

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **“ВІРТУАЛІЗАЦІЯ В ПЕРСПЕКТИВНИХ СТІЛЬНИКОВИХ
МЕРЕЖАХ”**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61
спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Лавренко А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Макаренко А.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

Київ - 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	12
1.1 Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій на шляху створення цифрового майбутнього	12
1.2 Впровадження технологій 5 покоління, як запорука розвитку програмно-конфігурованих телекомунікаційних систем.....	17
2 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТА СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ	24
2.1 Основні підходи до хмарним технологій.....	24
2.2 Аналіз архітектури хмарних сховищ даних	30
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РАДІОМЕРЕЖАХ.....	37
3.1 Впровадження методу віртуалізації радіомереж для ефективного застосування перспективних програмно-конфігурованих ТКС	37
3.2 Метод спільного використання LTE та WiMAX телекомунікаційної інфраструктури.....	44
3.3 Математичне і імітаційне дослідження ефективності розробленого методу на основі методики оцінки стійкості телекомунікаційних систем до перевантаження	52
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3GPP - партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній, яка займається розробкою і затвердженням стандартів п'ятого покоління;

CSMA - множинний доступ з контролем несучої;

DNS – Domain Name System;

FASP – Fast and Secure Protocol;

FTP – File Transfer Protocol;

HTML – HyperText Markup Language;

HTTP – Hyper Text Transfer Protocol;

IDA – Fast and Secure Protocol;

IEEE - інститут інженерів з електротехніки і електроніки;

IoT - Інтернет речей;

IP – Internet Protocol;

LTE - технологія мобільного зв'язку четвертого покоління;

M2M - машино-машинна взаємодія;

MAN – Metropolitan Area Network;

MIMO - системи зв'язку з рознесенням певної кількості антен;

MTU – Maximum Transmission Unit;

NAS – Network Attached Storage;

NFV - віртуалізація мережних функцій;

OFDM - ортогональне частотне мультиплексування;

OpenFlow - протокол керування SDN;

OSI – Open Systems Interconnection;

WiMAX - технологія передачі даних по електромережі;

QAM - квадратурна амплітудна модуляція;

QoS – Quality of Service;

QPSK - квадратурна фазова модуляція;

RAID – Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks;

SATA – Serial Advanced Technology Attachment;

SDK – Software Development Kit;
SDN - програмно-конфігурована телекомунікаційна мережа;
SLA – Service-level agreement;
SQL – Structured Query Language;
TCP – Transmission Control Protocol;
UDP – User Datagram Protocol;
VPN – Virtual Private Network;
АБШГ - адитивний білий гауссів шум;
БМ - базовий модуль;
БС - базова станція;
ВРДБ - віддалений радіоблок;
ХТВР - віртуалізована радіомережа;
ВСШ - відношенням сигнал/шум;
ІКТ - інформаційно-комунікаційні технології;
ІТ – Інформаційні технології;
КЕ - коефіцієнт ефективності;
МСЕ - Міжнародний Союз Електрозв'язку;
ОС – Операційна система;
ОЦЛТ - Оптичний цифровий лінійний термінал;
ПКТКС - програмно-конфігурована телекомунікаційна система;
СУБД – Система управління базами даних;
ТКС - телекомунікаційна система;
ХСД – Хмарне сховище даних;
ХТВР - Хмарні технології в радіомережах;
ЦП - циклічний префікс;
ЦСП - цифровий сигнальний процесор.

ВСТУП

Актуальність теми. Усе більш очевидним стає той факт, що жодна країна не може обійтися без широкопasmової інфраструктури. Інфраструктура широкопasmового зв'язку включає цифрові магістралі сучасної інформаційної економіки. Сьогодні інформаційно-телекомунікаційна інфраструктура є найважливішою у будь-якій сучасній економіці, що відграє таку ж життєво важливу роль, як і водні, транспортні або енергетичні мережі. Дійсно, в сучасній економіці інфраструктура широкопasmового зв'язку може часто інтегруватися з водними, транспортними і енергетичними мережами, щоб сформувати інтелектуальні розподілені мережі, що дозволяють ефективнішим чином використовувати ресурси.

Загальновідомо, що інвестиції в широкопasmову інфраструктуру інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) сприяють міжнародній конкурентоспроможності країн, створенню висококваліфікованих робочих місць і зміцненню підприємств за рахунок підвищення їх динамічності.

На сьогодні проведено великий об'єм дослідницьких робіт, результати яких свідчать про позитивну віддачу і потужні зовнішні чинники та наслідки інвестицій в електрозв'язок і ІКТ.

Все вище сказане, як ніколи актуально для технологій, що реалізують хмарні технології в радіомережах. Як не розглядати і не визначати широкопasmовий зв'язок, він здатний надійним чином надавати конвергентні послуги і забезпечувати одночасну комбіновану передачу голосу, даних і відео, потенційно різними мережами. Широкопasmові з'єднання лежать в основі ряду різних послуг, інформації і додатків – від підвищеної реальності для фізичних осіб до дистанційного доступу зображень і діагностики в медицині, розподілених обчислювальних завдань в академічних дослідженнях, інтерактивних дистанційних онлайн-класів в освіті. В майбутньому надання послуг в охороні здоров'я, освіті, банківській справі, бізнесі, торгівлі і державних органах спиратиметься на платформи на базі широкопasmового зв'язку, тому усім країнам слід розробляти плани «майбутнього, заснованого на широкопasmовому зв'язку» і це є принциповим питанням роз-

витку галузі телекомунікацій.

Системи cloud можуть значно збільшити рівень даних клієнт і на елементи мережі, зажадав для своєї передачі і зберігання, надійності. В даний час, у LAN-методів обробки і зберігання є рівень зміцнення інформаційних ресурсів і вкрай слабкого зберігання (менше 18%). Географічний розподіл застосувань клієнтів, своя рухливість з синхронної потребою оберігати цілісність даних створюють протиріччя, яке є необхідністю збільшувати здатність складової існуючої телекомунікації складів даних, розподілених за умовами зростаючих вимог для їх готівки, і відносно не дозволеному доступу [1-3].

Зважаючи на вище наведене, актуальним питанням є дослідження застосування хмарних технологій в стільникових мережах, що є важливим і економічно обґрунтованим напрямом розвитку науки та техніки на сучасному етапі.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є дослідження процесу віртуалізації в перспективних стільникових мережах.

Об'єкт дослідження – процес функціонування стільникових мереж з використанням хмарних технологій.

Предмет дослідження – методи організації стільникових мереж і хмарних сховищ даних шляхом віртуалізації.

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням теорії телекомунікаційних систем та мереж, теорії сигналів і процесів, теорії цифрової обробки сигналів, методів комп'ютерного моделювання.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати магістерської атестаційної роботи доповідалися на ІХ Науково-технічній конференції «Сучасні інфокомунікаційні технології», Київ: ДУТ, 5 грудня 2019 р.

Публікації. Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку, – 2019, – №3”.

1 АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій на шляху створення цифрового майбутнього

Сьогодні у всьому світі ІКТ приділяється особлива увага. ІКТ на сьогодні - один з найбільш потужних інструментів вирішення багатьох завдань в управлінні державою, науці та освіті, охороні здоров'я. Розвинена інформаційно-телекомунікаційна інфраструктура стає одним з найважливіших показників успішного розвитку економіки країн і розглядається як загальнонаціональне завдання, яка потребує об'єднання зусиль держави, бізнесу і громадянського суспільства [1].

Важливою складовою ІКТ є безпроводовий зв'язок. В кінці XIX на початку XX ст. науковцями різних країн світу розроблено безпроводові передавачі. Серед засновників даного виду ІКТ варто згадати Г. Герца, М. Луміса, Н. Тесла, О. Попова, Г. Марконі. З розвитком ІКТ виникла необхідність в стандартизації телекомунікаційного обладнання, результатом чого стало створення Міжнародного телеграфного союзу, правонаступником якого в даний час є сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку [2].

Безпроводові системи передачі даних пройшли великий шлях розвитку і удосконалення від перших експериментальних зразків і до сучасних масових виробів. Розвиток даних систем рухався в напрямку забезпечення свободи пересування і водночас вільного доступу до будь якої інформації. Результатом чого стали для користувача сучасні мобільні пристрої - планшети та смартфони. Можливості, що надають безпроводові технології сьогодення, не обмежуються рамками надання голосових послуг, даючи можливість створюючи нові методи голосового, відео- та інтерактивного спілкування, миттєвого обміну великими об'ємами даних і бізнесу. Таке стрімке поширення безпроводових засобів привело до експоненціального зросту трафіку в телекомунікаційних мережах всіх країн світу. Активний розвиток безпроводових технологій сприяє розвитку інформаційного суспільства,

об'єднуючи людей по всьому світі [1, 3].

Історично склалося, що нові покоління безпроводових технологій впроваджуються з інтервалом приблизно десять років, щоб впоратися з ростом мобільного Інтернет-трафіка. Це дозволяє в повній мірі скористатися еволюцією технологічних складових без якого-небудь застарілого тягара (рис. 1.1) [3].

В 2010 р. завершено розробку специфікацій технології Long Term Evolution - Advanced (LTE-A), яка відноситься до 4-го покоління (4G) технологій мобільного зв'язку. Технології радіодоступу 5-го покоління (5G), як очікується, стануть доступні для комерційного запуску близько 2020 р. [4]. Їх розвиток триватиме до 2030, після чого ми зможемо отримати потенційний досвід користування технологіями 6-го покоління (6G).

Оскільки на даний час виконується стандартизація технологій мобільного зв'язку, щоб закласти фундамент безпроводових мереж 5G, існує загальна думка про необхідність заміни фундаментальної технології OFDM за рахунок більш ефективних, які здатні краще функціонувати в умовах 5G. З цією метою, в 2015 - 2016 рр., були введені ряд нових форм модуляції. Варто відзначити, що в той же час, ці методи мають основний принцип технології OFDM. Основна ідея технології OFDM полягає в тому, щоб розділити частотно-вибірковий канал на низку вузькосмугових підканалів. По цих підканалах або піднесучих ортогональні вузькосмугові сигнали передаються паралельно. Оскільки кожен з цих сигналів зазнає неглибоке завмирання, то досить простої скалярної корекції каналу [5].

Основні вимоги, що пред'являються користувачами до мереж мобільного широкосмугового доступу, передусім, торкаються продуктивності. Розвиток сучасних мереж прагне до того, щоб в майбутньому доступ до даних здійснювався миттєво, а надання послуг відбувалося без затримок і не уривалося через ненадійний зв'язок. Роль мобільного широкосмугового доступу для суспільства і бізнесу неухильно росте і, часто, надійний зв'язок може стати питанням життя і смерті, особливо якщо йдеться про забезпечення надійного підключення для роботи медичних і рятувальних служб.

Нестримно збільшується кількість підключених пристроїв. Загальна тенде-

нція така, що зрештою буде підключене усе, що може виграти від підключення до мережі, починаючи від світлофорів, побутової техніки до автомобілів, медичного устаткування і систем електропостачання. Це відкриває необмежені можливості для людей, бізнесу і суспільства. Забезпечення такого роду підключень - завдання, яке належить вирішити технологіям 5G.

Ефективні і високопродуктивні рішення, необхідні для забезпечення такого роду підключень, можуть бути реалізовані на базі стандарту 5G.

Проте на шляху втілення цієї ідеї виникає ряд складнощів, які необхідно передбачити (рис. 1.2) [6].

Останні декілька років мобільний трафік демонструє стійкий ріст, і ця тенденція продовжиться і в майбутньому. На підставі різних прогнозів [3, 6 - 8] можна зробити висновок, що після 2020 р. ємність систем повинна буде забезпечувати обробку трафіку, що перевищує нинішній в об'ємі більш ніж в 1000 разів.

Згідно звіту Cisco [7] з того моменту, коли в 2000 р. з'явився перший мобільний телефон з камерою, число абонентів мобільного зв'язку на нашій планеті збільшилася в 5 разів. До 2020 р. їх буде вже 5.5 мільярда, тобто 70% світового населення.

Лавиноподібне зростання числа користувачів мобільного зв'язку, «розумних» пристроїв, мобільного відео та мереж 4G в найближчі п'ять років призведе до восьмикратного збільшення мобільного трафіку.

За прогнозами Cisco [7], до 2020 р. 72% всіх мобільних пристроїв і з'єднань будуть відноситися до категорії «розумних» (в 2015 році цей показник становив 36%), причому «розумні» пристрої будуть генерувати 98% мобільного трафіку передачі даних. Якщо говорити про окремі пристрої, то домінувати в мобільному трафіку будуть смартфони: на їх частку до 2020 р. припадатиме 81% усього мобільного трафіку (в 2015 р. - 76%).

Мобільне відео вийде на перше місце за темпами зростання серед усіх мобільних додатків. Очікується, що до 2018 р. частка з'єднань 4G перевищить частку 2G, а до 2020 р. - і частку з'єднань 3G. До 2020 р. на з'єднання 4G буде припадати більше 70% всього мобільного трафіку, а щомісячний обсяг майже в шість разів

перевищить трафік з'єднань всіх інших типів (табл. 1.1) [7].

У мережах по всьому світу працюють більше 5 млрд. мобільних пристроїв [6 - 8], більшістю з яких є мобільні термінали або пристрої, що забезпечують мобільний широкосмуговий доступ і інтегровані в переносні комп'ютери і планшети. В майбутньому очікується, що число підключених пристроїв, задіяних в розумних містах, розумних будинках і інтелектуальних енергомережах перевищить кількість призначених для користувача пристроїв в 10-100 разів.

Забезпечити безперебійну роботу 50 млрд. (а можливо і 500 млрд.) пристроїв - завдання непросте. Разом з ростом кількості пристроїв, що підключаються, значно зростатимуть і вимоги до мережі.

Потокове відео, файлообмінні мережі і хмарні сервіси як і раніше залишатимуться найбільш популярними застосуваннями, вимагаючи усе більш високих швидкостей. У офісних приміщеннях і міському середовищі, де щільність звернень до мережі найбільш висока, необхідно забезпечити швидкість передачі даних декілька Гбіт/сек. Така швидкість дозволить синхронізувати локальні сховища з хмарними і мережевими дисками, передавати відео надвисокої чіткості і підтримувати роботу додатків віртуальної і доповненої реальності.

Для втілення ідеї про необмежений доступ до інформації користувачам мають бути доступні швидкості передачі цих, вимірюваних в сотнях Мбіт/с. Крім того, в цілях забезпечення «гігабітних» швидкостей, необхідних для роботи додатків віртуальної або доповненої реальності, треба буде і далі скорочувати час відгуку до декількох мілісекунд.

Ріст числа підключених пристроїв супроводжуватиметься появою нових способів їх застосування, що приведе до виникнення нових вимог до мереж, що варіюються залежно від пристрою і від конкретної мети використання.

В деяких випадках, наприклад, для зняття показників лічильників, вимоги до часу очікування досить низькі. У інших випадках, наприклад, в механізмах управління оброблювальної промисловості, в енергорозподільних системах або системах безпеки руху, вимоги до низького часу очікування критичні. Для задоволення цих потреб технології 5G повинні забезпечувати час очікування в декіль-

ка мілісекунд і коротше.

У разі управління інфраструктурою першорядної ваги (наприклад, електромережами), промислового управління життєво-важливими соціальними функціями, наприклад, дорожнім рухом, електронними системами охорони здоров'я і «розумними містами», вимоги до надійності мережі надзвичайно високі - вище, ніж можуть запропонувати сьогоденні мережі. Якщо йдеться, приміром, про датчики температури і вологості у будинку, вимоги, звичайно, значно нижче.

Для деяких цілей, наприклад, для дистанційного відеоспостереження, потрібна передача значних об'ємів інформації, тоді як для інших, наприклад, відстежування вантажу судноплавними компаніями, об'єм передачі даних досить малий.

Для інших цілей, наприклад, для мереж датчиків, що живляться від акумуляторів, надзвичайно важливим чинником є низька вартість пристрою і(чи) низьке енергоспоживання. У інших випадках це не настільки критично.

Вартість розгортання, експлуатації і обслуговування мережі, а також вартість пристроїв також повинні знаходитися на рівні досить низькому, щоб дозволить надавати популярні послуги з привабливої для користувача ціни, але в той же час - бути вигідними і для операторів мереж.

1.2 Впровадження технологій 5 покоління, як запорука розвитку програмно-конфігурованих телекомунікаційних систем

До кінця 2017 року більше третини з 7,4 мільярда людей у всьому світі мали доступ до мережі Long Term Evolution 4G LTE (4G LTE), надаючи їм високошвидкісні послуги та додатки, включаючи мобільний Інтернет. Оскільки розгортання LTE продовжує розвиватися в усьому світі, очікується, що до кінця 2018 року охоплення LTE складе близько 2,9 мільярда людей (рис. 1.3) [9, 10].

Окрім розширення мереж LTE, кількість яких перевищує 500 у всьому світі, кількість підключень LTE також швидко зростає, більш ніж удвічі з 500 мільйонів на кінець 2014 року до більш ніж мільярда у кінець 2015 року. Це число знову подвоїлося до 2,3 млрд. на кінець 2017 року, що становить 15 відсотків усіх глобальних мобільних з'єднань, і прогнозується, що наприкінці 2019 року він досягне 3,5 млрд. на 24 % від загальних підключень. Прогнозувалося це багатьма світовими аналітиками вважають, що глобальний імпульс LTE продовжуватиметься і зараз, і до 2020 року. На рис. 1.4 показано зростання LTE-абонентів та прогноз щодо подальшого розвитку LTE до 2021 року [10].

В 2018 р. міжнародний стандарт 5G, який кілька років розроблявся спільно найбільшими телекомунікаційними та ІТ-корпораціями світу, схвалений на пленарній сесії консорціуму 3GPP, повідомляє Samsung Electronics [11]. Пленарне засідання 3GPP TSG №80 затвердило технічні вимоги до автономного Релізу 15 5G [12].

Розробкою нового стандарту протягом трьох років займалися сотні інженерів – представників провідних ІТ-компаній світу. Стандарти для залежних (тих, що будуть підтримуватися діючою 4G-інфраструктурою) 5G-мереж були прийняті в грудні 2017 року.

Таким чином, всі специфікації визначені, і індустрія може зайнятися впровадженням нової технології в життя – відчувати і будувати мережі, базові станції, випускати гаджети, які підтримують новий стандарт.

Серед учасників зустрічі були представники China Mobile, Anritsu, AT&T, British Telecom, Deutsche Telekom, DISH Network, Ericsson, Fujitsu Limited,

Huawei, Intel, InterDigital, Mitsubishi Electric, NEC, Nokia, Orange, Panasonic, Qualcomm Technologies, Samsung Electronics, Sharp, SK Telecom, Verizon, Vodafone, Xiaomi, ZTE і десятків інших компаній з різних країн [11, 13].

Треба сказати, що стандарти зв'язку п'ятого покоління – це лише черговий крок у розвитку зв'язку [11].

У минулому році Фраунгоферовський інститут інтегральних схем у партнерстві з дослідницькими організаціями та бізнесом почав розробку технології мобільної передачі даних 6G у складі проекту Terranova, що фінансується Євросоюзом. Дослідники впевнені, що пропускна здатність технології 5G, яка ще не пішла в серійне виробництво, досить скоро буде вичерпана.

Коментуючи історичну подію, голова 3GPP Балаш Бернен підкреслив: “Прийняття стандартів для зв'язку 5G – важлива віха в історії безпроводового зв'язку. Нова технологія дозволить не тільки значно збільшити швидкість і пропускну здатність широкосмугового доступу, але і додасть розвитку телекомунікаційної галузі новий імпульс, який допоможе освоїти напрями, що лежать за межами телекому, еволюціонувати бізнес” [11, 13].

Таким чином, стандарт 5G прийнятий. Все готове до впровадження, і судячи по заявах розробників, можливості нового покоління зв'язку дозволять телеком-операторам розвивати нові напрямки бізнесу (рис. 1.5) [10].

Технологічний розвиток сучасних мобільних телекомунікацій визначається трьома основними факторами:

- лавиноподібне збільшення обсягу переданих даних в мережах мобільного зв'язку;
- розвиток мобільних послуг і додатків, що вимагають високих швидкостей передачі даних;
- зростання кількості пристроїв, що підключаються до мобільних мереж зв'язку.

Одним з головних трендів на ринку мобільного зв'язку на сьогоднішній день є розвиток технологій мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління - 5G. Найсучасніші технологічні рішення для систем широкосмугового безпроводового

доступу розробляються в рамках розвитку 5G-мереж, які описуються в термінології Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) як мережі ІМТ2020 [9, 14, 15].

Очікується, що 5G-мережі забезпечать підключення десятків тисяч пристроїв в одному стільнику, більш ніж на порядок підвищать швидкість передачі даних і на порядок зменшать мережеві затримки, що дозволить створювати нові телекомунікаційні сервіси для всіх галузей економіки, включаючи транспортну галузь, індустрію розваг, освіту, сільське господарство і багато іншого. Крім того, 5G-мережі сприятимуть поліпшенню якості надання вже існуючих послуг зв'язку, таких як голосова та відеозв'язок, онлайн-ігри і вебсерфінг, особливо в місцях масового скупчення користувачів (на стадіонах, в метро, на залізничних вокзалах і в аеропортах).

Фахівці виділяються три основних напрямки розвитку послуг майбутніх мереж мобільного зв'язку 5G [9, 15]:

- екстремально широкопasmовий мобільний доступ (Extreme Mobile BroadBand - xMBB) з пропускною спроможністю в декілька Гбіт/с;
- масове використання пристроїв IoT / M2M (Massive MachineType Communications - mMTC), кількість яких може досягати десятків тисяч на один стільник;
- високонадійний M2M-зв'язок (Ultrareliable MachineType Communications - uMTC), який застосовується для виробничої і транспортної автоматизації, різних системах громадської безпеки, медичних та фінансових систем.

До майбутніх інноваційних сервісів 5G-мереж відносять послуги доповненої і віртуальної реальності, передачі голографічних 3D-зображень, які вимагають високої пропускної здатності мережі мобільного зв'язку і високої швидкості передачі даних, доступної користувачеві або пристрою, а також послуги тактильного Інтернету, промислової та транспортної автоматизації, що зумовлені необхідністю малих мережевих затримок і високої надійності зв'язку [16].

Дослідженнями і розробками технологій для 5G-мереж займається цілий ряд міжнародних, національних і приватних проєктів. Найбільш відомими проєктами є глобальний проєкт Wireless World Research Forum (WWRF), європейські

проекти 5GPPP, METIS, 5GIC, 5GLab, китайський проект IMT 2020 5G promotion group і корейський проект 5Gforum [17].

В рамках цих проектів проводяться наукові дослідження, розробляються нові технологічні рішення, випускаються технічні звіти і рекомендації, результати досліджень представляються на міжнародних конференціях і виставках. Серед активних дослідників і розробників технологій 5G також слід відзначити провідних світових виробників телекомунікаційного обладнання: Huawei, Samsung, Nokia, Ericsson, Keysight technologies, National Instruments, а також операторів NTT Docomo, Vodafone і China Mobile [9].

Орієнтиром розвитку нових технологічних рішень для мереж мобільного зв'язку є вимоги до майбутніх мереж 5G, які сформовані на основі прогнозу збільшення трафіку і посилення вимог до якості перспективних послуг.

Технічні вимоги до мереж 5G порівняно з характеристиками існуючих мереж LTE-Advanced включають наступні показники [9, 12, 17, 18]:

- пікова швидкість передачі даних (максимальна досяжна швидкість передачі даних на одного користувача/пристрою) - 20 Гбіт/с;
- практична швидкість передачі даних для користувача (швидкість передачі даних, яка всюди, по усій зоні покриття доступна мобільному користувачеві/пристрою) - 100 Мбіт/с;
- ефективність використання спектру (середня пропускна спроможність даних на одиницю ресурсу спектру і на один стільник, біт/с/Гц) - в три рази вище, ніж у мереж LTE-Advanced;
- мобільність (максимальна швидкість пересування мобільного користувача/пристрою, при якій забезпечується задана якість обслуговування) - 500 км/год;
- затримка (інтервал часу від моменту посилки пакету даних джерелом через радіомережу до моменту його прийому одержувачем) - 1 мс;
- щільність підключень (загальна кількість підключених або доступних пристроїв на одиницю площі) - 1 млн. на км²;
- енергоефективність (енергоефективність мережі визначається кількістю інформаційних бітів, що передаються користувачам/отримуваних від користува-

чів, на одиницю споживання енергії в мережі радіодоступу, енергоефективність абонентського пристрою визначається кількістю інформаційних бітів на одиницю споживання енергії модулем зв'язку) - в 100 разів вище, ніж у мереж LTE-Advanced;

- щільність трафіку (швидкість передачі даних, доступна на одиницю географічної площі) - 10 Мбіт/с на м².

Для забезпечення ключових вимог до мереж 5G потрібні нові технологічні рішення для мережі радіодоступу, базової мережі, транспортної мережі, абонентських пристроїв, а також розвиток різних супутніх технологій.

Архітектура 5G-мереж мобільного зв'язку визначається наступними ключовими факторами [9, 18].

1. 5G-мережі повинні, з одного боку, забезпечувати більш високу продуктивність у порівнянні з існуючими мережами мобільного зв'язку, з іншого - мати більш низькі капітальні та операційні витрати. В іншому випадку інвестиційна привабливість 5G-мереж буде невисокою.

2. 5G-мережі будуть обслуговувати пристрої і додатки з істотно різними характеристиками трафіку - від низькошвидкісних M2M-лічильників до сервісів віртуальної і доповненої реальності з високими вимогами до швидкості передачі даних і високонадійних систем управління транспортним рухом з високими вимогами до мережевих затримок. Тому 5G-мережі повинні ефективно управляти мережевими ресурсами в залежності від потреб додатків і вимог до якості надання послуг.

3. Обмеженість частотного ресурсу для подальшого розвитку мереж мобільного зв'язку призводить до необхідності використання в мережах радіодоступу смуг частот різних діапазонів (сантиметрові і міліметрові хвилі) і ефективного управління спільним використанням спектра.

Таким чином, основною вимогою до архітектури 5G-мереж є гнучкість. В якості основних підходів до побудови 5G-мереж, які забезпечують високу ступінь гнучкості мережевий архітектури, пропонуються технології програмно-конфігурованих мереж (Software Defined Networking - SDN) і віртуалізації мере-

жевих функцій (Network Functions Virtualization - NFV). За допомогою цих технологій мережа поділяється на логічні сегменти, кожен з яких налаштовується відповідно до параметрів, необхідних для функціонування певних послуг [19, 20]. При створенні програмного забезпечення для SDN так і для ПКТКС можливо використовувати спеціалізовані мови програмування, як це показано в Додатку А.

При використанні мереж SDN рівень управління мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмними засобами. Ключовими принципами програмно-конфігурованих мереж є поділ процесів передачі та управління даними, централізація управління мережею за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізація фізичних мережевих ресурсів. Мережа SDN забезпечує єдине автоматизоване управління мережевими настройками в розподіленій мережі оператора і миттєво реагує на зміни конфігурації віртуалізованих додатків (віртуальних машин) [20, 21].

Під віртуалізацією мережевих функцій розуміється надання набору обчислювальних ресурсів або їх логічного об'єднання, абстрагованих від апаратної реалізації і забезпечення при цьому логічну ізоляцію обчислювальних процесів, які виконуються на одному фізичному ресурсі. При такому підході для запуску нових послуг оператору не потрібно кожен раз закуповувати нове обладнання і вирішувати проблему його сумісності з уже наявним.

Використання NFV дозволяє розділяти одну фізичну мережу на кілька віртуальних мереж (шарів) для забезпечення оптимальної підтримки різних видів послуг, з різними характеристиками і вимогами. Такий поділ називають Network Slicing. Для кожного шару в мережі гарантовані виділені ресурси, такі як ресурси віртуальних серверів, пропускна здатність мережі, якість обслуговування і т. д. Оскільки шари ізолювані один від одного, помилки або збої, що відбулися в одному шарі, не впливають на сервіси в інших шарах [20].

З урахуванням того, що 5G-мережі обслуговують крім традиційних мобільних телефонів велику кількість різних пристроїв M2M і IoT, які мають специфічні характеристики і вимоги, використання технології Network Slicing дозволить підвищити ефективність роботи мобільних мереж зв'язку та якість послуг, що нада-

ються [9, 20].

При віртуалізації NFV мережі радіодоступу основна функціональність базових станцій 5G, що відповідає за цифрову обробку сигналу, синхронізацію і управління, буде розміщуватися в хмарі (SoftwareDefined Radio - SDR) окремо від радіоголовок (RRH) і антен, дозволяючи реалізовувати переваги когнітивного радіо і знижувати капітальні та операційні витрати на мережу радіодоступу.

Застосування концепції самоорганізованих мереж радіодоступу (Self Organizing Networks - SON) забезпечить підвищення ефективності розподілу радіоресурсів 5G-мереж, якості обслуговування користувачів і скорочення операційних витрат за рахунок автоматизації процесів формування радіопокриття і координації роботи сусідніх базових станцій різного рівня (мікро і макробазових станцій).

Програмно-конфігурована архітектура 5G-мережі (SDR і SDN), в якій рівень управління мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмними засобами, дозволить перерозподіляти апаратні ресурси в залежності від навантаження, підвищуючи ефективність їх використання [20, 22].

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі досягнуто наступних результатів:

1. Виконано аналіз напрямків розвитку інформаційно- телекомунікаційних технологій. Визначено, що лавиноподібне зростання числа користувачів мобільного зв'язку, інтернету речей, мобільного відео та мереж призводить до постійного збільшення мобільного трафіку.

2. Проведено аналіз перспектив впровадження технологій 5 покоління, як запоруки розвитку мобільних телекомунікаційних систем. Показано, що затвердження релізу 15 5G на пленарній сесії консорціуму 3GPP - важлива віха в історії безпроводового зв'язку.

3. Проведено аналіз архітектури систем зберігання даних, досліджено основні підходи до хмарних технологій. Проведено аналіз архітектури систем зберігання даних, досліджено основні підходи до хмарних технологій, виділено особливості формування архітектури хмарних сховищ даних і їх проблематику та проведено аналіз транспортування даних в розподілених системах. У процесі аналізу виділено позитивні і негативні риси окремих архітектури зберігання даних.

4. В роботі досліджено використання для створення перспективних мобільних радіомереж архітектури хмарних технологій та виконано дослідження переваг та недоліків.

5. В магістерській роботі на основі використання методів комп'ютерного моделювання проведено дослідження ефективності застосування хмарних технологій в радіомережах, а саме середньої затримки пакетів в мережі залежно від навантаження з кінця в кінець і з кінця до мережі розподілу. Зроблено висновок, що використання хмарних технологій в радіомережах дозволяє зменшити середню затримку пакетів в мережі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Толубко В.Б. Влияние информационно-телекоммуникационных технологий на мировую экономику // Міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології”. К.: ДУТ, 17-20 листопада, 2015. - Т.1. - С. 6-10.
2. Торошанко Я. І. Аналіз і моделювання різноманітного самоподібного трафіку комп'ютерних мереж / Я. І. Торошанко, Н. М. Якимчук // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2017. - № 4. - С. 42-51.
3. Торошанко Я. І. Статистичні моделі управління телекомунікаційними мережами та методи боротьби з перевантаженнями / Я. І. Торошанко, Н. М. Якимчук // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2017. - № 3. - С. 111-118.
4. Козелкова К. С. Управление потоками данных в цифровых телекоммуникационных сетях с разнородным трафиком / К. С. Козелкова, Я. И. Торошанко, Л. А. Харлай // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. - 2019. - № 849. - С. 210-217.
5. A cloud storage architecture model for data-intensive applications / Y.Huo, H. Wang, L. Hu, H. Yang. // Computer and Management (CAMAN), 2011 International Conference on. IEEE - 2011. - С. 1-4.
6. Al-Fares M. A scalable, commodity data center network architecture / M. Al-Fares, A. Loukissas, A. Vahdat. // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2008. - №38. - С. 63-74.
7. Amazon Web Services [Електронний ресурс] // А.Е.С. Retrieved November. 2011. - Режим доступу до ресурсу: <http://ddug.tux.org/2006n/AmazonEC2.pdf>.
8. Мороз С. М. Аналіз чутливості телекомунікаційної мережі на основі прогнозуючих нейронних систем / С. М. Мороз, Т. Г. Ляш, Я. І. Торошанко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2019. - № 4. - С. 42-48.
9. Торошанко Я. І. Засоби управління перевантаженнями в комп'ютерних мережах / Я. І. Торошанко, Б. М. Хобта, П. М. Хобта // Телекомунікаційні та інфор-

маційні технології. - 2019. - № 4. - С. 105-110.

10. Торошанко Я. І. Задачі управління надійністю телекомунікаційних мереж / Я. І. Торошанко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2015. - № 5. - С. 65-71.

11. Торошанко Я. И. Оптимизация больших информационных систем с диагонально-доминантными матрицами ключевых показателей эффективности / Я. И. Торошанко, В. С. Шматко, М. С. Высочиненко, А. А. Булаковская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 6(4). - С. 24-29.

12. Arrington M. Gmail Disaster: Reports Of Mass Email Deletions [Електронний ресурс] / Michael Arrington. - 2006. - Режим доступу до ресурсу: <http://techcrunch.com/2006/12/28/gmail-disaster-reports-of-mass-email-deletions/>.

13. Avelar V. Guidelines for Specifying Data Center Criticality / Tier Levels [Електронний ресурс] / Victor Avelar // APC. - 2007. - Режим доступу до ресурсу: http://www.lamdahellix.com/assets/contents/files/122_whitepaper.pdf

14. Cloud computing and grid computing 360-degree compared / I.Foster, Y. Zhao, I. Raicu, S. Lu. // Grid Computing Environments Workshop. - 2008. - С. 1-10.

15. Cloud computing: distributed internet computing for IT and scientific research / [M. D. Dikaiakos, D. Katsaros, P. Mehra та ін.]. // Internet Computing, IEEE. - 2009. - №13. - С. 10-13.

16. Торошанко Я. І. Ключові параметри ефективності безпроводових телекомунікаційних мереж та методи їх ідентифікації / Я. І. Торошанко, В. П. Грушевська, В. С. Шматко, М. С. Височиненко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2014. - № 4. - С. 28-33.

17. Кучук Г. А. Синтез топології гібридного хмарного сховища даних у гетерогенному середовищі / Г. А. Кучук // Авиационно-космическая техника и технология. - 2013. - № 9. - С. 280-284.

18. Білодід Н. М. Особливості використання хмарного сховища Dropbox для обміну даними у розподіленій базі даних "ІС : Підприємство" / Н. М. Білодід, О. В. Власенко, І. А. Оринчак // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. - 2015. - № 1. - С. 84-91.

19. Dekeyser S. Extending google docs to collaborate on research papers / S. Dekeyser, R Watson. // University of Southern Queensland, Australia. - 2008. - №23. С. 1-11.
20. Efficient Replica Maintenance for Distributed Storage Systems / [B. G. Chun, F. Dabek, A. Haeberlen та ін.]. // NSDI. - 2006. - №6. - С. 45-58.
21. Girault C. Petri Nets for Systems Engineering: A Guide to Modeling, Verification, and Applications / C. Girault, R. Valk., 2013. - 607 с.
22. Goda K. Direct Attached Storage / Kazuo Goda. // Encyclopedia of Database Systems. - 2009. - С. 847-847.
23. Gu Y. Experiences in Design and Implementation of a High Performance Transport Protocol / Y. Gu, X. Hong, R. L. Grossman. // Supercomputing, 2004. Proceedings of the ACM/IFIT SC2004 Conference. IEEE. - 2004. - С. 22-22.
24. Gu Y. Supporting configurable congestion control in data transport services / Y. Gu, R. Grossman. // Proceedings of the 2005 ACM/IEEE conference on Supercomputing. - 2005. - С. 31-62.
25. Ступень П. В. Аналіз алгоритмів шифрування даних для захисту інформації на хмарних сховищах / П. В. Ступень, О. Ю. Золкіна, С. О. Соколов // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]. Серія : Комп'ютерні технології. - 2015. - Т. 266, Вип. 254. - С. 67-70.
26. Мацуєва К. А. Розробка моделей і алгоритмів оптимізації споживання ресурсів в сховищі даних на базі хмарної платформи / К. А. Мацуєва // Технологический аудит и резервы производства. - 2015. - № 5(7). - С. 7-11.
27. Третьак В. Ф. Оптимізація структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища / В. Ф. Третьак, А. А. Пашнєва // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. - Вип. 4. - С. 122-128.
28. Толюпа С. В. Пути обеспечения безопасности электронных хранилищ / С. В. Толюпа, Я. И. Торошанко, А. Ю. Мороко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2012. - № 3. - С. 17-22.
29. Бойченко О. В. Модель корпоративного інформаційного захисту об'єкту

інформатизації / О. В. Бойченко, Я. І. Торошанко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2011. - № 4. - С. 15-19.

30. Gu Y. UDT: UDP-based data transfer for high-speed wide area networks / Y. Gu, R. Grossman. // Computer Networks. - 2007. - №7. - С. 1777-1799.

31. Herrick D. R. Google this!: using Google apps for collaboration and productivity / Dan Herrick. // Proceedings of the 37th annual ACM SIGUCCS fall conference. - 2009. - С. 55-64.

32. Женжера С.В. Історія розвитку електрозв'язку. Невідомі сторінки / С.В. Женжера, О.М. Чекунова, К.С. Васюта, М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – 2015. – №5. – С. 6-10.

33. Технологии мобильной связи пятого поколения (5G) [Електронний ресурс] // Ericsson – Режим доступу: http://www.ericsson.com/res/region_RECA/docs/whitepapers/wp-5g-ru.pdf.

34. Mogensen P. 5G small cell optimized radio design [Електронний ресурс] Preben Mogensen, Kari Pajukoski, E. Tirola // – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/269304509_5G_small_cell_optimized_radio_design

35. Ericsson Mobility Report - on the Pulse of the Networked Society [Електронний ресурс] // Ericsson – Режим доступу: <https://www.ericsson.com/res/docs/2013/ericsson-mobility-report-november-2013.pdf>

36. Cisco VNI Mobile Forecast (2015 – 2020) [Електронний ресурс] // Cisco – Режим доступу: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>

37. Fa-Long L. Signal Processing for 5G: Algorithms and Implementations / Fa-Long Luo, Charlie Zhang. – Chichester: Wiley-IEEE Press, 2019. – 616 p.

38. Тихвинский В. Развитие архитектуры сетей 5G / В. Тихвинский, Г. Бочечка, А. Минов, А. Бабин // CONNECT. – 2017. - № 1–2. С. 52-58.

39. Картографічний сайт WorldTimeZone [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.worldtimezone.com/>

40. Mobile Industry Works Together to Deliver Complete 5G System Standard on Time [Електронний ресурс] // Samsung Electronics – Режим доступу: <https://news.samsung.com/global/mobile-industry-works-together-to-deliver-complete-5g-system-standard-on-time>

41. Wireless technology evolution towards 5G: 3GPP release 13 to release 15 and beyond [Електронний ресурс] // 5G Americas – Режим доступу: http://www.5gamericas.org/files/3214/8833/1313/3GPP_Rel_13_15_Final_to_Upload_2.28.17_AB.pdf

42. The first real 5G specification has officially been completed [Електронний ресурс] Chaim Gartenberg // The Verge – Режим доступу: <https://www.theverge.com/2017/12/20/16803326/5g-network-specification-standard-3gpp-nr-official>

43. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond // ITU-T Recommendation ITU-R M.2083. - 2015.

44. Бондарчук А.П. Аналіз вимог при розробці системи управління прикладними задачами IoT / А. П. Бондарчук, Ю.В. Каргаполов, А.А. Макаренко, А.Б. Придубайло, О.В. Сеньков // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2018. - №1. - С. 24-30.

45. Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку конвергентних технологій у країнах світу й Україні для вирішення глобальних проблем: монографія. Харків: ФОП Лібуркіна Л.М., 2017. - 448 с.

46. Wireless World Research Forum [Електронний ресурс] // Wireless World Research Forum – Режим доступу: <https://www.wwrf.ch>

47. Overview of enabling technologies for 3GPP LTE-advanced [Електронний ресурс] Thien-Toan Tran, Yoan Shin, Oh-Soon Shin // Wireless Com Network – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1186/1687-1499-2012-54>

48. Макаренко А.О. Сучасні мови програмування для систем надання телекомунікаційних послуг / А.О. Макаренко, А.П. Бондарчук, Є.Б. Хотинський, В.М. Лимар // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2019. - №4. - С. 72-84.

49. Макаренко А.О. Аналіз працездатності програмно-конфігурованих мереж / А.О. Макаренко, В.В. Жебка, В.М. Куклов, А.І. Підручний // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2017. – №1. – С. 25-32.

50. Макаренко А.О. Новітня технологія OpenFlow Softswitch програмно-конфігурованих мереж // VI Міжнародна науково-практична конференція “Обробка сигналів і негауссівських процесів” ЧДТУ - Черкаси'2017. – 24-26 травня. – Черкаси, 2017. – С.176-178.

51. Сторчак К.П. Вирішення технічних проблем розвитку ІКТ за допомогою інтелектуальних радіотехнологій / К.П. Сторчак, В.І. Примаченко, А.О. Макаренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2017. – №3. – С. 28-32.

52. Studies on frequency related matters for International Mobile Telecommunications of International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond // ITU-T Resolution COM 6/20 (WRC-15). - 2019.

53. Building the 5G Foundation [Електронний ресурс] // Samsung Electronics – Режим доступу: <https://www.samsung.com/global/business/networks/insights/5g-radio-access/>

54. Fostering the Development of the 5G Mobile Network [Електронний ресурс] Brianne Costa // COMSOL – Режим доступу: https://www.comsol.com/blogs/fostering-the-development-of-the-5g-mobile-network/?utm_source=E%26T&utm_campaign=uk_eandtenews_mar17&utm_medium=Other&utm_content=5