюється і середнього часу перегляду, що свідчить про постійне перемикання обслуговування між серверами сервіс провайдера і локальними серверами МЕС.

Отже, варто оцінити, як вплине затримка під час відключення МЕС на тривалість його використання. На рисунку 4.9 показано цю залежність за

аналогічних значень ρ і L для рисунка 4.8, тривалості перегляду 45 хвилин і часу, необхідного для вимкнення МЕС від 5 до 30 хвилин.

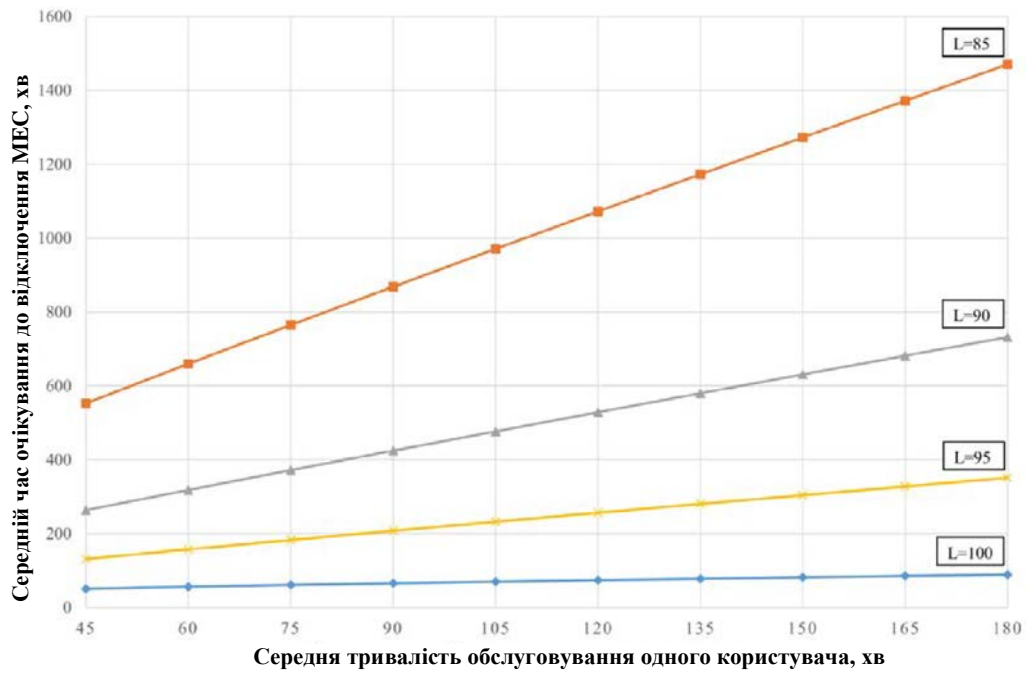


Рисунок 4.8 - Середній час до вимкнення МЕС

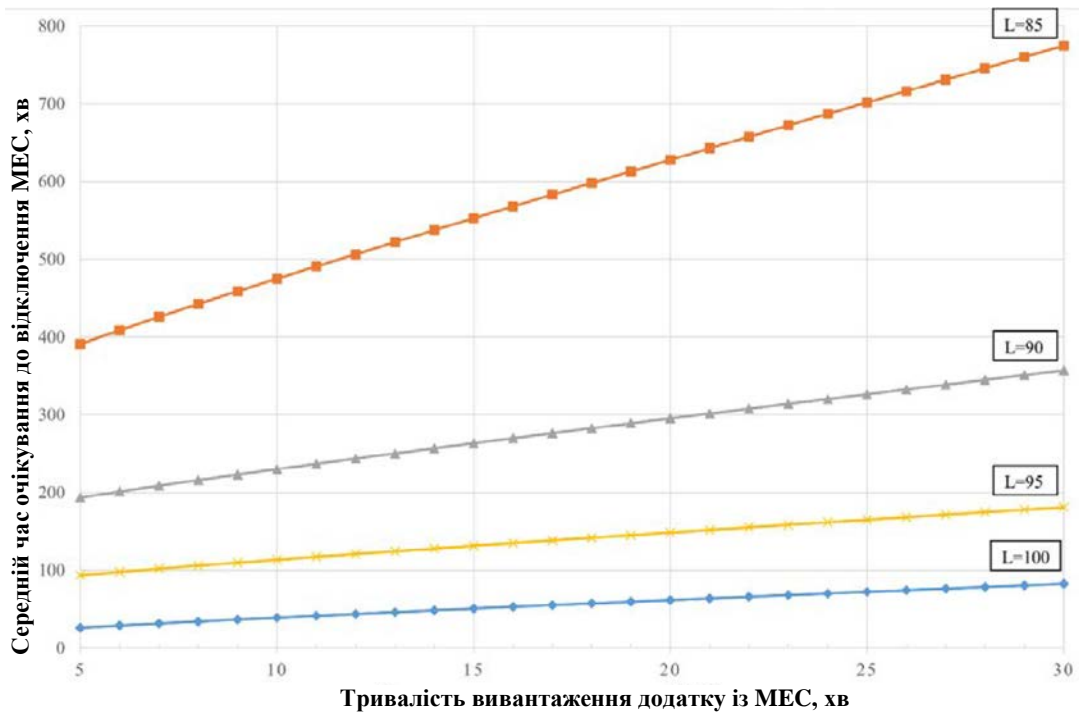


Рисунок 4.9 - Середній час до відключення МЕС

Можна спостерігати схожу поведінку кривих, що показує очікуване збільшення часу використання МЕС. А також дає змогу залежно від використовуюваного порога L підібрати оптимальніший час, необхідний для перемикавання обслуговування назад на сервер сервіс провайдера.

4.3 Висновки до розділу 4

У розділі було розглянуто сценарій надання послуг сервіс провайдером відеоконтенту користувачам, використовуючи локальні сервери МЕС оператора зв'язку за високого навантаження на сервіс. Розроблено математичну модель взаємодії описаного в сценарії випадку у вигляді СМО з гістерезисним керуванням використання МЕС сервера. Отримано формулу для розрахунку середнього часу використання МЕС сервера для надання відеоконтенту залежно від часу. Проведено чисельний аналіз сценарію для однієї високонавантаженої зони оператора зв'язку, в якій користувачі масово запитують перегляд відео (наприклад, популярний серіал). Показано, як впливають зміна порога ініціалізації вимкнення сервера МЕС, тривалості перегляду та тривалості перемикавання з МЕС на середній час використання локальних граничних серверів, що дасть змогу надалі поставити задачу оптимізації для різних сценаріїв.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління » можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПШБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	54	0	58
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	39	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		50,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	62	0	62
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	58	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	60,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [14]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де $k_{\text{нов}}, k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 50,3, k_{\text{теор}} = 60,7$ балів;

$0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 50,3 + 0,4 \cdot 60,67 = 54,47 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління », даний рівень становить 54,47 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [14]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 15152,00 \cdot 30 / 21 = 21645,71 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник науково-дослідної роботи з дослідження моделі адаптивного керування інформаційним трафіком	15152,00	721,52	30	21645,71
Старший науковий співробітник	15095,00	718,81	28	20126,67
Інженер-дослідник (інженер-розробник телекомунікаційних систем 1-ї категорії)	14755,00	702,62	22	15457,62
Фахівець 1-ї категорії	6952,00	331,05	10	3310,48
Всього				60540,48

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [14];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (21 \cdot 8) = 59,22 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 59,22 \cdot 3,82 = 226,23 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Підготовка робочого місця дослідника	3,82	2	1,10	59,22	226,23
Монтаж дослідного обладнання	8,20	5	1,70	91,53	750,52
Встановлення обчислювальних систем	4,65	4	1,50	80,76	375,53
Монтаж дослідних схем телекомунікаційних систем	7,80	5	1,70	91,53	713,91
Обслуговування експерименту	14,50	3	1,35	72,68	1053,90
Формування бази даних результатів дослідження	16,00	2	1,10	59,22	947,57
Демонтаж обладнання телекомунікаційної мережі	7,60	3	1,35	72,68	552,39
Всього					4620,06

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.5)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (60540,48 + 4620,06) \cdot 10 / 100\% = 6516,05 \text{ грн.}$$

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (60540,48 + 4620,06 + 6516,05) \cdot 22 / 100\% = 15768,85 \text{ грн.}$$

5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на

проведення досліджень за темою «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 1,0 \cdot 179,00 \cdot 1,07 - 0 \cdot 0 = 191,53 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
USB-пам'ять (32 ГБ) Class 10	179,00	1,0	0	0	191,53
USB-пам'ять (64 ГБ) Class 10 A	229,00	1,0	0	0	245,03
Диск оптичний (CD-R)	22,00	3,0	0	0	70,62
Диск оптичний (CD-RW)	29,00	3,0	0	0	93,09
Картридж для принтера	1560,00	1,0	0	0	1669,20
Начиння канцелярське FX	174,00	4,0	0	0	744,72
Органайзер офісний Office	199,00	4,0	0	0	851,72
Папір для заміток ОМІС (А5)-60	114,00	4,0	0	0	487,92
Папір канцелярський офісний ОМІС (А4-500)	211,00	3,0	0	0	677,31
Всього					5031,14

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління », розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_B = 2 \cdot 1840,00 \cdot 1,07 = 3937,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Спеціалізовані радіоінтерфейси	2	1840,00	3937,60
Всього			3937,60

5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 4320,00 \cdot 1 \cdot 1,07 = 4622,40 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Обладнання радіопередавача	1	4320,00	4622,40
Обладнання радіоприймача	1	2350,00	2514,50
Всього			7136,90

5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 8750,00 \cdot 1 \cdot 1,07 = 9362,50 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладний пакет моделювання процесів MATLAB 14 Pro	1	8750,00	9362,50
Всього			9362,50

5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{г}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (18999,00 \cdot 2) / (4 \cdot 12) = 791,63 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер інженера-дослідника НОУТБУК ASUS VIVOBOOK GO 15 E1504FA-BQ008 (90NB0ZR1-M00400)	18999,00	4	2	791,63
Робоче місце інженера-дослідника	8220,00	5	2	274,00
Електронно-обчислювальна система на основі ПК VINGA WOLVERINE D5305 (I5M32G3060.D5305)	39799,00	4	2	1658,29
Імітаційне обладнання мережі	11799,00	5	2	393,30
Програмне забезпечення Microsoft Co	10359,00	4	2	431,63
Лабораторія досліджень	412300,00	25	2	2748,67
Всього				6297,51

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,08 \cdot 240,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 144,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер інженера-дослідника НОУТБУК ASUS VIVOBOOK GO 15 E1504FA- BQ008 (90NB0ZR1-M00400)	0,08	240,0	144,00
Робоче місце інженера-дослідника	0,05	240,0	90,00
Електронно-обчислювальна система на основі ПК VINGA WOLVERINE D5305 (I5M32G3060.D5305)	0,25	240,0	450,00
Імітаційне обладнання мережі	0,12	110,0	99,00
Обладнання радіопередавача	0,13	110,0	107,25
Обладнання радіоприймача	0,10	10,0	7,50
Всього			897,75

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.13)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 22\%$.

$$B_{cv} = (60540,48 + 4620,06) \cdot 22 / 100\% = 14335,32 \text{ грн.}$$

5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 33\%$.

$$B_{cn} = (60540,48 + 4620,06) \cdot 33 / 100\% = 21502,98 \text{ грн.}$$

5.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ив}}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де $H_{\text{ив}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{ив}} = 55\%$.

$$I_{\text{в}} = (60540,48 + 4620,06) \cdot 55 / 100\% = 35838,29 \text{ грн.}$$

5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 110\%$.

$$B_{нзв} = (60540,48 + 4620,06) \cdot 110 / 100\% = 71676,59 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.17)$$

$$B_{заг} = 60540,48 + 4620,06 + 6516,05 + 15768,85 + 5031,14 + 3937,60 + 7136,90 + 9362,50 + 6297,51 + 897,75 + 14335,32 + 21502,98 + 35838,29 + 71676,59 = 263462,01 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$ZB = 263462,01 / 0,95 = 277328,43 \text{ грн.}$$

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 277328,43$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,17$ років, (2 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [14].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 3 \cdot 4 / 277,3 \cdot 0,17 = 16,62.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5.4 Висновок до розділу 5

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» складають 277328,43 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Обов'язок роботодавця – затвердити документи, які передбачені ст. 13 Закону «Про охорону праці». Вони повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях. Інструкції та інша документація з охорони праці розробляються на підставі положень законодавства з охорони праці, типових інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням виду діяльності підприємства і конкретних умов праці на ньому, керівниками структурних підрозділів.

Дослідження моделей адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління відбувалася в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На розробника, згідно [15], могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Головними елементами робочого місця дослідника є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організується відповідно до [16].

Згідно із [17] площу приміщень, в яких розташовують ПК, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК: площа - не менше 6,0 кв. м, обсяг – не менше 20,0 куб. м, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Під час безпосередньої роботи з монітором, необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Верхній край екрану монітора повинен знаходитися на одному рівні з очима користувача.

2. Під час роботи потрібно звертати особливу увагу на положення шиї, хребта, ліктів, кистей, стегон і ступень.

3. Клавіатура повинна знаходитися під тим же кутом, що і передпліччя.

4. Слід систематично робити перерви. Фахівці рекомендують кожну годину робити перерву на п'ять-десять хвилин.

5. Кожні десять-п'ятнадцять хвилин роботи за комп'ютером необхідно дати відпочинок очам, закриваючи їх на якусь мить.

6. Слід встановити монітор так, щоб від нього не відбивалося світло.

7. Читання паперових документів вимагає сильнішого освітлення, ніж читання з екрану монітора. Якщо працівник одночасно працює за комп'ютером і з паперовими документами, слід скористатися настільною лампою.

8. Екран монітора й інші поверхні комп'ютера необхідно регулярно протирати.

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту відповідно до [18].

Категорія приміщення з електробезпеки – без підвищеної небезпеки, згідно [19].

ПК, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за

виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПУЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- увімкнути систему кондиціонування в приміщенні;
- перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі.

Повернути монітор так, щоб було зручно дивитися на екран - під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз, при цьому екран має бути трохи нахиленим, нижній його край ближче до оператора;

- перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;

- відрегулювати освітленість робочого місця;

- відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил його спинки;

- приєднати до системного блоку необхідну апаратуру. Усі кабелі, що з'єднують системний блок з іншими пристроями, слід вставляти та виймати при вимкненому комп'ютері;

- ввімкнути апаратуру комп'ютера вимикачами на корпусах в послідовності: монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування);

- відрегулювати яскравість свічення монітора, мінімальний розмір світної точки, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення надто яскравим, щоб не втомлювати очей.

Вимоги безпеки під час виконання роботи:

- необхідно стійко розташовувати клавіатуру на робочому столі, не опускати її хитання. Під час роботи на клавіатурі сидіти прямо, не напружуватися;
- для уникнення несприятливого впливу на користувача пристроїв типу «миша» належить забезпечувати вільну велику поверхню столу для переміщення миші і зручного упору ліктявого суглоба;
- не дозволяються сторонні розмови, подразнюючі шуми; періодично при вимкненому комп'ютері прибирати ледь змоченою мильним розчином бавовняною ганчіркою порох з поверхонь апаратури.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Підвищення швидкості руху повітря погіршує самопочуття, оскільки сприяє підсиленню конвективного теплообміну та процесу тепловіддачі при випаровуванні поту.

При підвищенні температури повітря мають місце зворотні явища. Встановлено, що при температурі повітря понад 30°C працездатність людини починає падати. За такої високої температури та вологості практично все тепло, що виділяється, віддається у навколишнє середовище при випаровуванні поту. При підвищенні вологості піт не випаровується, а стікає краплинами з поверхні шкіри.

Недостатня вологість призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, забруднення хвороботворними мікробами.

Робота, яка виконується, згідно за енерговитратами відноситься до категорії І а (енерговитрати до 139 Дж/с) [20]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 6.1 (відповідно до [21]).

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено система опалення, система кондиціонування та систематичне вологе прибирання.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється дослідження моделей адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

6.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення на робочих місцях справляє багатоплановий вплив на працівника, зокрема на його емоційний стан, працездатність, мотивацію, продуктивність і безпеку праці.

Рівень освітлення на робочих місцях впливає на гостроту зору, тривалість ясного бачення, контрастну чутливість і здатність бачити на далекій і близькій відстані. Нормальна гострота зору, тобто здатність розрізняти дрібні предмети, у працівників, що не страждають на дефекти зору, досягається лише при освітленні 50-70 лк. Для максимальної здатності ока розрізняти такі предмети необхідна освітленість 600-1000 лк.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 6.4 (відповідно [22]):

Таблиця 6.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розрізнявання об'єкта	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 2) Система природного освітлення доповнюється загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

6.2.4 Виробничий шум

Шумом прийнято вважати звуки, які негативно впливають на організм людини і заважають його роботі та відпочинку. Ступінь такого впливу переважно залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в [23]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допуст-мий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

6.2.5 Виробничі випромінювання

Під час виконання роботи із використанням ПК на працівника діє підвищений рівень електромагнітного поля. Випромінювання ПК можуть бути небезпечними для здоров'я. Низькочастотні поля при тривалому опроміненні сидять біля ПК людей можуть привести до порушень фізіологічних процесів.

Електромагнітні поля чинять термічний і морфологічний вплив на організм людини, викликаючи в ньому функціональні зміни.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	20кВ / м
для дорослих користувачів	
для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	15кВ / м

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання (MPR-II, TCO-92, TCO-99, TCO-03), а також дотримувати регламентовані режими праці і відпочинку.

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій

6.3.1 Дія вогню на будівлі виробничих приміщень під час пожежі

Аналіз пожеж показує, що рівень гранично допустимих чинників пожежі виникає через 5-10 хв з початку пожежі, несучу здатність будівельні металеві конструкції втрачають через 10-15 хв, а середній час початку ефективних дій пожежних підрозділів становить 20-25 хв.

Пожежну небезпеку посилює зростання концентрації горючих речовин і матеріальних цінностей, що припадає на одиницю площі будівель (пожежне навантаження), що призводить до дуже високого рівня їх пожежної небезпеки.

Тяжкість наслідків від пожеж значною мірою зумовлена недостатньою захищеністю будівель та споруд системами автоматичного протипожежного захисту та їх некваліфікованим обслуговуванням.

Причиною зростання кількості жертв та матеріальних збитків на пожежах стає те, що технічна оснащеність пожежної охорони значно відстає від сучасних вимог і недостатньо укомплектована засобами рятування людей та засобами пожежогасіння.

Втрати від пожеж визначаються сукупністю видів збитків від них. Втрати на пожежах пов'язані з прямими, побічними, соціальними та екологічними збитками.

Вибухи, витікання небезпечних речовин можуть бути спричинені їх нагріванням під час пожежі, розгерметизацією посудин та трубопроводів з небезпечними рідинами та газами тощо. Вибухи збільшують площу горіння і можуть призводити до утворення нових осередків пожеж. Люди, що перебувають поблизу, можуть потрапити під дію вибухової хвилі, діставати ураження уламками тощо.

Руйнування будівельних конструкцій відбувається внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур та вибухів. При цьому люди можуть одержати значні механічні травми, опинитися під уламками завалених конструкцій. До того ж, евакуація може бути просто неможливою, внаслідок завалів евакуаційних виходів та руйнування шляхів евакуації [24].

6.3.2 Визначення нижньої та верхньої концентраційної межі спалахування пожежовибухо-небезпечної суміші

Вихідні дані: до складу пожежовибухонебезпечної суміші входять: метан – 80 %, етан – 10 %, пропан – 5 %, бутан – 5 %.

Нижню та верхню концентраційну межу поширення полум'я (спалахування) S суміші декількох горючих речовин при початковій температурі суміші 25 °С можна орієнтовно визначити за формулою Ле-Шателе

$$C = \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{\sum_{k=1}^n C_k / C_{mk}} \quad [\% \text{ об.}], \quad (6.1)$$

де n – кількість горючих елементів суміші;

C_k – концентрація k -го компонента в суміші, % об.;

C_{mk} – нижня або верхня концентраційна межа (НКМ або ВКМ) поширення полум'я k -го компонента суміші, % об.

Вибираємо НКМ та ВКМ усіх складових пожежовибухонебезпечної суміші: метан – 5/15 %, етан – 2,9/15 %, пропан – 2,1/9,5 %, бутан – 1,8/9,1 %.

Використовуючи формулу (5.1) визначимо нижню та верхню концентраційну межу поширення полум'я (спалахування) суміші

$$C_{НКМ} = \frac{80 + 10 + 5 + 5}{80/5 + 10/2,9 + 5/2,1 + 5/1,8} = 4,06 \text{ (\% об.)};$$

$$C_{ВКМ} = \frac{80 + 10 + 5 + 5}{80/15 + 10/15 + 5/9,5 + 5/9,1} = 14,13 \text{ (\% об.)}.$$

6.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій

Для попередження пожежі проводяться організаційні, технічні, експлуатаційні і режимні заходи.

До організаційних заходів відносяться: навчання працюючих правилам пожежної безпеки, проведення інструктажів, бесід, лекцій та ін.

До технічних – дотримування протипожежних правил та норм при встановленні опалення, вентиляційного обладнання.

До експлуатаційних – заходи, які передбачають правильну експлуатацію машин, обладнання, транспорту, правильне утримання будинків і території.

6.4 Висновки до розділу 6

Визначено нижню та верхню концентраційну межу спалахування пожежовибухо-небезпечної суміші. Розроблено превентивні заходи з підвищення безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз додатків і перспектив впровадження різних послуг у мережу, засновану на граничних обчислювальних системах. При цьому розглянуто додатки V2X, IPTV, тактильний інтернет та інші.

2. Визначено модель, що відповідає вимогам мережі сервісної архітектури мережі, яка відрізняється від відомих наявністю інтегрованих вузлів граничних обчислювальних систем.

3. Розглянуто метод вибору архітектури мережі 5G/SDN з граничною системою обчислень, що відрізняється від відомого оптимального розподілу послуг, що забезпечує мінімізацію середньої затримки по всій мережі.

4. Досліджено метод міграції додатків припинення обслуговування, що відрізняється від відомих тим що для його функціонування використовується прогнозування трафіку

5. Визначено модель, яка дозволяє вивантажити трафік відеохостингу групуючи користувачів, тим самим знижую навантаження на транспортні ділянки мережі для одного додатка.

6. Усі запропоновані мережеві та системні рішення й алгоритми оцінено порівняно з традиційними системами, що засвідчило переваги запропонованих у нових моделей і методів у галузі побудови мереж і систем зв'язку, а також алгоритмів оптимізації.

7. Розглянуто сценарій надання послуг сервіс провайдером провайдера відеоконтенту користувачам, використовуючи локальні сервери MEC оператора зв'язку при високому навантаженні на сервіс.

8. Досліджено математичну модель взаємодії описаного в сценарії випадку у вигляді СМО з гістерезисним управлінням використання MEC сервера. Отримано формулу для розрахунку середнього часу використання MEC сервера для надання відеоконтенту залежно від часу. Проведено чисельний аналіз сценарію для однієї високонавантаженої зони оператора зв'язку, в якій

користувачі масово запитують перегляд відео (наприклад, популярний серіал). Показано, як впливають зміна порога ініціалізації вимкнення сервера МЕС, тривалості перегляду та тривалості перемикання з МЕС на середній час використання локальних граничних серверів, що дасть змогу надалі поставити задачу оптимізації для різних сценаріїв.

9. Розглянутий метод забезпечує досить надійний рівень міграції додатка, але обмежується обчислювальною потужністю вузлів МЕС. Відповідно для міграції в робочому стані вузли повинні мати в запасі близько 30% ресурсів і надійним каналом зв'язку між хмарним і локальним вузлом МЕС. І цей запас може бути виділений на час процесу міграції.

В економічній частині роботи були розраховані витрати на проведення досліджень та проведена оцінка важливості та наукової значимості роботи

В розділі "Охорона праці" проаналізовані умови праці в лабораторії для досліджень, виконано організаційно-технічні та санітарно-гігієнічні заходи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yang M. et al. Peer offloading with delayed feedback in fog networks //IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – Т. 8. – №. 17. – С. 13690-13702.
2. Technical Specification. FG-NET2030 – Focus Group on Technologies for Network 2030. Network 2030 Architecture Framework. ITU-T, Geneva. – June 2020.
3. Antonopoulos A. Bankruptcy problem in network sharing: Fundamentals, applications and challenges //IEEE Wireless Communications. – 2020. – Т. 27. – №. 4. – С. 81-87.
4. Chergui, H., & Verikoukis, C. (2020). Big data for 5G intelligent network slicing management. IEEE Network, 34(4), 56-61.
5. S. Forge, K. Vu, Forming a 5G strategy for developing countries: A note for policy makers,/ S. Forge, K. Vu, // Telecommun. Policy 44 (7) (2020) 101975.
6. S. Dang, O., What should 6G be? / S. Dang, O. Amin, B. Shihada, M.-S. Alouini// Nat. Electron. 3 (1) (2020) 20–29.
7. Y. Lu, X. Zheng, 6G: A survey on technologies, scenarios, challenges, and the related issues,/ Y. Lu, X. Zheng// J. Ind. Inf. Integr. (2020) 100158.
8. S. Al-Sarawi Internet of things market analysis forecasts, 2020–2030,/ S. Al-Sarawi, M. Anbar, R. Abdullah, A.B. Al Hawari,// in: 2020 Fourth World Conference on 141 Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), IEEE, 2020, pp. 449–453.
9. I.A. Elgendy Efficient and secure multi-user multi-task computation offloading for mobile-edge computing in mobile IoT networks,/ I.A. Elgendy, W.-Z. Zhang, Y. Zeng, H. He, Y.-C. Tian, Y. Yang // IEEE Trans. Netw. Serv. Manag. (2020).
10. W.Z. Zhang Secure and optimized load balancing for multi-tier IoT and edge-cloud computing systems, / W.Z. Zhang, I.A. Elgendy, M. Hammad, A.M. Iliyasu, X. Du, M. Guizani, A.A.A. El-Latif, // IEEE Internet Things J. (2020) 1, <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2020.3042433>.

11. J. Guo On-demand resource provision based on load estimation and service expenditure in edge cloud environment, / J. Guo, C. Li, Y. Chen, Y. Luo, // J. Netw. Comput. Appl. 151 (2020) 102506.

12. M. Zakarya a game-based, energy, performance and cost efficient resource management technique for multi-access edge computing, / M. Zakarya, L. Gillam, H. Ali, I. Rahman, K. Salah, R. Khan, O. Rana, R. Buyya, Ercaware // IEEE Trans. Serv. Comput. (2020).

13. J. Carrasco, Live migration of trans-cloud applications, / J. Carrasco, F. Durán, E. Pimentel // Comput. Stand. Interfaces 69 (2020) 103392.

14. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

15. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>

16. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

17. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php

18. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

19. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

20. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
22. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>
23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвучу та інфразвучу. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
24. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни "Цивільний захист та охорона праці в галузі. Частина 1. Цивільний захист" / Уклад. О. В. Поліщук, О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 32 с.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
МОДЕЛІ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМ ТРАФІКОМ В
МЕРЕЖАХ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ
назва магістерської кваліфікаційної роботи

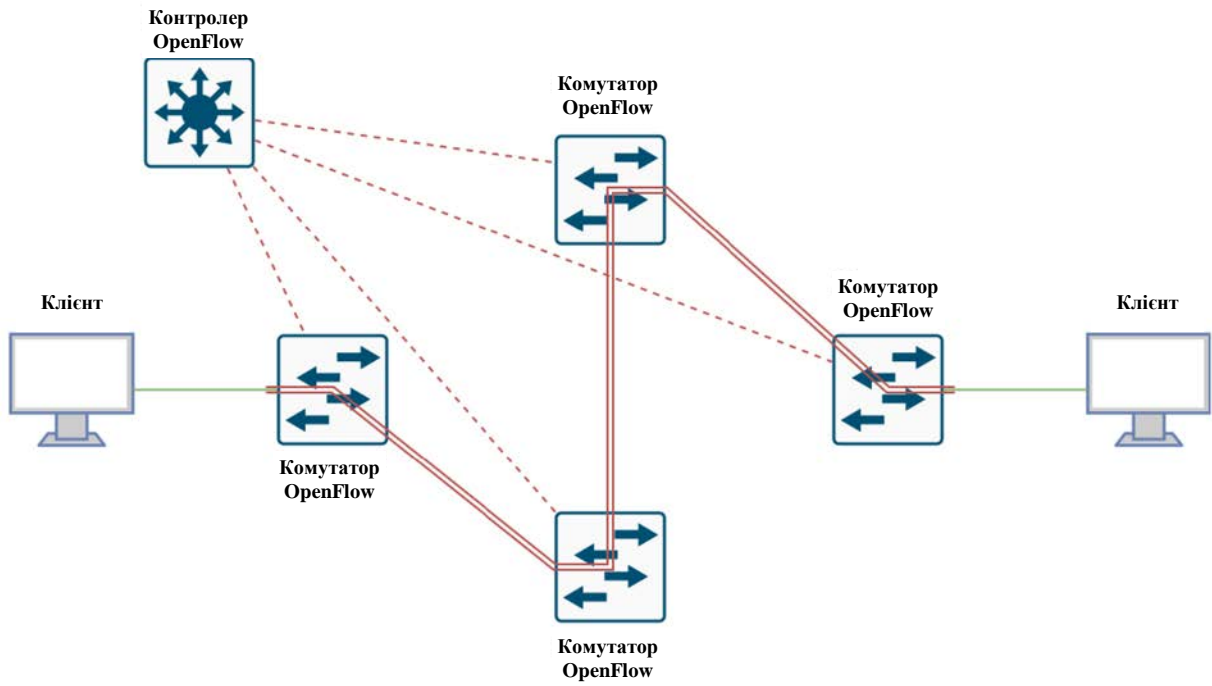


Рисунок 1 - Архітектура ПКМ (SDN) мережі

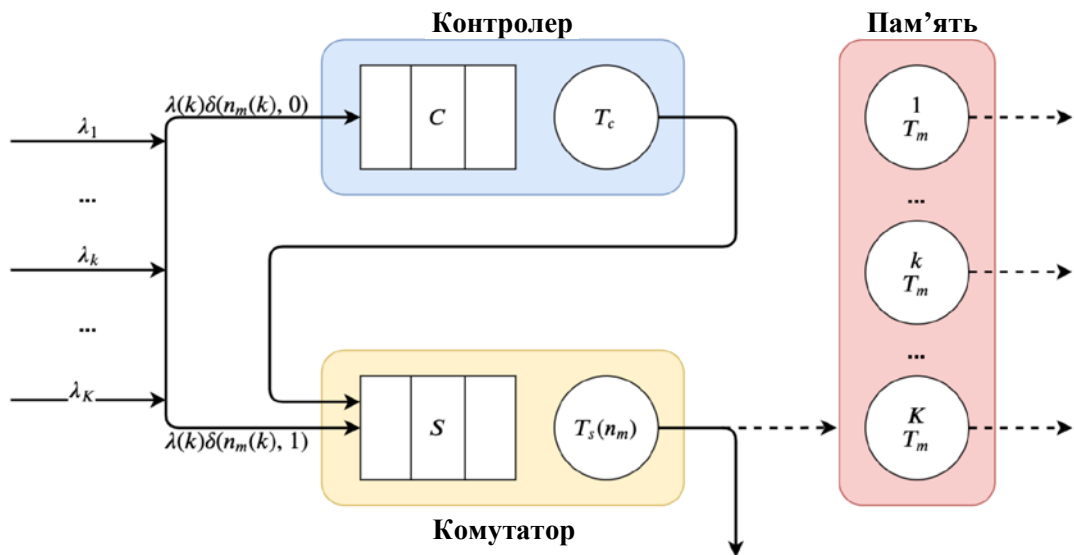


Рисунок 2 - Модель системи масового обслуговування

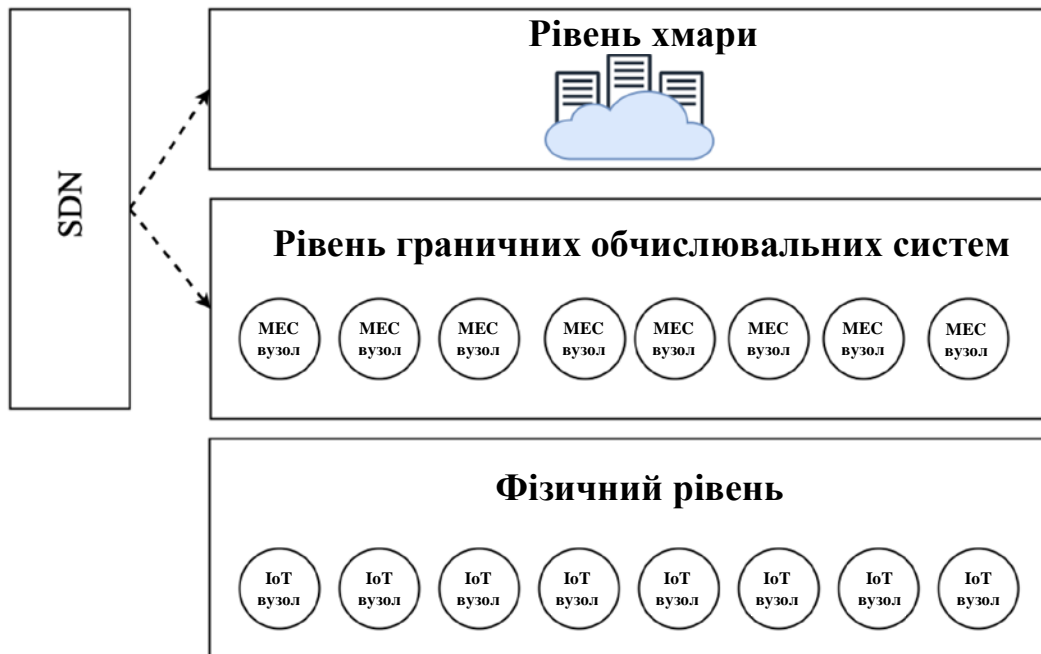


Рисунок 3 - Багаторівнева схема взаємодії ПКМ (SDN)

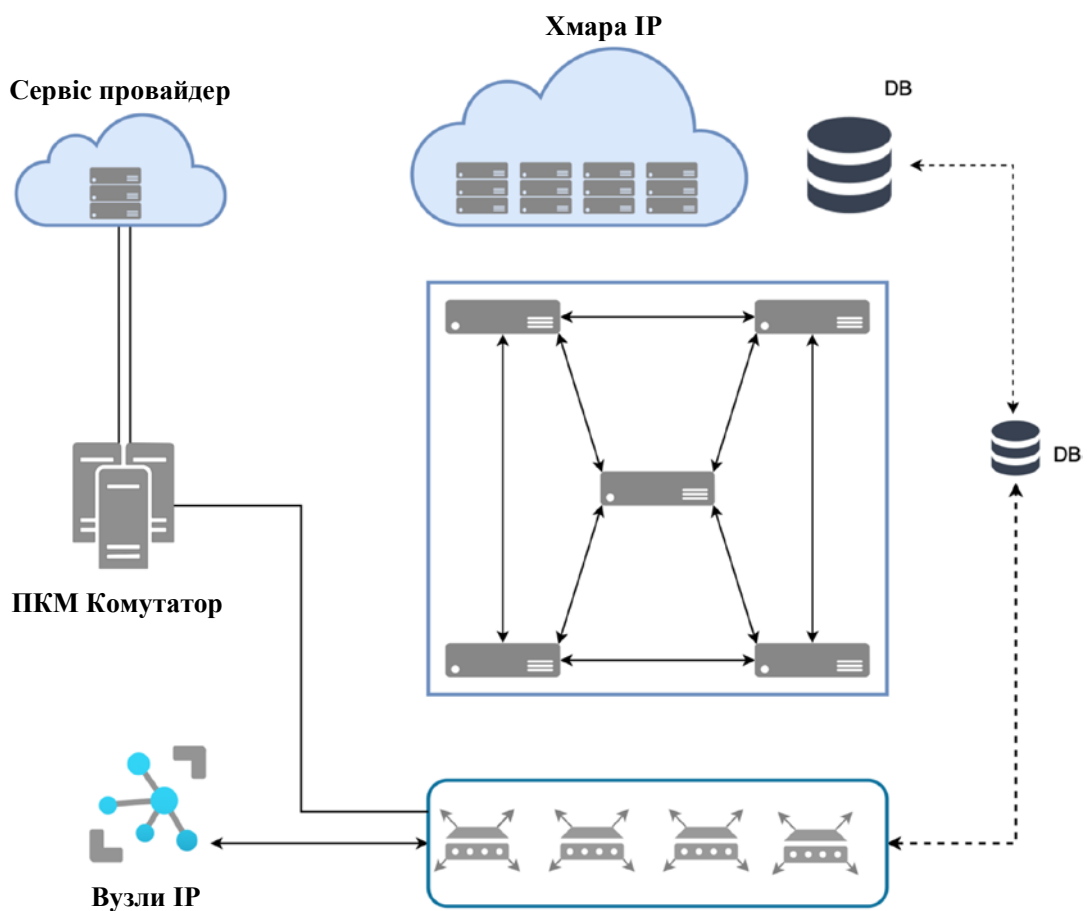


Рисунок 4 - Принципова схема запропонованої моделі

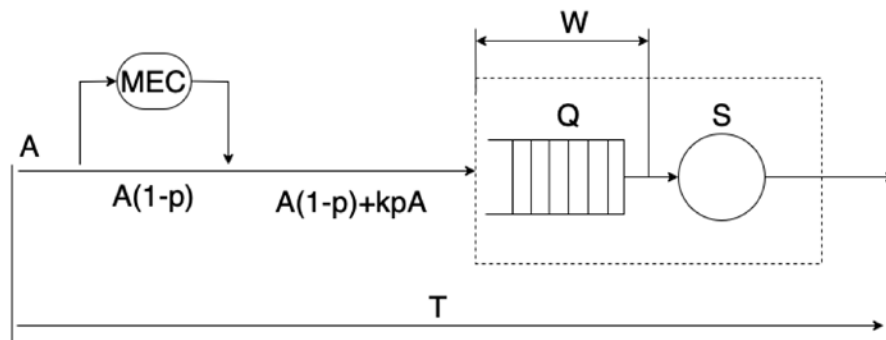


Рисунок 5 - Модель обслуговування трафіку

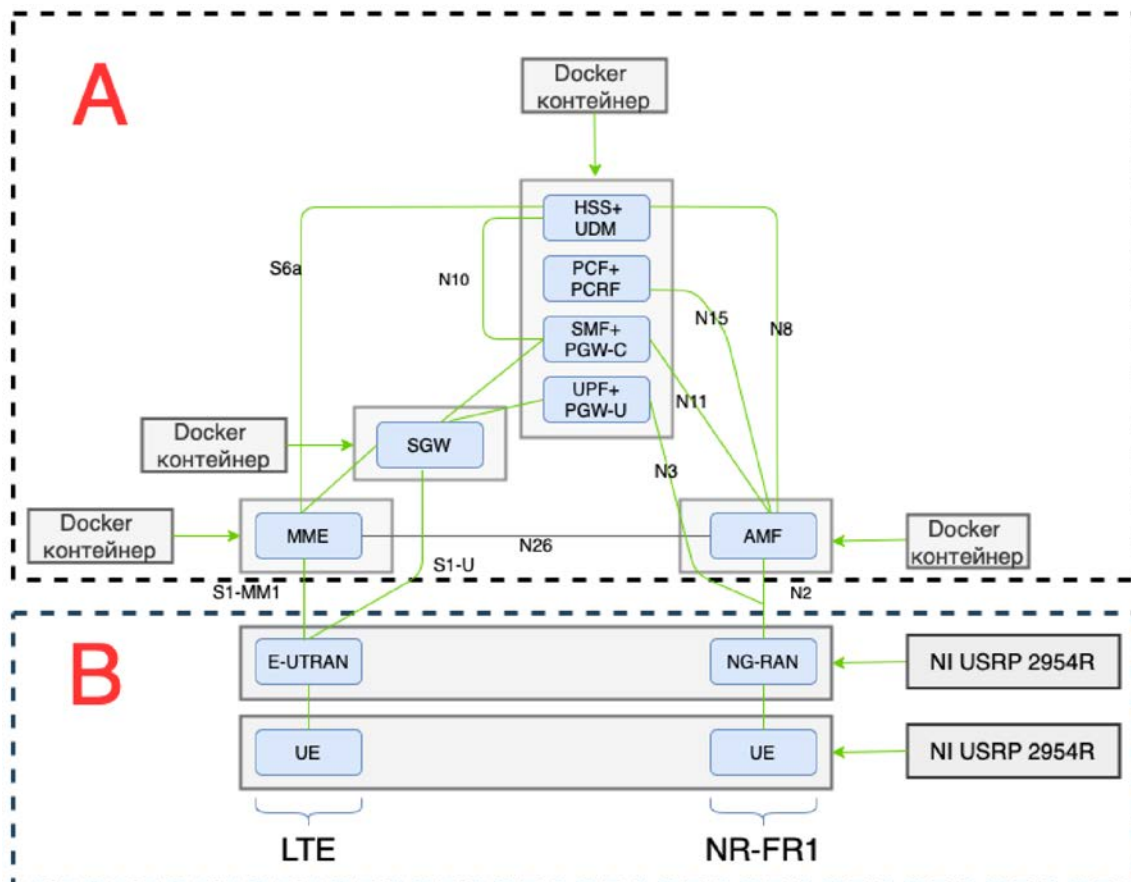


Рисунок 6 - Схема реалізації системи моніторингу та керування в мережі 5G

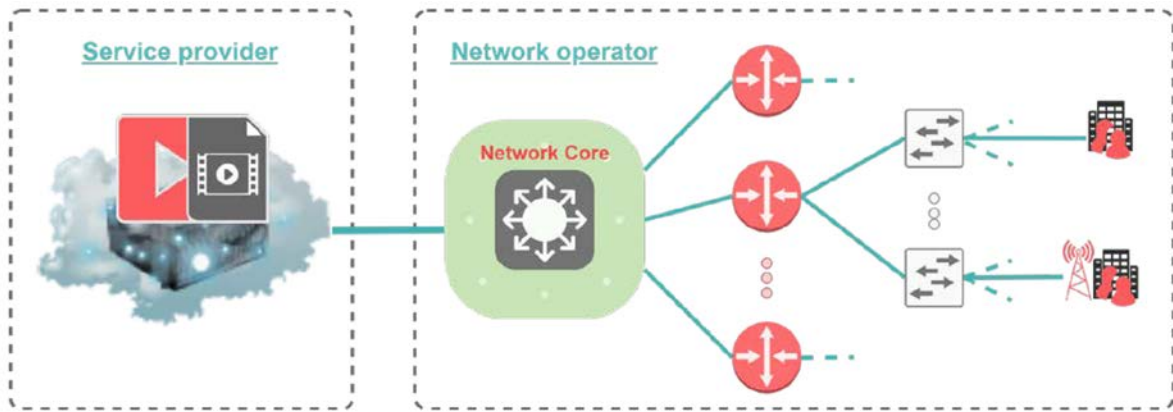


Рисунок 7 - Архітектура мережі для підключення користувачів до сервісу відеоконтенту

Додаток Б
(обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Моделі адаптивного керування інформаційним трафіком в мережах п'ятого покоління

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

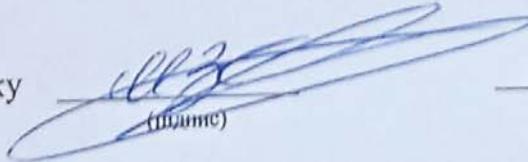
Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 98,58 % Схожість 1,42 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

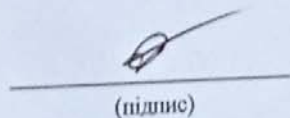
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

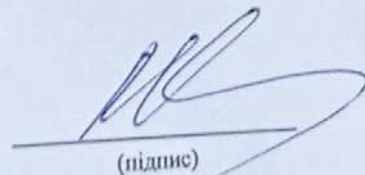
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Сулик Д.А.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.
(прізвище, ініціали)