

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Інфокомунікацій .
(повна назва)
Кафедра Інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський) .

ГЮИК.ХХХХХХ.002ПЗ
(позначення документа)

Дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг
Infocommunication Services Access Resources Management Methods Research
(тема)

Виконала:

студентка 2 курсу, групи ТСМм-18-1
Волокітіна О. І. .
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми: освітньо-наукова .
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма: «Телекомунікаційні системи та мережі» .
(шифр і назва напрямку, спеціальності)

Керівник: професор кафедри ІКІ ім. В.В. Поповського
професор Тітаренко Л.О. .
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

_____ .
(підпис)

Лемешко О.В. .
(прізвище, ініціали)

2020р.

*Атестаційна робота не містить
відомостей, що заборонені
до відкритого друку*

Студентка 2 курсу, групи ТСМм-18-1

Керівник

Волокітіна О. І

професор Тітаренко Л.О

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій.

Кафедра Інфокомунікаційної інженерії ім В.В. Поповського.

Рівень вищої освіти другий (магістерський).

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Тип програми: Освітньо-наукова.

Освітня програма «Телекомунікаційні системи та мережі».
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Волокітіній Олені Ігорівні.
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг

Infocommunication Services Access Resources Management Methods Research

затверджена наказом по університету від 11.03.2020 р. № 437 Ст.

2. Термін здачі студентом роботи 15.05.2020р.

3. Вихідні дані до роботи: дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг: доля класу А, складає $p_1 = 80\%$, В – 15% , а С – 5% . Кількість викликів за годину f та їх тривалість t співпадають для трьох класів, $t_3 = t_2 = t_1 = 2$ хвилини, $f_3 = f_2 = f_1 = 5$, Об'єм даних під час найбільшого навантаження (ЧНН) 10 Мбайт для класу В та 100 Мбайт для класу С. Час перегляду відео в ЧНН – 60 хвилин. Вузол доступу обслуговує $N = 448$ абонентів, з переглядом $K_{tv} = 40$ каналів мовлення.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Перспективи розвитку нових поколінь інфокомунікацій
- 2) Управління ресурсами доступу до інфокомунікаційних послуг
- 3) Дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, плакатів): Демонстраційний матеріал у вигляді ppt-презентації: 1 Дослідження

методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг;
2 Постановка задачі; 3 Ринок Інтернету речей; 4 Multi play – комбінація 5 послуг;
5 Чотирирівнева мережа управління конвергенцією послуг; 6 Метод контролю
ресурсів доступу для абонентів, які розбиті на класи; 7 Метод контролю ресурсів
доступу згідно послуг, які потребують абоненти; 8 Результати моделювання;
9 Пропускна здатність; 10 Блок-схема алгоритму моделювання; 11 Симуляція
руху трафіку; 12 Панель розрахунку вихідних параметрів досліджуваної моделі;
13 Висновки; 14 Шість публікацій

6. Консультанти розділів роботи

| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|----------------------|---|---|--------|
| | | (підпис) | (дата) |
| Основна частина | Професор Тітаренко Л.О. | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | Отримання завдання | 17.02.2020 | Виконано |
| 2 | Збір матеріалів для дослідження | 01.03.2020 | Виконано |
| 3 | Розробка 1 розділу | 18.03.2020 | Виконано |
| 4 | Розробка 2 розділу | 16.04.2020 | Виконано |
| 5 | Розробка 3 розділу | 10.05.2020 | Виконано |
| 6 | Оформлення атестаційної роботи | 15.05.2020 | Виконано |
| 7 | Оформлення слайд | 15.05.2020 | Виконано |

7. Дата видачі завдання 17 лютого 2020 року

Студентка _____ Волокітіна О.І.
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ професор Тітаренко Л.О.
 (підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 78 с., 26 рис., 2 таблиці, 4 додатки, 43 джерела.

МЕРЕЖА НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, РОЗУМНЕ МІСТО, КОНВЕРГЕНТНІСТЬ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

Об'єктом дослідження є інфокомунікаційна мережа зв'язку наступного покоління концепції NGN.

Предметом дослідження є управління ефективністю ресурсів продуктивності вузла доступу, який функціонує із заданими параметрами мережі інфокомунікацій.

Мета роботи – дослідження технологій і проблем побудови сучасної телекомунікаційної мережі взагалі, та аналіз методів розрахунку, аналізу, оцінки і шляхів підвищення параметрів ефективності ресурсів мереж доступу до інфокомунікаційних послуг на прикладі мультисервісного вузла доступу із забезпеченням необхідного рівня параметрів якості.

Методи дослідження: аналіз науково-технічної літератури, опис, порівняння, зіставлення, формалізація, розрахунок, побудова діаграм, розроблення програмних засобів.

Для побудови глобальної інформаційної інфраструктури при збільшенні кількості користувачів мереж фіксованого зв'язку та стрімкому зростанню різноманітності послуг на базі інноваційних технологій: Інтернету речей, «розумних мереж», виникла потреба в розробці нової мережі для обслуговування виникаючих запитів, а для з'єднання користувачів, надання затребуваних послуг - в управлінні ресурсами доступу до інфокомунікаційних послуг.

В роботі надана інформація про переваги та недоліки сучасних інфокомунікаційних мереж, приведені розрахунки та порівняння ефективності ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг різних методів контролю.

Розроблено: математичну модель для дослідження ефективності ресурсів доступу, блок-схему алгоритму моделювання та програму для розрахунку параметрів, побудови діаграм і візуалізації руху трафіку.

ABSTRACT

The report contains: 78 p., 26 fig., 2 tables, 4 applications, 43 sources.

NEXT GENERATION NETWORK, INTERNET OF THINGS, SMART CITY, CONVERGENCE, MATHEMATICAL MODEL.

The object of researching is infocommunication next generational network.

The subject of researching is management of efficiency of the access node productivity resources. This node functions with preset parameters of the infocommunication network.

An aim of work is an analysis of methods, facilities and problems of the construction of modern telecommunication networks in general, and analysis of methods of calculation, analysis, estimation and ways of increase of access networks resources efficiency parameters for infocommunication services, by the example of the multiservice access node with providing the required level of quality parameters.

Methods of research are analysis of scientific and technical literature, description, comparison, juxtaposition, formalization, calculation, charting, software development.

For building a global information infrastructure with the increasing number of fixed communication network users and the rapid growth of the diversity of services, based on innovative technologies: Internet of things, "smart networks", there was a need to develop a network capable of handling emerging queries, and for the users connection - infocommunication services access resources management.

The work provides information about the modern telecommunication networks advantages and disadvantages, calculations and comparison of the access resources efficiency both for separate classes of users and the access node in general.

Developed: a mathematical model to investigate the performance of access resources, flowchart of modelling algorithm and a program to calculate parameters, build charts and visualize traffic flow.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Перелік скорочень, умовних позначень, символів, одиниць і термінів | 7 |
| Вступ | 9 |
| 1 Перспективи розвитку нових поколінь інфокомунікацій | 11 |
| 1.1 Історія виникнення інфокомунікацій | 11 |
| 1.2 Послуги Інтернет речей | 12 |
| 1.3 Перспективи розвитку послуг інфокомунікацій нових поколінь | 18 |
| 1.4 Послуги мереж пост NGN — FGN | 22 |
| 1.5 Послуги мереж FN | 22 |
| 1.6 Послуги наномереж — мереж майбутнього | 24 |
| 1.7 Економічні складові перспектив розвитку послуг ІКТ і наші реалії | 25 |
| 2 Управління ресурсами доступу до інфокомунікаційних послуг | 28 |
| 2.1 Особливості побудови мереж NGN | 28 |
| 2.2 Технології мереж с комутацією каналів та пакетів | 31 |
| 2.3 Підсистеми підтримки ТКС | 32 |
| 2.4 Система комутації пакетів Softswitch | 34 |
| 2.5 Інфокомунікаційні послуги фіксованого та мобільного зв'язку | 37 |
| 2.6 Конвергентність інфокомунікацій | 42 |
| 2.7 Архітектура управління інфокомунікаційними послугами | 45 |
| 3 Дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг | 47 |
| 3.1 Основні методи контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг | 47 |
| 3.2 Моделювання математичної моделі дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг | 53 |
| 3.3 Методи розрахунків, аналізу та оцінки параметрів якості смуги пропускання послуг мобільного зв'язку в ЧНН | 56 |
| 3.4 Блок-схема алгоритму моделювання | 61 |
| 3.5 Розробка програмних засобів моделювання математичної моделі | 62 |
| 3.6 Програма моделювання математичної моделі | 67 |
| 3.7 Результати моделювання і розрахунки за допомогою програми | 69 |
| Висновки | 73 |
| Перелік джерел посилання | 75 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

| | |
|-----------|---|
| БП | Базові послуги |
| ВД | Вузол доступу |
| ДВО | Додаткові види обслуговування |
| І | Інтернет |
| ІКТ | Інформаційні комунікаційні технології |
| МСЕ-Т | Міжнародний союз електрозв'язку - телекомунікації |
| МСС | Мультисервісні мережі |
| ООП | Об'єктно - орієнтоване програмування |
| ПК | Персональний комп'ютер |
| СКТ | Системи кабельного телебачення |
| СМУ | Системи мережного управління |
| Т | Телефонія |
| ТКС | Телекомунікаційні системи |
| ТМЗК | Телефонна мережа загального користування |
| ЧНН | Час найбільшого навантаження |
| ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line |
| AR | Augmented reality |
| AS | Application Servers |
| Cisco VNI | Cisco Visual Networking Index Complete Forecast |
| CLPS | C Language Integrated Production System |
| CO-CS | Connection-oriented circuit-switched |
| CO-PS | Connection-oriented packet-switched |
| ETSI | European telecommunications standardization institute |
| FGN | Future Generation Networks |
| FMC | Fixed-Mobile Convergence |
| FN | Future Networks |
| FS | Feature Servers |
| FTP | File Transfer Protocol |
| FTTx | Fiber To The x |
| GSM | Groupe Special Mobile |

| | |
|---------|--|
| HFC | Hybrid Fiber Coax |
| HTML | Hyper Text Markup Language |
| HTTP | Hyper Text Transfer Protocol |
| IBSG | Internet Business Solutions Group |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| IMS | IP Multimedia Subsystem |
| IoE | Internet of Everything |
| IoT | Internet of Things |
| IP | Internet Protocol |
| LTE | Long-Term Evolution (4G) |
| LTE/SAE | Long Term Evolution/Service Architecture Evolution |
| MEGACO | Media Gateway Control Protocol |
| MG | Media Gateway |
| MGC | Media Gateway Controller |
| NB | Nota bene |
| NGN | Public land mobile network |
| PLMN | Next Generation Network |
| PON | Passive Optical Network |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| QoS | Quality of Service |
| RTP | Real-time Transport Protocol |
| SG | Signaling Gateway |
| SIP | Session Initiation Protocol |
| SMS | Short Message Service |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| USN | Ubiquitous Sensor Networks |
| VCC | Voice Call Continuity |
| VoIP | Voice over IP |
| VPN | Virtual Private Network |
| VR | Virtual reality |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| WoT | Web of Things |

ВСТУП

Телекомунікаційні та інформаційні технології - основний фактор розвитку світової економіки. Поява таких технологій: інтернет речей та «розумні мережі» створює єдине інформаційне суспільство, де географічні кордони втрачають своє значення як економічний фактор. Економічна і соціальна рада ООН у рамках Стратегії Стійкого Розвитку до 2030 року висунула пропозицію щодо побудови: «інноваційного міста, яке використовує цифрові технології для підвищення рівня життя, ефективності діяльності і надання послуг в місті, а також розвитку конкурентоспроможності при забезпеченні задоволення потреб теперішнього і майбутніх поколінь» [1]. Пропозиція була підтримана президентом України в Національній доповіді «Цілі сталого розвитку України» на період до 2030 року [2].

На всесвітньому форумі з політики в галузі інфокомунікацій оголошено, що МСЕ-Т розробив рекомендацію Y.3001, згідно якої: для побудови глобальної інформаційної інфраструктури і забезпечення потреби операторів мереж зв'язку надавати Інфокомунікаційні послуги на базі нових та інноваційних технологій, для розширення спектру послуг з виконанням нових функцій: «розумні» мережі та мережі «речей», необхідна нова інфокомунікаційна мережа, для забезпечення: швидкого, дешевого створення і впровадження нових послуг для збільшення абонентської бази, зменшення витрат на обслуговування мережі і підтримку користувачів; обробки лавинного об'єму трафіку; узагальненості глобальної мобільності користувачів і послуг нових поколінь [3].

Тому задачу щодо дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг вважаю не тільки науковою, але і практичною задачею.

Мета атестаційної роботи – дослідження технологій і проблем побудови сучасної телекомунікаційної мережі та методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг.

Для вирішення поставленої задачі в першому розділі роботи проведено аналіз перспектив розвитку нових поколінь інфокомунікацій. Розглянута історія розвитку інфокомунікацій. Встановлено: впровадження можливостей Інтернет-речей перетворило звичні для нас речі у нові пристрої, та надало їм нові функції, такі як: «розумний дім», смарт-годинники, розумні лампи, «Розумне місто», складові частини якої: медицина, комунальна система, транспорт, безпека.

Наведено прогноз Cisco стосовно технологічних інновацій, коли понад 99 відсотків фізичних об'єктів, досі не підключених до мережі, стануть частиною Всеохоплюючого Інтернету. Досліджено прогнози і задачі розвитку інфокомунікацій в світовому масштабі, а також для України для найближчого майбутнього. Дана характеристика мереж пост-NGN: FGN, FN і наномереж. Надані економічні складові, від яких залежить розвиток і впровадження ІКТ.

В другому розділі для розгортання мереж майбутнього використані існуючі мережі інфокомунікацій – NGN, для яких характерні: розв'язка між послугами і транспортуванням; технології мереж с комутацією каналів та пакетів, а також складові мережі, серед яких гнучкі комутатори Softswitch. Розглянуті особистості підсистем підтримки телекомунікаційних систем. В мережі майбутнього для об'єднання як мереж доступу, так і інфокомунікаційних послуг, розглянуто принцип конвергенції. Надана класифікація: інфокомунікаційних послуг та мереж доступу; розглянуті послуги: Triple Play, а також Quadruple Play і Multi Play. В підсумку надана чотирирівнева мережа управління конвергенцією послуг.

В третьому розділі розроблено математичну модель двох методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг: методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, і методу контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти. Завдяки формалізованому опису двох основних методів контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг при однакових вхідних параметрах можна спостерігати за розрахунками і отримати в підсумку різну продуктивність мультисервісного вузла доступу. Адекватність моделювання знайдено за допомогою детермінованої апроксимації, також наведено блок-схеми, діаграми та порівняльний аналіз, розроблено із застосуванням мови програмування Java програму, яка дозволяє в одному продукті виконувати розрахунки, строїти діаграми і візуалізовувати трафік, що скорочує помилки, зменшує похибки, зберігає ресурси і час. Проект виконано у програмному середовищі Eclipse.

Окремі положення представлені в студентських наукових роботах 2018 та 2019 років [4, 5], на конференції «Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірювальних технологій» ХНУРЕ 2019 та 2020 років [6, 7], на Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми електромагнітної сумісності безпроводових мереж зв'язку» 2019 і 2020 років [8, 9] та впроваджені в навчальний процес з дисципліни «Логістика в інфокомунікаційних системах».

1 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НОВИХ ПОКОЛІНЬ ІНФОКОМУНІКАЦІЙ

1.1 Історія виникнення інфокомунікацій

Інтернет-революцію слід віднести до початку 1990 років. Само слово «Інтернет» вперше було використано у роботах Уїнстона Серфа і Роберта Канна, а три ключові протоколи – TCP, UDP і IP – з'явилися наприкінці 1970 років [10]. Головна подія 1990 років – поява Web – всесвітньої павутини. Творець її, Тім Бернерс-Лі, у взаємодії із співавторами винайшов мову HTML, протокол HTTP, Web-сервер і браузер, що в підсумку забезпечило WWW-революцію, яка дала змогу привести IP в мільйони офісів та будинків по всьому світу та допомогти розробці та впровадженню тисяч нових IP-додатків. Важливішим із цих тисяч IP-додатків є IP-телефонія.

Відкриття VoIP (Voice over IP) як промислової технології належить ізраїльській компанії Vocal Tec, яка в 1995 році об'єднала досягнення в галузях цифрових сигнальних процесорів, кодеків, комп'ютерів і протоколів маршрутизації, що дало змогу реалізовувати розмови між абонентами у фактично будь-яких точках на планеті через Інтернет, не зважаючи на відстані між цими абонентами і тривалості розмови.

Термін "Мережа наступного покоління" NGN (Next Generation Networks), з'явився в технічній літературі на початку XXI століття. Ідея розробки NGN належить Європейському інституту стандартів електрозв'язку (European Telecommunications Standards, ETSI), який заявив про NGN в 2001 році.

Створення мереж NGN відображає еволюційний розвиток існуючих телекомунікаційних мереж за рахунок злиття мереж і технологій. До NGN в різні часи відносили як мережі IP телефонії H.323, так і мережі, які побудовані на протоколі SIP; покоління 3G мобільного зв'язку з технологією UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), і мережні архітектури з Soft switch та медіа шлюзами, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access); та мультимедійні IP-підсистеми IMS (IP Multimedia Subsystem) і такі мережні архітектури, як LTE/SAE (Long Term Evolution/Service Architecture Evolution).

Еволюція фіксованих мереж зв'язку загального користування стартувала на початку XX століття із ТМЗК (Телефонної мережі загального користування), яка

спроектована за принципом трьох трійок: 3 телефонні виклики в час найбільшого навантаження (ЧНН), 3 хвилини розмови та полоса 3 кГц: 0,3 – 3,4 кГц. У 1990 роки Інтернет зруйнував ці принципи встановленням за допомогою комутації з'єднань dial up завдяки Інтернет-модему. Швидкість перших модемів була 14,4 кбіт/с, пізніші моделі досягали швидкості 56 кбіт/с. Поява в 2003 році модемів з технологією асиметричної цифрової абонентської лінії ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) дозволила досягати швидкості передачі в декілька мегабітів за секунду. Далі виникли високошвидкісні фіксовані абонентські лінії, які основані на оптоволокну, і які по технології FTTx (Fiber To The x) підводилися безпосередньо в будинки до зовнішніх шаф розподільним обладнанням, а для останньої ділянки з'єднання використовувався короткий мідний кабель, в них досягалася швидкість 50 і 100 Мбіт/с на лінію. Мережі абонентського доступу пережили круті зміни на рубежі XX і XXI століть. Трьома трійками стали трафік мови, трафік даних і відеотрафік, а способами реалізації – металевий кабель, оптоволокно і радіоканал.

1.2 Послуги Інтернет речей

2000 роки – це період інтенсивного розвитку концепції NGN. Всепроникні сенсорні мережі USN (Ubiquitous Sensor Networks) входили в NGN як складова частина. В той час вважалося, що базу користувачів USN складуть сотні мільйонів сенсорних вузлів. Але стрімкий розвиток цієї технології, поява концепцій Інтернет речей IoT (Internet of Things) і Веб речей WoT (Web of Things) привели до підвищеної уваги до розвитку і перспектив сенсорних мереж.

Згідно прогнозам, в 2020 році число всіх безпроводових пристроїв буде дорівнювати 7 трильйонам на 7 мільярдів мешканців планети.

На рис. 1.1 наведені приклади USN.

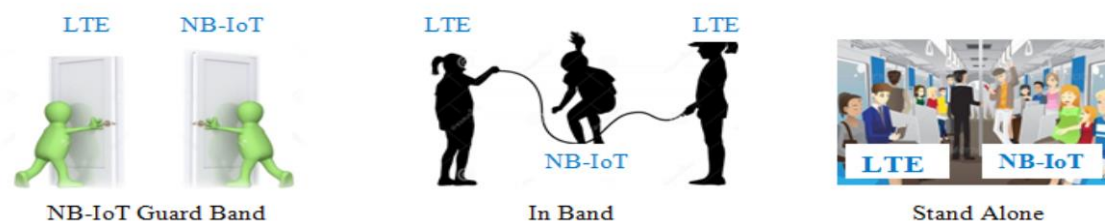


Рисунок 1.1 – Всепроникні сенсорні мережі USN

В 1990 році Джон Ромкі створив першу в світі інтернет-річ – підключений до мережі тостер, який він зміг вмикати і вимикати віддалено.

В 1999 році в Массачусетському технологічному інституті був створений Центр автоматичної ідентифікації, який займався сенсорними технологіями і координував роботу семи університетів на чотирьох континентах. В цьому центрі була розроблена архітектура Інтернет речей. Кевин Эштон (Auto-ID Center) на презентації для керівництва Procter & Gamble сформулював концепцію IoT.

Як вважає консалтинговий підрозділ американської корпорації Cisco IBSG (Internet Business Solutions Group), Інтернет речей — всього лише мить, коли кількість "речей", які підключені до Інтернету, перевищила кількість людей, які користуються "всесвітньою павутиною".

В 2003 році населення планети складалося із 6,3 млрд осіб, а к Інтернету було підключено 500 млн пристроїв. На кожного мешканця планети припадало по 0,08 такого пристрою. В 2010 році при стрімкому розповсюдженню смартфонів і планшетних комп'ютерів кількість підключених пристроїв збільшилася до 12,5 млрд, при цьому населення Землі складало 6,8 млрд осіб. Вперше в історії на кожного мешканця планети стало доводитися 1,84 підключеного пристрою. Дослідники Cisco IBSG зробили висновок, що Інтернет речей з'явився в між 2008 і 2009 роками. В цьому часовому інтервалі чисельність підключених до глобальної мережі пристроїв перевищила чисельність населення Землі і «інтернет людей» став «інтернетом речей».

На рис. 1.2 представимо ринок Інтернету речей.

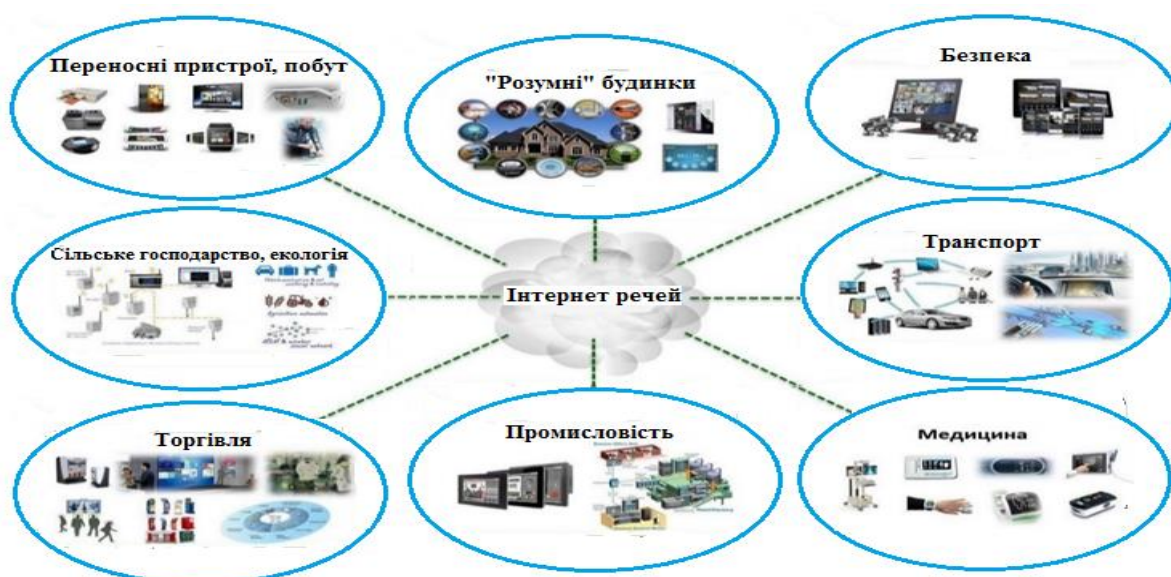


Рисунок 1.2 – Ринок Інтернету речей

Ринок «Інтернету речей» переживає період стрімкого зростання. За оцінками компанії Ericsson, в 2018 році кількість датчиків і пристроїв IoT перевищило кількість мобільних телефонів і IoT стало найбільшою категорією підключених пристроїв. Аналітики компанії прогнозують, що до 2021 року із 28 мільярдів підключених пристроїв по всьому світу близько 16 мільярдів будуть пов'язані із IoT. Впровадження можливостей Інтернет речей помітно трансформувало не лише особисті чи соціальні аспекти життя, але й вплинуло на більшість сфер бізнесу та економіки в цілому. За даними Ericsson Mobility Report, у світі 85 % компаній впроваджують технологічні рішення з використанням IoT, в пріоритеті — електроніка, транспорт, системи управління, логістика, фінанси та військова сфера. Інтернет речей має широкий спектр застосувань: від споживчих пристроїв для розумного будинку та сенсорів домашніх вихованців до індустриальних активів, таких як машини, роботи, нафтогазові комплекси або навіть працівники.

Виникнення «Інтелектуальних мереж», які оснащені промисловими контролерами, що може забезпечувати передачу даних і доступ в Інтернет, дозволило користувачам мережі моніторити свої потреби та використовувати різні джерела відновлюваної енергії і скорочувати її споживання [11].

За даними компанії Statista, більш 23,14 мільярда пристроїв підключені по всьому світу за допомогою технології IoT. Важливо й те, що рішення IoT будуть приносити дохід в 344 мільярди доларів у всьому світі при одночасному скороченні витрат до 177 мільярдів доларів.

Згідно з результатами дослідження, у 85% компаній є як мінімум один проект в області інтернету речей, а до 2021 року ця цифра виросте до 94%. При цьому 88% керівників цих проектів усвідомлюють переваги технології для успіху компанії і очікують 30% окупність інвестицій в дворічній перспективі.

Всім відомо, що більша частина мешканців планети живе у містах. Комплексні підходи, орієнтовані на виконання потреб не тільки нинішнього, але й майбутнього покоління, зумовили виникнення так званих «розумних міст». У вересні 2016 року Організацією Об'єднаних Націй у рамках Стратегії Стійкого Розвитку до 2030 року була затверджена задача трансформації міст у Розумні та Стійкі, і яка увійшла до сімнадцяти Цілей Стійкого Розвитку [1].

Розумне місто, яке зображено на рисунку 1.3 — це реальність сучасного світу, в якому технології проникають в усі сфери сучасності.



Рисунок 1.3 – Розумне місто

Ця концепція передбачає інтеграцію інформаційних та комунікаційних технологій, включно з IoT, з метою ефективного управління інфраструктурою міста, яка складається із: медицини, комунальної системи, транспорту, безпеки, і інше. Мета - підвищити якість життя та знизити витрати робочих процесів, використовуючи сучасні технології для задоволення потреб городян. В містах все частіше впроваджують інформаційні системи - вони забезпечують збір і передачу даних представникам управління, дозволяють налагодити зворотній зв'язок між городянами і адміністрацією. Джерелами для отримання цих даних використовуються різні інструменти збору даних: відеоспостереження, фотофіксація, єдина система екстреного виклику, біометрія, інтелектуальні транспортні системи, Інтернет речей. Концепція інтернету речей передбачає спосіб підключення машини до машини, що виключає участь людини, збір і аналіз даних для подальшого підвищення якості життя [12].

Для галузі охорони здоров'я: інтелектуальні рішення на основі IoT включають в себе віддалений моніторинг, інтелектуальні датчики і інтеграцію медичного пристрою в мобільний додаток IoT, який налаштовується і використовує спеціальні служби розробки мобільних додатків. Наука про життя і IoT додатки в охороні здоров'я, як очікується, виростуть до 1,335 тис. У 2020 році, склавши 17% CAGR згідно Google. За останні роки винайдено багато рішень в області охорони здоров'я на основі IoT, такі як розумні таблетки, розумний догляд вдома, управління персональним медичним обслуговуванням, мобільні рішення на основі IoT для здоров'я та фітнесу, інтелектуальне управління запасами, поліпшене керування доглядом за пацієнтами, безпечне і конфіденційне управління даними.

Дослідницька фірма Berg прогнозує, що до 2021 року за допомогою підключених пристроїв охорони здоров'я буде віддалено контролюватися 50,2 мільйона осіб проти 7,1 мільйона в 2016 році.

Комунальні підприємства на шляху до цифрової трансформації займають одне з лідируючих місць по використанню технології IoT. Провідне рішення - використання смарт лічильників, які є основою для побудови розумної мережі електропостачання майбутнього, дозволяючи домогтися нової операційної ефективності, нових можливостей обслуговування і нових потоків доходів.

Згідно зі звітом ABI Research, в 2018 році встановлено близько 617 мільйонів смарт лічильників, а до 2023 року ця цифра подвоїться, досягнувши 1,34 млрд. лічильників. Смарт лічильники електроенергії - це тільки перша хвиля технології, яка рухає ринковою трансформацією комунальних підприємств; друга хвиля - завдяки впровадженню інтелектуальних лічильників води і газу - тільки починається.

Автоматизація розумного будинку - це ще одне велике оновлення, в якому використовується технологія IoT. Концепція автоматизації розумного будинку призводить до того, що такі гіганти в області електротехніки, як Phillips і Cisco, впровадили «розумні вогні», які можна контролювати за допомогою мобільного додатку на базі Android або iOS. З появою таких інтелектуальних колонок, як Google Home, Amazon Echo Dot, що використовують розробку Amazon Alexa Skills, і Home Pod, що використовують технологію голосового помічника, домашня автоматизація вийшла на абсолютно новий рівень поліпшення якості життя [13].

Наступним кроком до здійснення мрії про розумне місто буде впровадження рішення під назвою «Розумне сусідство» [14].

Мета полягає в тому, щоб створити місце, де можна жити в безпечних і в самих гігієнічних умовах. Використовуючи інтелектуальні датчики, які будуть розпізнавати, записувати і передавати всі види діяльності, такі як пішохідні маршрути, спільне використання автомобілів, зайнятість будівель, потік стічних вод і вибір температури, щоб забезпечити підтримку найкращих можливих умов в околицях. Розумне сусідство - важлива концепція, щоб перетворити мрію під назвою «Розумне місто» в реальність.

Автомобіль - це індустрія, в якій IoT пропонує рішення вже кілька останніх років. Концепція автономних автомобілів, що працюють в певних

районах США, є результатом інтелектуальних датчиків IoT, які автоматизують весь процес водіння для пасажирів. Потенціал IoT для автомобілів тут не обмежується. З кожним днем з'являється більше прогнозів і можливостей.

Нові розробки призначених для користувача додатків IoT, які можуть працювати з апаратним забезпеченням для створення віддаленої діагностичної системи. Автомобілі будуть розмовляти з вами через мобільні додатки, доповідати про свій стан. Для моніторингу поведінки за кермом може бути дистанційне відстеження в реальному часі. Датчики можна використовувати для вимірювання рівня палива, тиску в шинах, кодів помилок.

Функції, такі як допомога на дорогах, розташування ресторанів, заправних станцій, лікарень і можуть бути відображені на мапі Google або Map Kit за допомогою інтеграції JavaScript API.

У 2025 році у всьому світі буде 3,1 млрд мобільних підключень пристроїв категорії Інтернет речей. Зобразимо ці підключення на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Підключення мобільних пристроїв категорії IoT

Інтернет речей — це система, що об'єднує реальні речі у віртуальну мережу. Завдяки чому ефективність роботи підвищується, а втручання людини майже не потрібне. Інтернет речей перетворює звичні для нас речі у нові пристрої, з'єднує далекі від Інтернету засоби з мережею та надає їм нові функції, наприклад: система "розумний дім", смарт-годинники, розумні лампи.

Нові Інтернет-технології в просуванні хмарних сервісів, Інтернету речей, використанні смартфонів і смарт-метрів, безпроводових сенсорних мереж з RFID-

чіпами, і більш придатним зв'язком, заснованим на семантичній мережі, відкривають нові способи спільних: дій і спільного вирішення виникаючих проблем. Онлайн-платформи для спільної роботи з управління даними датчиків - це сервіси з онлайн-базами, які дозволяють власникам датчиків реєструвати і підключати свої пристрої для подачі даних в базу в режимі онлайн для зберігання і які дозволяють розробникам підключатися до бази даних і створювати власні додатки, засновані на цих даних. Електронні карти, які відомі як смарт-карти, є ще однією поширеною громадською платформою в контексті розумного міста. Ці карти мають унікальний зашифрований ідентифікатор, який дозволяє власникові увійти на сайти наданих урядом послуг (або електронних послуг) без створення облікових записів. Єдиний ідентифікатор дозволяє уряду обробляти дані про громадян і їхні вподобання, для поліпшення надання послуг.

1.3 Перспективи розвитку послуг інфокомунікацій нових поколінь

Згідно прогнозам Cisco VNI (Cisco Visual Networking Index Complete Forecast.), глобальна цифрова трансформація в період з 2016 до 2021 роки як і раніше впливає і буде істотно впливати на запити та потреби послуг IP-мереж. На що вказують: зростання кількості Інтернет-користувачів: з 3,3 до 4,6 мільярдів, тобто 58% світового населення, прискорене збільшення кількості персональних пристроїв та міжмашинних з'єднань, збільшення середньої швидкості широкополосного доступу і приріст відео трафіку.

Світовий об'єм IP-трафіка досягне 278 ексабайт за місяць, а в 2016 році аналогічний показник склав 96 ексабайт за прогнозний період. Річний об'єм IP-трафіку зросте втричі: з 1,2 зетабайт в 2016 році до 3,3 зетабайт в 2021 році. На частину міжмашинних з'єднань з підтримкою додатків IoT, до 2021 року припаде більше половини від загального числа всіх пристроїв і з'єднань: 27,1 мільярдів - 5% глобального IP-трафіку. Основними факторами такого зростання: з 5,8 до 13,7 мільярдів, тобто в 2,4 рази, стали IoT-інновації, які стосуються підключення будинків, підключення охорони здоров'я, «розумних» автомобілів і транспорту, а також ряд інших сервісів міжмашинного зв'язку наступного покоління. Середньорічний приріст 30% в охороні здоров'я, на другому місці за темпами зростання — додатки для підключених автомобілів і підключених міст: 29% [15].

За часткою в загальному потоці IP-трафіку і за загальному приросту інтернет-трафіку як і раніше буде домінувати відео: 80% всього інтернет-трафіку до 2021 року, в 2019 році - 67%. У 2019 році у всьому світі було 1,4 мільярда користувачів інтернет-відео, не рахуючи тих, які користуються виключно мобільним зв'язком, у 2021 році таких стане 1,9 млрд. До 2021 через світовий інтернет за місяць буде передаватися 3 трлн хвилин відео. Об'єм таких нових сервісів, як пряма відео трансляція, зросте в 15 разів, їх частка у загальному обсязі відео трафіку в Інтернеті до 2021 року досягне 13%. Вони будуть складатися із поточкових ТВ-додатків і прямих трансляцій користувачів соціальних мереж. Формувати розважальний контент буде як пряме потокове мовлення, так і сервіси віртуальної (virtual reality, VR) та додаткової реальності (augmented reality, AR), трафік VR/AR зросте в 20 разів і складе 1% світового розважального трафіку.

Наведемо ключові світові прогнози до 2022 року. Число пристроїв і IoT-підключень, які готові до роботи в мобільних мережах, перевищить 12 млрд. Мобільні мережі будуть підтримувати більш 8 млрд персональних мобільних пристроїв і 4 млрд IoT-з'єднань. Швидкість передачі в мобільних мережах виросте до 28,5 Мбіт /с. На частку мобільного трафіку припадатиме майже 20% світового IP-трафіку при річному обсязі 930 ексабайт.

За даними Visual Networking Index від Cisco, близько 79% світового мобільного трафіку до 2022 року припадатиме на відео, бо у мобільного відеоконтенту набагато більший обсяг, ніж у інших типів контенту. За оцінками Cisco, з 2017 до 2022 року мобільне відео буде зростати з сукупним річним темпом росту (CAGR) в 55%, що вище CAGR в 46% сукупного середнього мобільного трафіку. З 77 ексабайт на місяць, які будуть проходити через мобільні мережі до 2022 року, майже 61 ексабайт припадатиме на відео. «Використання відео відбувається у вечірні години і має «прайм-тайм», на відміну від загального використання інтернету, яке відбувається протягом дня. В результаті, більше використання відео означає більше трафіку в години пік». Щодо можливостей підключення, з'єднання 4G до 2022 року становитимуть 54% від загальної кількості мобільних з'єднань і 71% від загального обсягу мобільного трафіку. Для порівняння, до 2022 року очікується, що на 5G припадатиме 3,4% з'єднань і 11,8% трафіку, а 5G імовірно генерує в 2,6 рази більше трафіку, ніж середнє з'єднання 4G. Згідно з прогнозам, у Великобританії до 2022 року 28,6% всього мобільного трафіку даних буде працювати на 5G - друге місце після США за концентрацією 5G і вище, ніж в Китаї, Франції та Німеччині.

На рисунку 1.5 зображено графік зростання відносного обсягу відео у загальному мобільному трафіку.



Рисунок 1.5 – Прогноз Cisco відносно мобільного відео на 2017-2022

Згідно з прогнозами Cisco, Інтернет буде так еволюціонувати, що зможе підтримувати миттєві комунікації незалежно від відстані і у 2020 році в Інтернеті буде працювати більше пристроїв, ніж людей. Кожен електронний пристрій матиме універсальний додаток для перекладу з інших мов. З впровадженням протоколу IPv 6 в Інтернеті з'явиться така кількість електронних адрес, що кожній з відомих зірок у Всесвіті можна буде забезпечити 4,8 трильйонів адрес [16].

Cisco будує свій бізнес, як прогнозування майбутнього стосовно до технологічних інновацій. Такий підхід буде ще актуальнішим, коли 99 відсотків об'єктів, досі не підключених до мережі, стануть частиною Всеохоплюючого Інтернету (Internet of Everything, IoE). Головний футуролог Cisco Дейв Еванс, і генеральний менеджер групи з розробки нових технологій Cisco Гідо Журе вирішили поділитися своїм баченням найближчого і віддаленого майбутнього.

Люди будуть жити до 300 років, бо медицина стає все більш "підключеною", здатною забезпечити безперервний цілодобовий моніторинг стану здоров'я, що набагато ефективніше періодичних візитів до лікаря, і що в кінцевому результаті може помітно збільшити середню тривалість життя. Дзеркало у ванній, за словами Еванса, зможе сканувати тіло людини і вимірювати розширення зіниць, пульс, артеріальний тиск та інші показники. Таблетки будуть випускатися з радіочастотними мітками RFID, для стеження за виконанням розпоряджень лікаря. Медичні пристрої такі як серцеві стимулятори, стануть інтелектуальними і зможуть передавати лікарям інформацію в реальному часі.

Роздрібні компанії отримають всебічні дані про своїх покупців. На думку Гідо Журе, закон Мура можливо застосувати і до відеотехнології. При зростанні роздільної здатності систем відеоспостереження, роздрібні торгові компанії почнуть використовувати відео: для збору точної інформації про покупців, таких як вік, стать, а також спостерігати за типовою поведінкою покупців в магазині, оцінювати ефективність розкладання продуктів і час, що проводиться покупцями в тій чи іншій секції торгового залу. Всі дані будуть доступні в реальному часі, що дозволить оперативно змінювати роботу магазину - наприклад, при напливі покупців швидко збільшити число працюючих касирів. Крім того, можна буде швидко визначати, які секції і які товари приваблюють більше покупців.

До 2030 року роботів на нашій планеті буде більше, ніж людей. Ці роботи будуть створені двох типів: фізичні роботи-гуманоїди і віртуальні аватари. Роботи будуть співіснувати з людьми, виконуючи всілякі види робіт. Вони позбавлять людей від небезпечних і рутинних занять, і в результаті людська діяльність стане більш безпечною і творчою. Бурхливе вторгнення Інтернету в наше життя породило безліч професій, про які ми раніше і не думали: блогер, дизайнер довідкових механізмів для онлайн-шопінгу. В недалекому майбутньому найпопулярніші професії будуть пов'язані з біотехнологіями, з дослідженнями космічного простору. Роботи замінять нас в тій чи іншій мірі, але людство і надалі буде придумувати щось нове.

Тривимірний друк радикально змінить багато галузей. Якщо сьогодні тривимірні принтери використовують лише близько 70 первинних матеріалів, то в подальшому кількість таких матеріалів і частота їх використання будуть невпинно зростати. Багато товарів, які купують нині через Інтернет, не потрібно буде доставляти за допомогою транспортних засобів: їх можна буде роздруковувати у себе вдома або в найближчій точці обслуговування. Крім того, можна буде адаптувати фізичні об'єкти для створювання їх унікальних версій на свій смак. І настане день, коли люди будуть роздруковувати органи людського тіла, що ще більше збільшить середню тривалість життя [17].

При наближенні глобального мобільного трафіку до епохи Зета байтів, 5G і Wi-Fi будуть співіснувати як необхідні і додаткові технології доступу, пропонуючи клієнтам і провайдерам переваги в розширенні їх архітектури.

Технології для реалізації згаданих рішень, існують і широко застосовуються, отже, втілення в життя їхніх прогнозів - лише питання часу.

1.4 Послуги мереж пост NGN— FGN

Аналіз теоретичних досліджень в області складних систем і мережевих структур дозволяє зробити припущення про деякі особливості мереж майбутнього. Є підстави вважати, що це будуть багатовимірні мережі.

Багатовимірність є способом об'єднання розрізнених сутностей в єдине ціле і багатовимірні мережі майбутнього не обов'язково повинні мати чітко виражений розподіл на мережі транспорту, доступу і мережі підтримки та сервісу. Тому в інфокомунікаційних мережах майбутнього — в мережах Future Generation Network (FGN) стане можливим за рахунок використання багатовимірної структури мережі і багатоядерних обчислювальних засобів в її вузлах забезпечувати обмін інформацією та надавати різноманітні послуги споживачам за примітивною, на перший погляд, схемою. Доступ, транспорт, сервіс, підтримка — внутрішня справа інтегрованої мережі FGN, багатовимірна архітектура якої дозволяє спільно вирішувати задачі, які покладені на складові мережі, неординарними способами, що відповідають рівню винаходів.

В мережі FGN наряду із загальними ресурсами можна використовувати і ресурси обчислювальних засобів по винайденим і стандартизованим правилам. Використання в мережах багатоядерних обчислювальних засобів з пам'яттю, яка подібна багатовимірній пам'яті суперкомп'ютерів, буде сприяти розробці і реалізації принципів побудови багатовимірної мережі. Перехід до багатовимірних мереж з максимальним використанням наявних у них ресурсів є головним показником відмінності мереж FGN від сучасних мереж.

Мережа FGN - це багатовимірна і багаторівнева мережа, в яку інтегровані транспортна мережа, мережа синхронізації, мережа сигналізації і інші мережі підтримки транспорту і доступу, а також сервісні мережі для спільного, якісного та безпечного надання найрізноманітніших послуг користувачам [18].

1.5 Послуги мереж FN

У зв'язку з серйозними змінами на ринку телекомунікацій, появою нових послуг і нових мереж: «Інтернет речей», «розумні» мережі, мережі «хмарних обчислень», МСЕ-Т розробив рекомендацію Y.3001, яка була прийнята в травні 2011 року. Рекомендація регламентує розвиток глобальної інформаційної

інфраструктури, яка об'єднує вже існуючі інформаційно-комунікаційні мережі з врахуванням компонентів, які тільки плануються до впровадження; з використанням Інтернет протоколів (IP) на базі мереж наступного покоління NGN. В результаті обговорень визначена не тільки назва майбутніх телекомунікаційних мереж пост NGN: FN замість уже згаданої FGN, але також вироблена концепція створення цих мереж. Глобальна інформаційна інфраструктура об'єднує три галузі промисловості: інформаційні технології, індустрії розваг і електрозв'язок. Єдиний центр управління глобальною інформаційною інфраструктурою повинен забезпечити надання повного спектру телекомунікаційних послуг в будь-якому географічному місці, гарантованої якості. Таким чином, розгортання мережі майбутнього, як основи для побудови глобальної інформаційної інфраструктури це питання часу. Перевага зазначеної мережі буде полягати в оптимізації мультисервісної телекомунікаційної мережі, в зменшенні експлуатаційних витрат, а для кінцевих споживачів в збільшенні кількості і якості інформаційно-комунікаційних послуг. Реалізація мережі майбутнього забезпечить користувачам вільний доступ до інформаційно-комунікаційних ресурсів та інтелектуального надбання людства в будь-якому географічному місці, гарантованої якості, прийнятної вартості, в будь-який час на базі нових та інноваційних технологій.» [3].

Вимога до FN в забезпеченні повного спектра інфокомунікаційних послуг обумовлено появою затребуваності цілком різнорідних послуг з різко відмінними характеристиками: трафік – незначний і дуже високий; допустима затримка – мінімальна: одиниці й десятки мілісекунд і порівняно велика: сотні мілісекунд; спектр термінальних пристроїв: широкий, від телекомунікаційних об'єктів до побутових пристроїв: «Інтернет речей»; послуги телекомунікаційних мереж і сенсорних мереж; послуги високого класу з якості, наприклад, відео конференції з високою реалістичністю відчуттів і прості послуги: електронна пошта. На вимогу функціональної гнучкості добре відповідатимуть самоорганізовані мережи, в яких вузли будуть змінювати свої функції залежно від ситуації на мережі: міняти свою пропускну здатність, перетворюватися з транзитних вузлів у кінцеві і навпаки. Можливість віртуалізації ресурсів має вирішальне значення при організації послуг «хмарних обчислень».

Чітке централізоване управління мережею при використанні нових методів управління є необхідною умовою її надійної роботи при різких змінах ситуації,

пульсації трафіку, надзвичайних ситуаціях. Забезпечення мобільності та надійності в нових умовах стикаються із великими труднощами, пов'язаними зі змінами характеристики послуг, зростанням їх кількості, виконанням мережами нових функцій. Абсолютно новими є завдання щодо зменшення споживання енергетичних ресурсів: екологічний чинник, та їх оптимізація.

Мережі FN, які умовно прив'язані до 2015-2020 років, будуть удосконалюватися і на зміну їм прийдуть «мережі наступних поколінь», з принциповими відмінностями від FN [19].

1.6 Послуги наномереж — мереж майбутнього

Число безпроводових пристроїв у 2020 році перевищить 7 трильйонів, кожен з них використовує для передачі інформації радіочастотний спектр, у якого обмежений ресурс. Принципове змінення клієнтської бази змусило світове телекомунікаційне співтовариство переглянути основи побудови мереж зв'язку з урахуванням істотного переважання в цій базі мереж майбутнього різноманітних пристроїв, біомас, конструкцій та інше. Виникла необхідність розробки мереж для біороботів, де передача інформації може здійснюватися за допомогою переміщення мікрочастинок речовини, які отримали назву наномереж. Ця мережа являє собою самоорганізовану мережу, де в якості вузлів мережі використовуються наномашини, а інформація і сигналізація можуть передаватися шляхом переміщення мікрочастинок речовини.

Наномашина - пристрій, що складається з компонентів нанорівню, здатний виконувати на цьому рівні специфічні завдання, такі як передача даних, обчислення, збереження даних, вимірювання (сенсори) або впливу (актуатори). Приклад наномашини - клітина, яка в своїй структурі повторює мікроробот [10].

Мережі FGN, FN, наномережі є продовженням еволюційного розвитку телекомунікаційних мережі і створюються для вирішення проблем, які залишилися в мережах NGN, основними з яких є: розширення спектру послуг, що надаються з виконанням нових функцій: «Інтернету речей», «розумних» мереж, мережі «хмарних обчислень»; підвищення надійності та безпеки, оптимізація використання мережевих ресурсів, мінімізація енергоспоживання та впливу на навколишнє середовище, надання загальнодоступних послуг.

Після мереж пост-NGN обов'язково підуть мережі майбутнього, більш досконалі і з принциповими відмінностями від існуючих мереж наприклад, у базових технологіях.

1.7 Економічні складові перспектив розвитку ІКТ і наші реалії

Високі технології продовжують перетворювати наше суспільство. Всі країни світу прагнуть удосконалювати галузь інфокомунікаційних технологій, тому що досягнення і успіхи в області ІКТ оцінюють рівень розвитку країни в цілому. Останнім часом в наше життя стрімко впроваджуються все нові і нові продукти ІКТ: спостерігається різке поліпшення доступу до мобільного телефонного зв'язку, Інтернету і широкосмуговим каналам у всіх країнах світу, що сприяє усуненню бар'єрів створення глобального інформаційного суспільства.

Область ІКТ потребує постійного прогресу, бо якщо ми не будемо створювати всі нові, більш досконалі продукти, все новинки незабаром стануть буденністю. Телекомунікації та інформаційні технології в усьому світі схильні до безперервних, стрімких, кардинальних змін. Щомиті в усіх країнах в науково-дослідних центрах, за стінами корпорацій світових гігантів ведуться маркетингові війни за оригінальну ідею, проривне рішення, нову пропозицію. Галузь комунікацій і нових технологій, проникаючи в усі сфери повсякденної діяльності людини, є однією з найбільш значущих за ступенем впливу на наше приватне життя, соціальну сферу, економіку, і статус країни в світовому співтоваристві.

Розвиток ІКТ безпосередньо залежить від стану економічного розвитку промисловості країни, інвестицій в галузь, фінансування з боку держави, достатньої платоспроможності населення для оплати послуг, а також грамотності населення для розробки нових проектів.

Міжнародні дослідження довели, що існує тісний зв'язок між розвитком ІКТ та економічним добробутом. Посилена увага до розвитку технологій високошвидкісного зв'язку і інтернет-доступу є стимулом для розвитку ІКТ-проектів, що створює сприятливе середовище для розвитку національної економіки, а також сприяє прискоренню технологічного прогресу країни в цілому. Більш того, країни, що розвиваються з більш розвиненою телекомунікаційною інфраструктурою привертають більше іноземних інвестицій. Однак, для того, щоб удосконалення доступу до ІКТ дійсно приносило бажані вигоди, пропонувані

пристрої та послуги повинні відповідати реальним потребам і можливостям користувачів, тобто відповідати їх платоспроможності [20].

Для сприяння технологічному прогресу і структурним перетворенням необхідне нарощування вітчизняного потенціалу для участі індивідам, фірмам і організаціям в процесах навчання в нових галузях, де в нашій країні для такого навчання існують широкі можливості. Одна з найперспективніших галузей - виробництво програмного забезпечення. В якості універсальної технології програмне забезпечення широко застосовано як в економіці, так і в суспільстві в цілому і має відносно низький бар'єр для виходу на ринок, пов'язаний з капіталом.

Нажаль, як би стрімко не розвивалися інформаційно-комунікаційні технології у всьому світі, наші перспективи щодо розвитку і впровадження ІКТ безпосередньо залежать від фінансування, якого недостатньо, і в нашій країні яке вирішується на місцевому рівні.

Указ президента Володимира Зеленського "Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року" декларує перелік цілей, які раніше, в своєму документі, прийняла ООН. Підтримуючи резолюції Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 № 70/1 г проголошені глобальні цілі сталого розвитку до 2030 року та результати їх адаптації з урахуванням специфіки розвитку України, і які в Національній доповіді "Цілі сталого розвитку України" на період до 2030 року [2].

Згідно перспектив розвитку ІТК, у Києві засновано ініціативу Kyiv Smart City, метою якої є створення сприятливих умов для еволюції міста. У концепції Kyiv Smart закладені основні принципи інфраструктурного, технологічного і соціального розвитку міста, а також визначено напрями трансформації міського простору.

На підтримку цілей сталого розвитку і впровадження технологій розумних речей і розумних мереж у минулому році згідно указу мера у Харкові розпочато програму «розумне місто». Нові рішення на основі ІКТ увійдуть у наше повсякденне життя і ми на своїй реальності оцінімо їхній вплив.

Мобільні оператори України в реальному часі згідно поставлених цілей сталого розвитку України змінюють повсякденне життя харків'ян.

Оператор мобільного зв'язку Vodafone Україна запустив в комерційну експлуатацію мережу для Інтернету речей NB-IoT (Narrow Band Internet of Things). Розгортання технології NB-IoT виконується на базі мережі LTE, яка

дозволяє здійснювати шифрування і аутентифікацію на базі SIM-карти. Пристрої, підключені до NB-IoT мережі, можуть спілкуватися між собою на виділеній частоті 1800 МГц. Особливістю стандарту є висока проникаюча здатність сигналу, що дає можливість отримання доступу до мережі навіть у важкодоступних місцях. Ще однією особливістю NB-IoT мережі Vodafone стала підтримка режимів збереження енергії в Power Saving Mode, DRX, e DRX. Такі режими забезпечують мінімально можливе споживання енергії і максимальний термін роботи пристроїв – до 10 років, що критично важливо для пристроїв, які працюють від батарейки. IoT – один із пріоритетних напрямків для Vodafone, розвиток якого в Україні став можливим із запуском 4G в липні 2018 року [21].

Після успішного тестування у 2019 році Київстар розгорнув технологію NB-IoT – мережу для «розумних» пристроїв – у Харківській, Дніпропетровській і Львівській областях. Якість роботи мережі було перевірено з використанням обладнання на чотирьох промислових і муніципальних підприємствах, а також за участю підприємств ЖКГ, постачальників тепла і водних ресурсів, IT-розробників обладнання для «Інтернету речей». Ключовим учасником в ланцюзі тестування є «розумний» лічильник, який здійснює моніторинг якості електричної та тепломережі і постачання води й газу. Тестування з використанням інтелектуальних лічильників дозволяє перевірити повний цикл роботи мережі NB-IoT, оперативно виявити дефекти й ліквідувати помилки [22].

В період всеохоплюючої глобалізації, коли Інтернет речей став найбільшою категорією підключених пристроїв, об'єднав реальні речі у віртуальну мережу і перетворив звичні речі у нові пристрої; при виникненні потреби у мережі майбутнього для забезпечення вільного доступу до інфокомунікаційних ресурсів та інтелектуального надбання людства в будь-якому географічному місці, в будь-який час на базі нових та інноваційних технологій, завдяки ретельному аналізу прогнозів Cisco про лідерство у розвитку глобальних інфраструктур інтернет речей та розумних мереж, які незабаром стануть частиною Всеохоплюючого Інтернету, очевидно, що саме в прогресі інфокомунікаційних технологій, які в усьому світі схильні до безперервних, стрімких, кардинальних змін і виступають одним з найбільш значущих факторів за ступенем впливу на наше приватне життя, соціальну сферу, економіку, і статус країни в світовому співтоваристві, заключено найбільший потенціал для соціально-економічного розвитку всіх держав світу.

2 УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ

2.1 Особливості побудови мереж NGN

Однією з основних характеристик NGN є розв'язка між послугами і транспортуванням, що дозволяє пропонувати їх окремо і розвивати незалежно, тому в архітектурі NGN має бути чітке розділення між функціями обслуговування і функціями транспортування [23]. Таким чином, у базовій функціональній моделі NGN виділяють два шари: транспортний і сервісний. Приклад послуг, що забезпечується мережею NGN у контенті Triple Play на рис. 2.1.

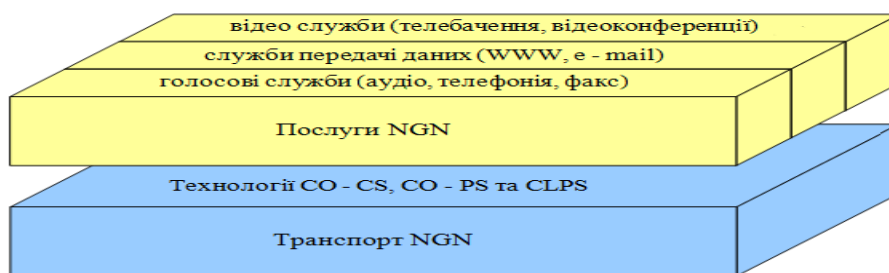


Рисунок 2.1 – Розділення послуг і транспорту в NGN

Транспортний шар забезпечує: перенесення інформації між двома географічно розділеними точками; обмін інформацією між об'єктами: користувач – користувач, користувач - сервісна платформа, сервісна платформа - сервісна платформа. В транспортному шарі можуть застосовуватися усі типи мережних технологій, а саме: орієнтована на з'єднання комутація каналів (connection - oriented circuit - switched - CO - CS), орієнтована на з'єднання комутація пакетів (connection - oriented packet - switched - CO - PS), неорієнтована на з'єднання комутація пакетів (connectionless packet - switched - CLPS). Проте для побудови NGN перевага віддається технології IP з підтримкою якості обслуговування.

Сервісний шар може включати набір географічно розподілених сервісних платформ або, набір функцій, реалізований двома кінцевими користувачами. Для надання повного набору послуг в сервісний шар включаються прикладні функції. Прикладами служб, що реалізуються на цьому рівні, можуть бути передача мови, даних, відео або будь-яка їх комбінація.

Як видно з рис 2.2, кожен шар містить один або декілька рівнів, які складається з трьох площин: із площини користувача, площини контролю, площини менеджменту.



Рисунок 2.2 – Структура рівнів сервісу та транспорту

Загальна модель функціонування NGN мережі представлена на рис. 2.3.

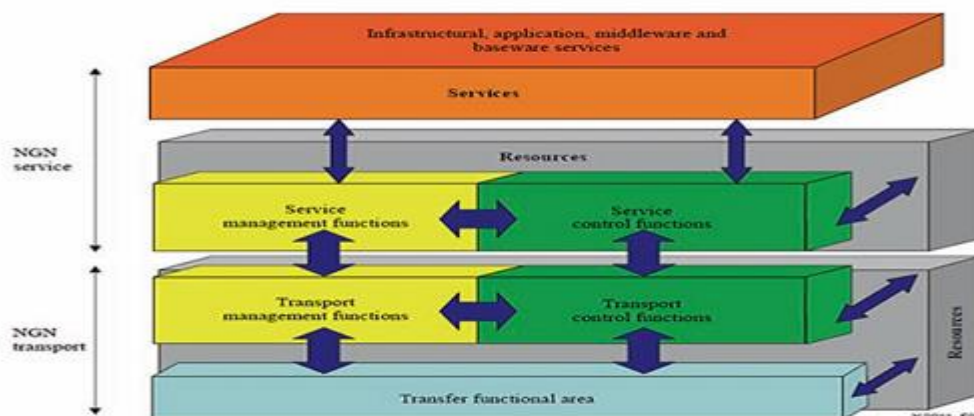


Рисунок 2.3 – Загальна модель функціонування мережі NGN

Архітектура мережі NGN, яка представлена на рис. 2.4, складається із IP-ядра та декількох мереж доступу, які використовують різні технології. Основу мережі NGN складає універсальна транспортна мережа, що реалізовує функції транспортного рівня і рівня управління комутацією і передачею.

До складу транспортної мережі NGN можуть входити [23]: транзитні вузли, що виконують функції перенесення і комутації; крайові (граничні) вузли, що забезпечують доступ абонентів до мультисервісної мережі; контролери сигналізації, що виконують функції обробки інформації сигналізації, управління викликами і з'єднаннями; шлюзи, що дозволяють здійснити підключення традиційних мереж зв'язку (Інтернет, PSTN, PLMN). ATM IP MPLS

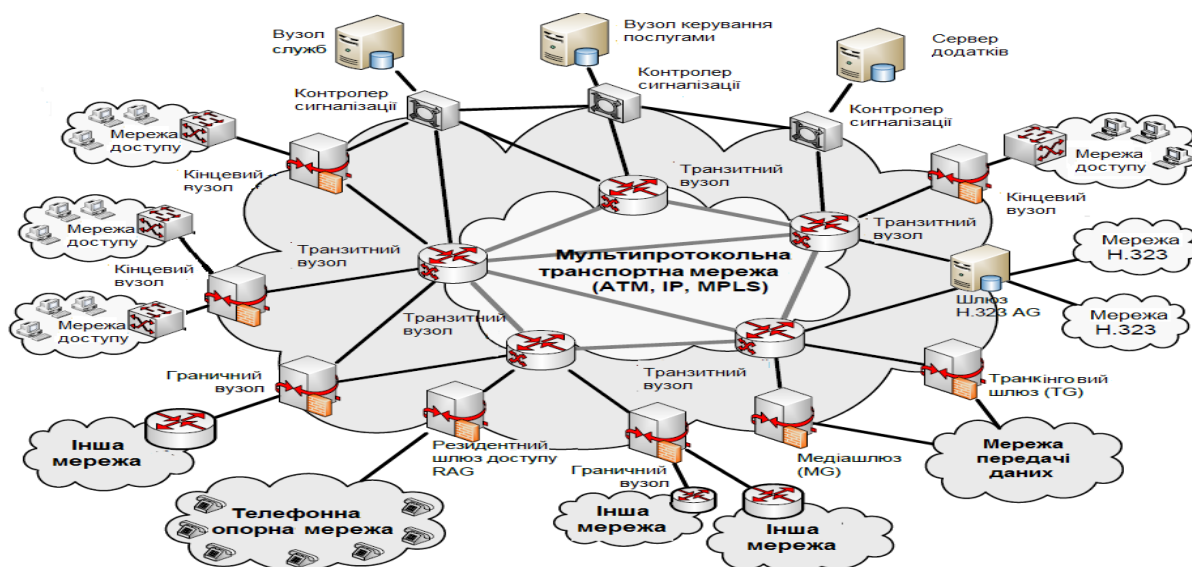


Рисунок 2.4 – Архітектура мережі зв'язку NGN

Контролери сигналізації можуть бути винесені в окремі пристрої, призначені для обслуговування декількох вузлів комутації. Використання загальних контролерів дозволяє розглядати їх як єдину систему комутації, розподілену по мережі. Таке рішення спрощує алгоритми встановлення з'єднань, але і є найбільш економічним для операторів і постачальників послуг, оскільки дозволяє замінити дорогі системи комутації великої місткості невеликими, гнучкими і доступними за вартістю навіть дрібним постачальникам послуг. Призначенням транспортної мережі є надання послуг перенесення. Реалізація інфокомунікаційних послуг здійснюється на базі вузлів служб (SN) або вузлів управління послугами (SCP).

SN є обладнанням постачальників послуг і може розглядатися в якості сервера застосувань для інфокомунікаційних послуг, клієнтська частина яких реалізується крайовим устаткуванням користувача. SCP є елементом розподіленої платформи ICC і виконує функції управління логікою і атрибутами послуг. Сукупність декількох вузлів служб або вузлів управління послугами, задіяних для надання однієї і тієї ж послуги, утворюють платформу управління послугами. До складу платформи також можуть входити вузли адміністративного управління послугами і сервери різних застосувань. Крайові, крайово-транзитні вузли транспортної мережі можуть виконувати функції вузлів служб, тобто склад функцій граничних вузлів може бути розширений за рахунок додавання функцій надання послуг. Для побудови таких вузлів може використовуватися технологія гнучкої комутації.

2.2 Технології мереж з комутацією каналів та пакетів

Інфокомунікаційні системи та мережи за видами комутації поділяють на мережи з комутацією каналів та мережи з комутацією пакетів.

В мережах з комутацією каналів між двома вузлами мережі необхідно встановлення з'єднання — каналу, дійсного лише для цих вузлів, до початку обміну інформацією. Після завершення обміну з'єднання має бути розірване [24].

В мережах з комутацією пакетів всі передані дані розбиті передавальним вузлом на пакети і передаються по віртуальному каналу передачі даних, який зайнятий тільки під час передачі пакету без порушення її цілісності і по її завершенні звільняється для передачі інших пакетів. Кожний пакет оснащується заголовком із адресом вузла-одержувача й номером пакету. Передача пакетів по мережі відбувається незалежно один від одного. Комутатори такої мережі мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів, що дозволяє згладжувати пульсації трафіка на лініях зв'язку між комутаторами.

У мережах з комутацією пакетів два режими роботи: режим віртуальних каналів або зв'язок з встановленням з'єднання і дейтаграмний режим — зв'язок без встановлення з'єднання. В режимі віртуальних каналів пакети одного повідомлення передаються в природному порядку за встановленим маршрутом. При цьому лінії зв'язку можуть поділятися багатьма повідомленнями, коли поперемінно по каналу передаються пакети різних повідомлень — це режим мультиплексування, чи затримуватися в проміжних буферах. Контроль правильності передачі даних здійснюється шляхом надсилання позитивної квитанції. При виявленні помилки потрібна повторна передача, яка починається із помилкового пакету. Відправник не передає наступний пакет, доки не отримує підтвердження правильності передачі попереднього пакету. Цей контроль можливий як у всіх проміжних вузлах маршруту, так і тільки в кінцевому. В дейтаграмному режимі дейтаграми одного і того ж повідомлення можуть передаватися в мережі за різними маршрутами. На внутрішніх ділянках маршруту контроль правильності передачі не передбачений і надійність зв'язку забезпечується лише контролем на крайовому вузлу.

Мережа з комутацією пакетів сповільнює процес взаємодії кожної пари вузлів, бо їхні пакети можуть очікувати в комутаторах, поки передаються інші. Однак обсяг переданих даних в одиницю часу при комутації пакетів вище, ніж

при комутації каналів, бо трафік кожного окремого абонента носить пульсуючий характер, а пульсації різних абонентів, по закону великих чисел, розподіляються в часі, збільшуючи рівномірність навантаження на мережу. Вона найбільш ефективна, бо прискорюється передача даних у мережах складної конфігурації за рахунок паралельної передачі пакетів одного повідомлення на різних ділянках мережі і при появі помилки повторно передається тільки короткий пакет [25].

NGN –це мережа з пакетною комутацією, здатна забезпечити користувачів різноманітними послугами, включаючи послуги телефонного зв'язку.

2.3 Підсистеми підтримки ТКС

Підсистеми підтримки телекомунікаційних систем (ТКС): система сигналізації, система синхронізації, система управління, система електроживлення.

Система сигналізації організована для забезпечення управління процесами в транспортній мережі, а саме: надання мережного ресурсу для передачі інформації, організація сеансу зв'язку, встановлення й розрив з'єднання, моніторинг стану мережі. Сигналізація в мережах зв'язку — це сукупність сигналів, які передаються між елементами мережі для забезпечення встановлення і припинення з'єднань при обслуговуванні викликів, а також для передачі різної службової інформації. Зобразимо склад системи сигналізації на рисунку 2.5 [26].

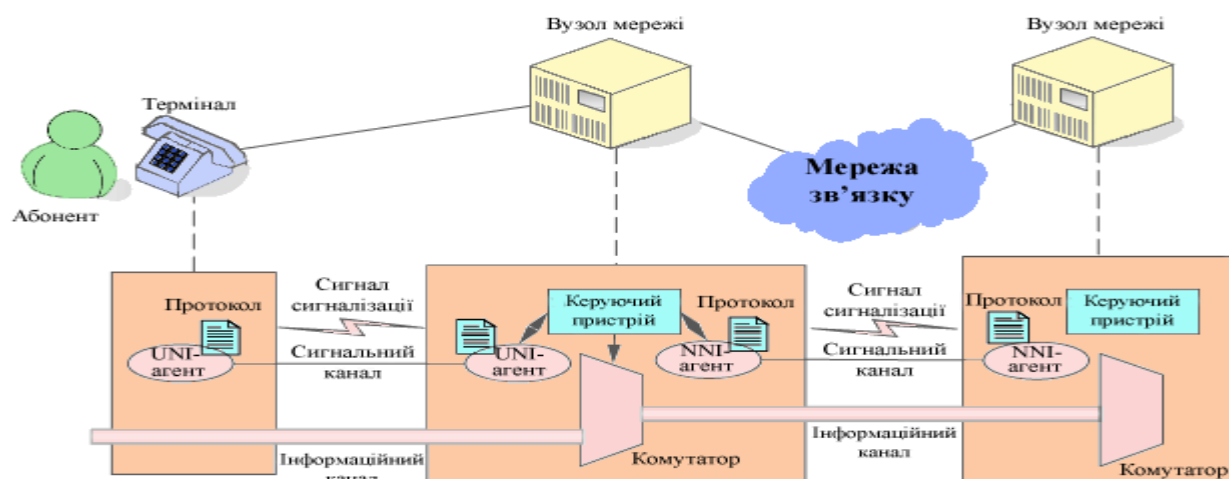


Рисунок 2.5 – Склад системи сигналізації: UNI і NNI

UNI — User-Network Interface (Інтерфейс користувач — мережа).

NNI — Network-Network Interface (Інтерфейс мережа — мережа).

До складу системи сигналізації входять: протоколи сигналізації, що описують правила організації обміну інформації управління; агенти протоколів сигналізації; система адресації вузлів та елементів систем сигналізації; сукупність сигналів сигналізації; сигнальні канали зв'язку. Агенти систем сигналізації забезпечують організацію взаємодії вузлів мережі в процесі обслуговування з'єднання з метою обміну керуючою інформацією й іншою службовою інформацією і розташовані у вузлах мережі. Система адресації забезпечує унікальну ідентифікацію елементів систем сигналізації, які беруть участь у процесі обміну сигнальною інформацією. Сукупність сигналів сигналізації забезпечує незалежну передачу сигнальних повідомлень мережею зв'язку і є погодженою з каналами передачі. Сигнальні канали існують для передачі сигналів сигналізації. Для забезпечення неспотвореної передачі абонентської інформації сигнали сигналізації передаються з використанням часового: у моменти, коли відсутнє корисне навантаження: з початку сеансу зв'язку, після завершення сеансу передачі інформації; частотного: використання невикористованих для передачі корисного навантаження частот у межах частотного діапазону каналу і просторового: використовуються виділені сигнальні канали, поділ каналів.

Система синхронізації - складна багаторівнева система. Інформація користувача розділена на пакети, які передаються незалежно і направляються до місця призначення за різними маршрутами. У мережі з комутацією пакетів функціонування каналу можливе, якщо в приймальному обладнанні передбачено вирівнювання затримок прийнятих пакетів - джитера пакетів. Згладжування затримок у часі, тобто синхронізація пакетів, здійснюється за допомогою синхросигналу, що виділяється із прийнятої послідовності пакетів адаптивними методами або за допомогою обробки інформації про синхросигнал джерела, записаної безпосередньо в заголовок пакета. Під мережною синхронізацією розуміють будь-який розподіл часу й частоти мережею пристроїв синхронізації, у тому числі пристроїв, розташованих на великій території. При передачі й комутації інформації в єдиному цифровому форматі доцільно єдиний сигнал синхронізації «підвести» через всю мережу до кожного вузла й до кожного мережного елемента, щоб цей елемент міг працювати синхронно з іншими мережними елементами та з усіма вхідними потоками. Мета мережної синхронізації - узгодження часових і частотних шкал усіх пристроїв синхронізації за рахунок пропускну здатності з'єднуючих їх ліній зв'язку.

Система управління, тобто система мережного управління (СМУ) забезпечує економічну ефективність систем телекомунікацій на всіх етапах життєвого циклу: проектування, будівництва й експлуатації. Основні вимоги до СМУ: підтримка стандартів відкритих систем і існуючих типів обладнання різного виробництва; прозорість архітектури для користувачів; гнучкість, адаптованість та низька трудоемність введення нових послуг тощо. Підвищена увага до СМУ обумовлена: ускладненням мереж зв'язку, викликаним їх неоднорідністю за рахунок мультиінтеграції та гібридизації сучасних телекомунікаційних технологій і мережного обладнання; підвищенням вимог користувачів до кількості, змісту, але насамперед якості пропонованих послуг зв'язку; зацікавленістю телекомунікаційних компаній-операторів у підвищенні рентабельності, прибутковості та швидкій окупаємості мережного обладнання. Мета управління в ТКС залежно від рівня розгляду системи телекомунікацій — це підвищення якості послуг зв'язку, а в результаті — прибутку, рентабельності телекомунікаційних компаній. В сучасних ТКС основні об'єкти управління: ведення обліку й розрахунку за надавані послуги; контроль й забезпечення якості зв'язку; відновлення, реконфігурація структури мережі; перерозподіл мережного ресурсу, тобто інформаційного трафіка, буферного простору вузлів мережі, пропускної здатності каналів та трактів передачі. Для реалізації функцій СМУ створюється управляюча архітектура, в рамках якої управління здійснюється як апаратно-програмними засобами, безпосередньо розміщеними на вузлах транспортної мережі, так і за допомогою засобів, розташованих за цією мережею — на серверах управління з використанням спеціальних протоколів управління та сигналізації.

Система електроживлення — сукупність системи електропостачання, пристроїв перетворення, регулювання, стабілізації, резервування і розподілу електричної енергії, необхідної для функціонування апаратури, а також пристроїв контролю, діагностики та захисту пристроїв і апаратури. Сучасна апаратура зв'язку висуває жорсткі вимоги до якості і надійності подачі електричної енергії.

2.4 Система комутації пакетів Softswitch

Особливість мереж NGN — використання гнучких програмованих комутаторів Softswitch, які є носіями інтелектуальних можливостей цієї мережі, ціль яких — координація управління обслуговуванням викликів, сигналізації і

функції, яка забезпечує з'єднання через одну або декілька мереж. Функції управління обслуговуванням виклику: розпізнання та обробка цифр номера для визначення пункту призначення; розпізнання моментів відповіді та відбою абонентів, реєстрація цього для начислення платні [23].

Концепція NGN спирається на технічні рішення, розроблені міжнародними організаціями стандартизації. Так, взаємодію сервісів в процесі надання послуг передбачається здійснювати на базі протоколів, специфікованих IETF (MEGACO), ETSI, Форумом 3GPP. Для управління послугами використані протоколи H.323, SIP і підходи, вживані в мережних інтелектах інфокомунікацій.

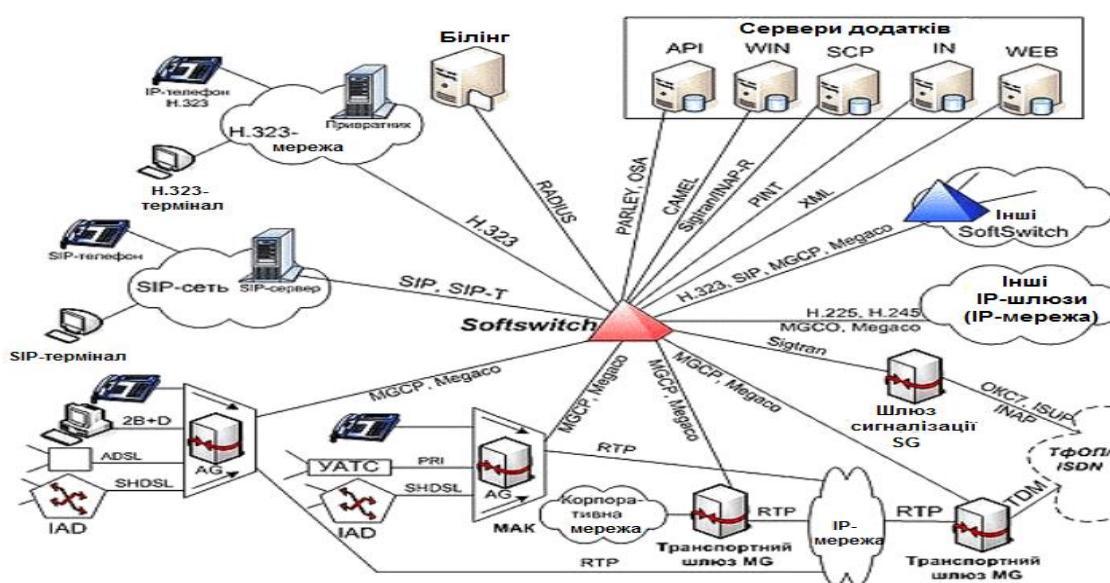


Рисунок 2.6 – Архітектура протоколів сигналізації за допомогою Softswitch

Основні типи сигналізації, які використовує Softswitch можна розглянути на рис. 2.6, це: сигналізація для управління з'єднаннями: протоколи SIP-T, OKC-7, H.323, а також сигналізація по виділенім сигнальним каналам CAS; сигналізація для взаємодії між собою : протоколи SIP-T, BICC; сигналізація для управління транспортними шлюзами: протоколи MGCP и MEGACO / H.248. Soft Switch координує обмін сигнальними повідомленнями між мережами, підтримує та перетворює існуючі протоколи сигналізації.

Найбільш важливі елементи в архітектурі протоколів сигналізації мережі NGN: медіа-шлюз (MG - Media Gateway), який обробляє виклики із зовнішньої мережі: затіснює та пакує мову, відео, передає зтіснені голосові пакети в мережу IP, і проводить зворотну операцію для голосових викликів із мережі IP; шлюз сигналізації (SG - Signaling Gateway) перетворює сигналізацію та

забезпечує її передачу між комутованою і пакетною мережею, оброблює сигналізацію, передає повідомлення через мережу IP контролеру медіа-шлюзу чи іншим шлюзам сигналізації; контролер медіа-шлюзу (MGC - Media Gateway Controler) виконує реєстрацію і управляє пропускну здатністю медіа-шлюзу [27].

Міжнародний консорціум пакетного зв'язку (International Packet Communication Consortium) розробив архітектуру Softswitch з чотирма наданими на рис. 2.7 функціональними площинами: транспорту; управління обслуговування виклику і сигналізації; послуг і додатків, експлуатаційного управління [28].



Рисунок 2.7 – Функціональні площини архітектури Softswitch

Транспортна площина (Transport Plane) відповідає за транспортування по мережі зв'язку повідомлень: сигналізації, маршрутизації при організації тракту передачі інформації, чи безпосередньо мови та даних користувача. Фізичний рівень переносу цих повідомлень, розташований під цією площиною, може базуватися на будь якій технології, яка відповідає вимогам до пропускну здатності при переносі трафіку цього типу. Транспортна площина забезпечує також доступ к мережі IP-телефонії сигнальної і інформації користувача, яка надходить зі сторони інших мереж чи терміналів.

Площина управління обслуговуванням виклику та сигналізації (Call Control & Signaling Plane) управляє основними елементами мережі IP-телефонії та, в першу чергу, тими, які належать транспортній площині. В цій площині проводиться управління обслуговування виклику на основі сигнальних повідомлень, які поступають із транспортної площини, встановлюються і перериваються з'єднання, які використовуються для передачі інформації

користувачів по мережі. В площину входять пристрої: контролер медіашлюзів (Media Gateway Controller, MGC), сервер управління обслуговуванням виклику Call Agent, привратник Gatekeeper і LDAP-сервер.

Площина послуг і додатків (Service & Application Plane) реалізує управління послугами і додатками в мережах IP-телефонії, їх логіку та виконання. Пристрої цієї площини містять логіку послуг та управляють послугами шляхом взаємодії з пристроями, які знаходяться в площині управління обслуговуванням виклику і сигналізації. Площина складається із серверів додатків (Application Servers, AS) і серверів додаткових послуг (Feature Servers, FS). Площина може управляти спеціалізованими компонентами передачі інформації користувача, наприклад, медіасерверами, які виконують функції конференцзв'язку.

На площині експлуатаційного управління (Management Plane) підтримуються функції активізації абонентів і послуг, техобслуговування, білінгу і інші функції експлуатаційного управління мережею.

Запровадження Softswitch змінює традиційно закриту структуру систем комутації, бо надає відкриті стандартні інтерфейси між трьома основними функціями: комутації, управлінням обслуговування викликів, послуг та додатків, Soft Switch дозволяє узгоджувати різні протоколи сигналізації як мереж одного типу, так і при взаємодії мереж комутації каналів з IP-мережами.

2.5 Інфокомунікаційні послуги фіксованого та мобільного зв'язку

Мережі зв'язку наступного покоління – концепція побудови мереж зв'язку, які забезпечують надання необмеженого набору послуг з гнучкими можливостями з їх управлінням та створення нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень, яка пропонує реалізацію універсальної транспортної мережі із розподіленою комутацією, винесення функцій надання послуг в кінцеві мережеві вузли та інтеграцію з традиційними мережами зв'язку.

В мережах доступу при доставці інформації використовуються різні технології, які поділяються на проводові, безпроводові та комбіновані [29].

До проводових технологій можна віднести: цифрові абонентські лінії xDSL; пасивні оптичні мережі PON; гібридні волоконно-коаксіальні мережі (HFC), кабельні модеми; технології Ethernet, Fast Ethernet.

До безпроводових – Wi Fi, WiMAX, LMDS/MMDS, супутниковий зв'язок.

Гібридні оптико-коаксіальні мережі (HFC – Hybrid Fiber Coax) часто називаються класичними мережами, по яким передають як аналогові, так і цифрові сигнали і знаходять розповсюдження завдяки широкосмуговості, мультимедійності, простоті формування контенту, можливості формування рівності інформаційних потоків в обох напрямках, доступу до всіх абонентів, високій надійності та простоті обслуговування. При побудові систем кабельного телебачення (СКТ) HFC мережі використовують на магістральних ділянках і на ділянках абонентського доступу (ділянка “останньої милі”).

Основний набір послуг, що надаються користувачам:

- глобальна телекомунікаційна послуга – це послуга зв’язку, до якої всі абоненти телефонної мережі загального користування мають вільний доступ;
- контент-послуга – інформаційна, довідкова, замовна, розважальна послуга, з використанням телекомунікаційних мереж, технічних засобів телекомунікацій;
- послуга з доступу до Інтернету – це забезпечення можливості з’єднання кінцевого обладнання споживача з Інтернетом;
- послуга з передачі даних – це обмін даними між кінцевими обладнаннями абонентів з використанням телекомунікаційних мереж;
- послуги мобільного зв’язку – це послуги, які надаються оператором мобільного зв’язку при вільному переміщенні кінцевого обладнання абонента в межах телекомунікаційної мережі оператора або його роумінг-партнера із збереженням абонентського номера або мережевого ідентифікатора споживача;
- роумінг – послуга, яка забезпечує можливість абонента одного оператора мобільного зв’язку отримувати послуги в мережі іншого оператора із збереженням початкової реєстрації абонента в мережі свого оператора.

За рахунок злиття мереж і технологій в мережах NGN забезпечується широкий набір послуг: від класичних послуг телефонії до різноманітних послуг передачі даних чи їх комбінацій. Послуги, які надаються у рамках NGN, можна класифікувати наступним чином: базові послуги (БП): послуги, орієнтовані на встановлення з’єднання між двома кінцевими терміналами із використанням NGN; додаткові види обслуговування (ДВО): послуги, які надаються із базовими і орієнтовані на підтримку додаткових наборів можливостей (Capability Sets, CS); послуги доступу: послуги, орієнтовані на організацію доступу до ресурсів і точок присутності інтелектуальних мереж і мереж передачі даних; інформаційно-довідникові послуги: послуги, орієнтовані на надання інформації із баз даних, які

входять в структуру NGN; послуги віртуальних приватних мереж (Virtual Private Network, VPN), орієнтовані на організацію і підтримання функціонування VPN з боку елементів NGN; послуги мультимедіа, орієнтовані на забезпечення та підтримку функціонування мультимедійних додатків з боку NGN. Задачею NGN при наданні БП є встановлення і підтримка з'єднання із необхідним параметрами.

Під базовими видами послуг розуміються: послуги місцевого, міжміського, міжнародного телефонного зв'язку, які надаються із використанням (повним або частковим) мережі на основі NGN-технологій. Базові послуги телефонії в мережах NGN можуть використати технології компресії мови, при цьому якість надання базових послуг повинно відповідати класам "вищий" и "високим". Базові послуги телефонії можуть бути доступні користувачам, які використовують термінали мереж: ТМЗК, NGN, H.323, протокол SIP; послуги із передачі факсимільних повідомлень між термінальним обладнанням користувачів [30].

Інфокомунікаційні послуги припускають взаємодію постачальників послуг і операторів зв'язку. Основні послуги мережі доступу - забезпечення підключення: абонентів аналогового доступу ТМЗК; абонентів доступу ЦМИС; абонентів доступу xDSL; абонентів виділених каналів зв'язку $N \times 64$ Кбіт/с, 2 Мбіт/с та широкосмугового доступу, абонентів, які використовують для доступу PON; абоненти, які використовують HFC; абоненти, які використовують системи безпроводового доступу і радіодоступу (Wi-Fi).

Мобільність – одне з найважливіших напрямків розвитку інфокомунікаційної системи. Мобільність терміналу вирішується на рівні доступу. При стовідсотковій цифровізації і повноцінній реалізації системи загальноканальної сигналізації до початку формування масового попиту на послуги мобільного зв'язку майже всі завдання оператора обмежилися б модернізацією мережі доступу і комутаційних станцій. Мережі мобільного зв'язку створювалися для обслуговування трафіку мови і їх еволюція пов'язана з функціональними можливостями "triple-play services". З цієї точки зору мережі фіксованого та мобільного зв'язку можна розглядати як конвергентні, тим більше що деякі функції мобільності доступні в сучасних мережах фіксованого зв'язку [31].

Перша послуга, яку можна вважати концептуальною для NGN, це є концепція Triple Play, основа концепції складається із того, що усі сучасні послуги зв'язку можна подати у вигляді об'єднання мови, даних і відео. Тріада цих послуг створює свого роду базис, по якому можна розкласти будь-яку сучасну послугу.

Перехід від вертикальної до горизонтальної моделі організації та об'єднання різних послуг на рівні транспорту і доступу - це важливий крок на шляху до конвергенції мережі. В Концепції Triple Play уперше була запропонована процедура декомпозиції послуг. Відповідно до цієї Концепції запропоновано використовувати тріаду як набір базових послуг.

Triple Play — маркетинговий інфокомунікаційний термін, який описує модель, зображену на рис. 2.8, коли по одному кабелю широкосмугового доступу користувачу надається одночасно три сервіси — високошвидкісний Internet, передача мови і відео по NGN-мережі. Технології високошвидкісного Internet, які використовуються для побудови оптоволоконних мереж, забезпечують високу швидкість передачі даних. "Остання миля" до абонента забезпечується по технології Fast Ethernet 100BaseTX (до 100 Мбіт/с), а підключення вузлів мережі до магістральних каналів зв'язку проводиться по оптичним каналам Gigabit Ethernet (до 1000 Мбіт/с), що виключає прояву ефекту "пляшкового горлечка".

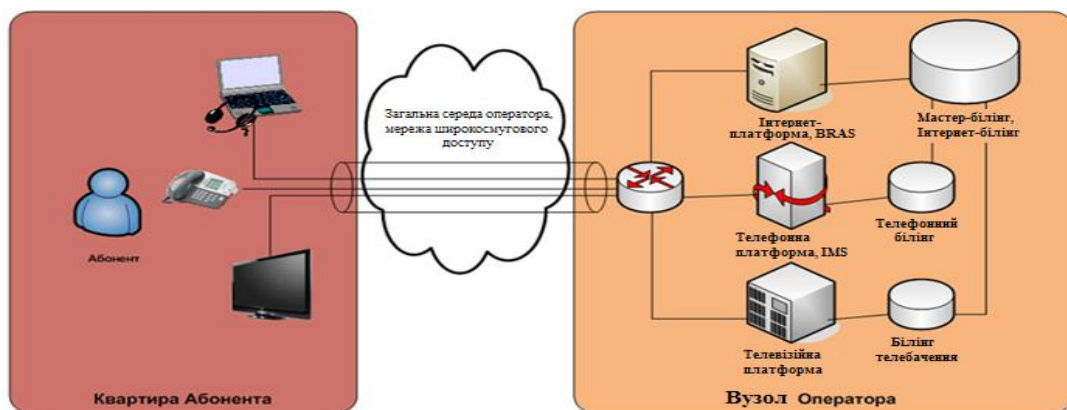


Рисунок 2.8 — Послуга Triple Play

Послуга передачі мови не обмежується наданням тільки IP-телефонії. Основні послуги передачі мови в NGN-мережах це: телефонія: місцева, міжміська, міжнародна; трансляція «ефірних» і «цифрових» радіостанцій; служба голосових конференцій (окремо чи разом із відеоконференціями).

Послуга IPTV — одна із основних складових відеоданих. Послуга IPTV найперспективніша для впровадження і найкритичніша як до завантаження транспортної мережі, так і до технологій, за якими реалізовується. Важливим питанням є оцінка достатньої якості, з якою послуга надається кінцевому користувачеві, а також формування методів проектування та управління якістю. Існує термін "IPTV QoE" – сприйняття якості IP телебачення користувачем, який використовується для характеристики технічних аспектів, які впливають на

задоволення користувача від послуги IP телебачення. Такі технічні чинники: реакція системи на перемикання каналів, якість середовища передачі [32].

Головне достоїнство мережі Triple Play – можливість «зв'язувати» і комбінувати різні послуги в єдиному комплексі, добавляти нові послуги, не змінюючи «начинку» – не чіпаючи мережеву інфраструктуру [33].

Quadruple Play — маркетинговий інфокомунікаційний термін, який описує модель, коли користувачу по одному кабелю широкосмугового доступу надається одночасно чотири сервіси — високошвидкісний Internet, кабельне телебачення, стаціонарний і мобільний телефонний зв'язок. Quadruple Play є розвитком Triple Play. Quadruple Play сервіс інтегрує в додаток сервіс мобільного зв'язку. Одним із варіантів реалізації якого є додавання к звичному режиму GSM-зв'язку мобільного телефону ще і WiFi-режиму, що знижує собівартість організації мобільного зв'язку в межах області дії WiFi-передавача. Абоненти в будь якому місці, де є мобільний зв'язок, зможуть завжди мати при собі "домашні" сервіси: інтерактивне TV, доступ до свого відеоконтенту та особистого кабінету.

Послуга Multi Play, яка зображена на рис. 2.9, можна представити як комбінацію п'яти наступних послуг: фіксованої телефонії, сучасного мобільного зв'язку, сучасного мобільного інтернету, стаціонарного інтернету і цифрового телебачення IPTV. Multi play – це крок вперед в сфері послуг IPTV, особливо що стосується доступу до Інтернет-контенту з телевізора.

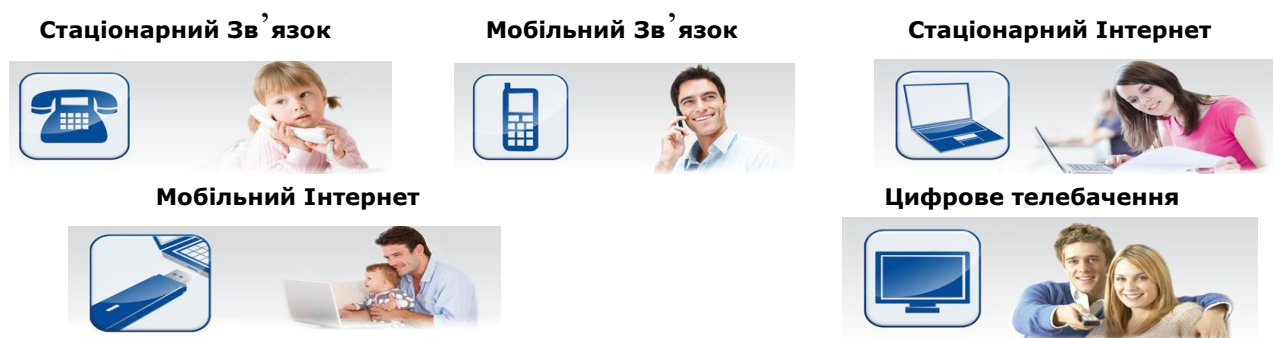


Рисунок 2.9 – Multi Play – комбінація 5 послуг

Мультимедійні послуги зв'язку з точки зору абонентів – можливість мережі забезпечити функціонування специфічних мультимедійних користувальницьких додатків, одночасно підтримувати кілька "одиниць" аудіовізуальної інформації і надавати абонентам загальний інформаційний простір в рамках одного сеансу зв'язку. Приклади мультимедійних додатків: спільна робота з документами і

графікою, "біла дошка", дистанційне навчання, телемедицина, ігри, дизайн та інші. Для оператора зв'язку мультимедійна послуга - перенесення комбінації декількох "одиниць" аудіовізуальної інформації: відео, звуку, тексту між абонентами в рамках мережевої інфраструктури з урахуванням складу і можливостей використовуваного обладнання. Можливість надання тієї чи іншої мультимедійної послуги повністю залежить від технологічної платформи мережі.

2.6 Конвергентність інфокомунікацій

З поширенням Інтернету та комп'ютерних мереж, з виникненням розумних мереж, інфокомунікаційні компанії пропонують різні послуги зв'язку, які стають універсальними, при спостереженні взаємного проникнення на ринки надання послуг кабельного телебачення, мобільної і фіксованої телефонії та Інтернет-провайдерів, які існували незалежно. Конвергенція - прагнення об'єднати всі напрямки телекомунікацій та інформатизації, для взаємовигідного використання ресурсів з метою надання якісно нових послуг користувачам [34].

Так як голосовий сервіс став приносити менше доходу і знизилися темпи зростання абонентської бази, оператори фіксованого та рухомого зв'язку, мереж кабельного телебачення змушені надавати нові сервіси з перекладом мереж на технології NGN та впровадженням конвергентних послуг на базі IP. Активно йде розвиток неголосових послуг, послуг з доданою вартістю (VAS) на базі IP.

Розрізняють три основних рівня конвергенції: конвергенція мереж, конвергенція послуг та конвергенція додатків. На мережевому рівні конвергенція сприяє зниженню експлуатаційних витрат за рахунок переведення зв'язку на єдину транспортну платформу IP. Конвергенція магістралі і мереж доступу - найцікавіший етап злиття фіксованих і мобільних платформ. Для операторів мобільного зв'язку конвергентні мережі зазвичай починаються з перекладу трафіку SMS і MMS з традиційних платформ і мережі сигналізації на IP. Конвергенція послуг надає можливість розгортати високоприбуткові послуги нового покоління, котрі забезпечуються наглядом сесій – це аудіо та відео конференцзв'язок, передача голосу, високошвидкісний обмін даними і інше

В загальному обсязі абонентського трафіку в мобільних мережах популярними стають сервіси, засновані на мережі передачі даних, наприклад, інсталяція на мобільний телефон сервісу ICQ. Це заміна традиційного SMS-

сервісу, що приносить чималий дохід операторові зв'язку, на більш високотехнологічний, що стало можливо при зниженні вартості послуг передачі даних для мобільних абонентів і зростанні популярності пристроїв з підтримкою передачі даних. Користувач зацікавлений отримувати повний спектр всіх необхідних йому послуг зв'язку від одного оператора, з гарантією якості і мінімальним набором пристроїв, тому одним з перспективних шляхів розвитку операторів зв'язку може стати організація комплексного сервісу із застосуванням проводових і безпроводових мереж передачі голосу і даних, включаючи мережі мобільного зв'язку. Оператори фіксованого зв'язку впроваджують на своїх мережах технології NGN в трійці: IP / MPLS, Softswitch, IPTV, при розширенні конвергенції: поряд з впровадженням IPTV розгортається FMC-сервіс. Але основою конвергенції є мережі на базі протоколу IP разом з освоєнням інтелектуальної конвергентної платформи, відповідно із загальним стандартом інфокомунікацій, що забезпечує високошвидкісний захищений доступ до бізнес-додатків з різноманітних пристроїв, дозволяє зберегти інвестиції в існуючу інфраструктуру і створює базу для впровадження нових послуг.

Іноді під конвергенцією фіксованих і мобільних мереж FMC (Fixed-Mobile Convergence) розуміють просто послугу VCC (Voice Call Continuity) щодо забезпечення безперервності мовного виклику, ініційованого із зони покриття мережі Wi-Fi, коли абонент, оснащений дворезимним телефоном (наприклад, GSM / Wi-Fi), залишає її (здійснюється «безшовна» передача виклику в стільникову мережу). VCC дозволяє уникнути плати за переадресацію виклику. Приблизно 30% трафіку мобільних мереж ініційовано з приміщень з покриттям Wi-Fi і використовувати в таких місцях мобільну мережу нераціонально. Концепція FMC - надання мультимедійних інформаційних послуг для абонентів в будь-якому місці, в будь-який час з видачою абоненту єдиного номера і єдиного рахунку оплати послуг, реалізація голосової пошти і функції управління групами користувачів, наявність єдиного набору додатків для фіксованих і мобільних мереж. Але найголовніше - FMC забезпечує абонентам принципово нові можливості щодо комплексного і «безшовного», в разі міжмережевого роумінгу, використання мережевих послуг і додатків.

Раніше мультисервісні мережі (MCC) були єдиним транспортним рівнем для передачі всіх передбачених форматів даних із забезпеченням їх належною якістю і із економічним витрачанням каналів, бо MCC могли функціонувати

поверх IP. На відміну від МСС, мережі, які побудовані для надання конвергентних послуг, не економлять смугу пропускання. Розвиток таких мереж безпосередньо залежить від максимально можливої ширини каналу, що віддається під додатки користувача. Самі додатки можуть економити канали в залежності від вимог користувача до якості сервісу. Наприклад, додатки VoIP, які використовують різні: кодеки, ширину смуги пропускання, якість передачі голосу.

Спрощено конвергенція послуг - надання абонентам послуг голосу, даних і відео через всі доступні типи мереж інноваційними методами. Конвергенція мереж дозволяє економити експлуатаційні витрати і капітальні витрати, а конвергенція додатків - формувати нові пакети послуг і вдосконалювати маркетинг. Повна конвергенція - це поєднання всіх рівнів конвергенції, де в якості платформи використовується IP-мережа, яка реалізує можливість надавати додатки за конкурентоздатною ціною і безперервність послуги при переході абонента між мережами доступу. Концепція безперервності послуги специфічна для передачі голосу, даних і мультимедійного трафіку. Але такі технології, як конвергентні голосові пристрої: телефони, смартфони, КПК, ноутбуки, архітектури конвергенції голосових сесій і протоколи конвергенції сесій даних, являють собою сполучну ланку між фіксованими і мобільними платформами, незалежно від місця розташування учасників сесії і методу їх доступу.

Тенденції конвергенції послуг зв'язку зумовили появу концепції підсистеми мультимедійних IP-послуг - IMS для забезпечення реальної мультисервісності і мультимедійності мереж з наданням всього спектра послуг за допомогою єдиної платформи - саме це і справедливо було б назвати конвергенцією. Специфікація IMS визначає стандартну архітектуру з управління мультимедійними послугами на основі IP-протоколу для мереж NGN, що забезпечує реальну конвергенцію послуг передачі мови і даних, які надаються різними постачальниками через загальну базову IP-інфраструктуру, а також через різні типи мереж мобільного та фіксованого доступу. У пошуках уніфікованого стандарту на мультисервісні IP-мережі компанії, учасники ринку провідних мереж, що підтримують роботу комітету TISPAN (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking) інституту ETSI, усвідомили потенціал IMS як засобу FMC. IMS - технологія, що надає інтелектуальні засоби зв'язку і вирішує існуючі проблеми при реалізації мультимедійних послуг. Ця стандартизована архітектура мереж NGN реалізує передачу голосу і даних в єдиній мережі. Завдяки

застосуванню відкритих стандартів її можна розглядати як єдину уніфікуючу технологію, що сприяє розробці нових додатків і значного знижує витрати. Сьогодні IMS визначає базову архітектуру для надання послуг передачі даних, голосу і мультимедіа-трафіку. Основу транспортної інфраструктури складають мережі IP / MPLS. Переваги IMS - різноманітність підтримуваних інтерфейсів, що дозволяє адаптувати операторські послуги для різних терміналів, незалежно від типу мережі. Крім того, застосування інтерфейсів Parlay API значно спрощує створення серверів додатків, оскільки від розробників не потрібно детального знання специфіки сигналізації SIP, SS7 і ISDN. Доступ до послуг і додатків може здійснюватися за допомогою різних мереж: як фіксованих, так і мобільних. При цьому сеанс роумінгу може бути продовжений навіть при зміні абонентом мережі доступу. Закладена в IMS загальна технологічна інфраструктура об'єднує Internet, ТМЗК і бездротові мережі доступу і стає міжнародним стандартом, для принципів взаємодії та роумінгу мультимедійних послуг в мережі IP [34].

2.7 Архітектура управління інфокомунікаційними послугами

Інфокомунікаційні послуги виникли внаслідок конвергенції інформаційних і комунікаційних послуг. Архітектура управління послугами NGN реалізує: підтримку багаточисельних технологій доступу за рахунок гнучкої конфігурації мережі; розподільне управління, яке забезпечується на основі використання принципу розподільної обробки в пакетних мережах; відкрите управління, яке забезпечує мережеві інтерфейси для підтримки процесів створення нових і змінення існуючих послуг. Архітектуру чотирирівневої мережі управління конвергенцією інфокомунікаційних послуг, яка складається із рівня послуг і експлуатаційного управління; рівня управління комутацією; транспортного рівня та рівня доступу. можна розглянути на рис. 2.10.

Рівень послуг і експлуатаційного управління призначений для передачі інформації між користувачами мережі. Використання пакетних технологій на рівні транспортної мережі дозволяє забезпечити єдині алгоритми доставки інформації для різноманітних видів зв'язку. При використанні терміналів мультимедіа, може надаватися розширений перелік послуг. Сервери додатків NGN надають додаткові комунікаційні і інформаційні послуги користувачам [23].



Рисунок 2.10 – Чотирирівнева мережа управління конвергенцією послуг

До завдань рівня управління комутацією входить управління встановленням з'єднання в NGN. Данна функція реалізується на рівні елементів транспортної мережі під зовнішнім управлінням обладнання Softswitch

Транспортний рівень будується на основі пакетних технологій передачі інформації. Основа транспортного рівня – мережі ATM, IP, IP/MPLS, Ethernet. Мережі, які базуються на технології ATM, мають вбудовані засоби забезпечення якості обслуговування і використовуються при створенні NGN практично без змін. При використанні мереж на базі IP-технологій в якості транспортного рівня NGN, потребує реалізації в них додаткової функції забезпечення якості обслуговування. Рівень доступу складається із сукупності функцій з управління усіма процесами в телекомунікаційній системі, а також начислення оплати за послуги зв'язку і технічну експлуатацію. Задача мережі доступу – з'єднати термінал користувача яким би він не був, з ресурсами транспортної мережі та забезпечити високу швидкість обміну даними та відносно гарні параметри якості QoS.

Існуючі мережі інфокомунікацій - NGN мережі, на базі яких розгортаються мережі майбутнього, реалізують принцип конвергенції послуг, гарантуючи масштабованість, гнучкість та можливість реагувати на зростаючі потреби: надають необмежений спектр телекомунікаційних послуг, підтримують передачу різноманітного трафіку та забезпечують запити операторів і користувачів; це набір можливостей, зібраних воєдино в часі і розподілених в просторі для створення, розгортання і управління всіма можливими видами інфокомунікаційних послуг.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ РЕСУРСІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ

3.1 Основні методи контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг

Вимоги підтримки широкосмугових послуг та мобільності мають досить високі тарифи на інфокомунікаційні послуги, не всі користувачі готові їх оплачувати [35]. У структурі користувачів можна виділити незначне число абонентів, готових використати максимальну кількість послуг, що надаються, доля доходу цих абонентів найвища. Як правило, це корпоративні користувачі, які споживають увесь спектр послуг: Інтернет, мова, телебачення. Хоча численна група абонентів приносить мінімальний дохід - відмовитися від її обслуговування оператор не може через соціальну значущість надання послуг [36].

Основні методи контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг: метод контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, і метод контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти.

Для методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, абоненти розділено на три класи А, В, С. Доля абонентів класу А, які використовують телефонію і здійснюють в середньому $f_1 = 5$ викликів за годину тривалістю $t_1 = 2$ хвилини, складає $p_1 = 80\%$. Доля абонентів класу В, що використовують голосові сервіси і сервіси передачі даних, складає $p_2 = 15\%$. Параметри телефонного навантаження співпадають з параметрами для класу А: $f_2 = f_1 = 5$ викликів за годину, $t_2 = t_1 = 2$ хвилини. Об'єм даних під час найбільшого навантаження (ЧНН) 10 Мбайт. Доля абонентів класу С, які приносять питомий дохід, складає $p_3 = 5\%$ із структурою трафіку: телефонія, інтернет, відео. Параметри телефонії співпадають з параметрами для класу В, тобто $f_3 = f_2 = f_1 = 5$ викликів за годину, $t_3 = t_2 = t_1 = 2$ хвилини. Користувачі класу С споживають до 100 Мбайт трафіку. Час перегляду відео в ЧНН досягає 60 хвилин. Вузол доступу обслуговує 448 абонентів з переглядом 40 каналів телемовлення за ІР протоколом.

При другому методі контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти, всі користувачі використовують телефонію і здійснюють, в середньому $f = 5$ викликів за годину тривалістю $t = 2$ хвилини. Доля

абонентів, що використовують сервіси передачі даних, - (p_2+p_3) 20%. Об'єм даних в ЧНН 10 Мбайт. Доля абонентів відео p_3 складає 5% - ці користувачі споживають до 100 Мбайт трафіку із часом перегляду відео в ЧНН 60 хвилин. Вузол доступу обслуговує 448 абонентів з переглядом 40 каналів телемовлення за IP протоколом.

В таблиці 3.1 дано вхідні параметри - характеристики навантаження системи

Таблиця 3.1 – Вхідні параметри системи

| N | Характеристики | Позначення, одиниця виміру | Кількість |
|---|--|----------------------------|-----------|
| 1 | Викликів в час для телефонії | F | 5 |
| 2 | Середня тривалість розмови | t , хвилин | 2 |
| 3 | Об'єм переданих даних в час найбільшого навантаження для сервісів передачі даних | V_2 , Мбайт/с | 10 |
| 4 | Об'єм переданих даних в час найбільшого навантаження при перегляді відео | V_3 , Мбайт/с | 100 |
| 5 | Час перегляду відео в ЧНН | t_V , хвилин | 60 |
| 6 | Мультисервісний вузол обслуговує | N , абонентів | 448 |
| 7 | Кількість перегляду каналів мовлення | K_{tv} , каналів | 40 |

Характеристики трафіка, який згенеровано окремим мовним джерелом, залежать від використання кодека мови, основна функція якого – виконувати аналого-цифрове перетворення сигналу і наступне цифрове зтиснення [37]. При пакетному принципі передачі і комутації мовних даних немає потреби кодування і синхронної передачі однакових за тривалістю фрагментів мови. Для систем IP-телефонії застосовуються кодеки зі змінною швидкістю кодування мовного сигналу. Інтернет-телефонія використовує гібридні кодеки, які генерують аудіокадри з постійною бітовою швидкістю. Представимо кодеки в порядку від найліпшого: з показника якості - G.711, iLBC, G.729, GSM, G.723; з пропускної здатності, яка використовується - G.723, iLBC, G.729, GSM, G.711.

У розрахунках приведено кодек G.723.1, який потребує мінімальні ресурси процесора і пропускної здатності. В таблиці 3.2 наведемо параметри кодека [38].

Таблиця 3.2 - Параметри кодека

| Кодек | Швидкість передачі | Тривалість датаграми | Затримка пакетизації | Смуга пропускання | Затримка в джиттер-буфері | Теоретична максимальна оцінка MOS |
|---------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | кбіт/с | мс | мс | кГц | мс | |
| G.723.1 | 6,3 | 30 | 67,5 | 43,73 | 2 датаграми, 60 | 3,87 |

Для методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, визначимо параметри мережі для IP кодека G.723.1. Тривалість датаграми $T_{PDU} = 30$ мс при передачі в секунду кількості кадрів, яку знаходимо за формулою:

$$n = 1/T_{PDU} , \quad (3.1)$$

$$n = 1/T_{PDU} = 1/30 \cdot 10^{-3} = 33,3 \text{ (кадрів в секунду)}$$

Розмір пакетизованих даних і швидкість кодування знаходиться за формулою:

$$h = v \cdot T_{PDU} , \quad (3.2)$$

де v – швидкість кодування, байт/с;

h – розмір пакетизованих даних;

T_{PDU} – тривалість однієї мовної вибірки (тривалість пакету).

$$v = R_G/8 \text{ (байт/с)}, \quad (3.3)$$

де R_G – швидкість передачі даних, біт/с

$$v = R_G/8 = 6,3/8 = 0,7875 \text{ кбайт/с} = 787,5 \text{ (байт/с)}.$$

$$h = v \cdot T_{PDU} = 787,5 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 23,625 \text{ байт (із стисненням)}.$$

Для визначення розміру пакету необхідно врахувати заголовки: IP – 20 байт, UDP – 8 байт, RTP – 12 байт. Сумарний розмір пакету знаходимо за формулою:

$$h_G = h + IP + UDP + RTP, \quad (3.4)$$

$$h_G = h + IP + UDP + RTP = 23,625 + 20 + 8 + 12 = 63,625 \text{ байт}.$$

Знайдемо число IP-пакетів, генерованих кожним класом користувачів в ЧНН та вузлом доступу в цілому [39].

Число пакетів від абонентів класу А, які використовують тільки телефонію, знаходимо за формулою:

$$N_A = n_1 \cdot t_1 \cdot f_1 \cdot p_1 \cdot N, \quad (3.5)$$

де n_1 – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом;
 t_1 – середня тривалість розмови в секундах абонентів класу А;
 f_1 – кількість викликів під час найбільшого навантаження абонентів класу А;
 p_1 – доля користувачів класу А в загальній структурі абонентів;
 N – загальне число користувачів.

Абоненти класу В користуються послугами телефонії та інтернет. Число пакетів від класу В при використанні голосових сервісів знаходимо за формулою:

$$N_{B_T} = n_1 \cdot t_2 \cdot f_2 \cdot p_2 \cdot N, \quad (3.6)$$

де n_1 – кількість пакетів, генерованих в секунду одним користувачем;
 t_2 – середня тривалість розмови в секундах користувачів класу В;
 f_2 – кількість викликів під час найбільшого навантаження класу В;
 p_2 – доля користувачів класу В у загальній структурі користувачів;
 N – загальне число користувачів.

Число пакетів від абонентів класу В із переглядом веб-сторінок, переданих в ЧНН знаходимо за формулою:

$$N_{B_Д} = p_2 \cdot N \cdot V_2 / h, \quad (3.7)$$

де p_2 – доля користувачів класу В у загальній структурі абонентів;
 h – розмір поля даних пакету;
 N – загальне число користувачів.

V_2 - об'єм переданих даних в ЧНН для сервісів передачі даних

Сумарне число пакетів від абонентів класу В знаходимо за формулою:

$$N_B = N_{B_T} + N_{B_Д}, \quad (3.8)$$

Абоненти класу С користуються всіма послугами: телефонія, інтернет, відео. Число пакетів від класу С для телефонії знаходимо за формулою:

$$N_{C_T} = n_1 \cdot t_3 \cdot f_3 \cdot p_3 \cdot N, \quad (3.9)$$

де n_1 – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом;

t_3 – середня тривалість розмови в секундах;

f_3 – число викликів під час найбільшого навантаження;

p_3 – доля користувачів від класу С в загальній структурі абонентів;

N – загальне число користувачів.

Число пакетів, переданих в ЧНН, абонентами класу С, які використовують не лише http, але і ftp, а також пірингові мережи, знаходимо за формулою:

$$N_{C_D} = p_3 \cdot N \cdot V_3/h, \quad (3.10)$$

де p_3 – доля користувачів від класу С в загальній структурі абонентів;

N – загальне число користувачів;

h – розмір поля даних пакету;

V_3 - об'єм переданих даних в ЧНН при перегляді відео.

Однією з найбільш перспективних послуг є IPTV - передача каналів телемовлення $K_{tv}=40$ за допомогою протоколу IP. При розмірі корисного навантаження пакету h і швидкості передачі $v=2048000$ біт/с, кількість пакетів користувачів відео-послуг при трансляції одного каналу знаходимо за формулою:

$$n_3 = v/h \quad (3.11)$$

$$n_3 = v/h = 2048000/23,625 = 86688 \text{ (пакетів)}.$$

Кількість пакетів, генерованих 40 каналами в ЧНН, знайдемо за формулою:

$$N_{C_V} = p_3 \cdot N \cdot n_3 \cdot t_V \quad (3.12)$$

де: p_3 – доля користувачів від класу С в загальній структурі абонентів;

N – загальне число користувачів;

t_V – середній час перегляду каналів в ЧНН за годину;

n_3 – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом при перегляді відео, стислого за стандартом MPEG2.

Число пакетів користувачів класу С в ЧНН знаходимо за формулою:

$$N_C = N_{C_T} + N_{C_Д} + N_{C_V}, \quad (3.13)$$

Мультисервісний вузол доступу повинен обслуговувати трафік від трьох класів користувачів та забезпечити підтримку якості обслуговування шляхом пріоритезації трафіку, незалежно від технології транспортної мережі доступу. Сумарне число пакетів, яке обробляє вузол доступу знаходимо за формулою:

$$N_{ABC} = N_A + N_B + N_C \quad (3.14)$$

Знайдемо число IP-пакетів для кожної послуги в ЧНН та для вузла доступу в цілому для методу контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг згідно запитів до послуг, які потребують абоненти.

Число пакетів від абонентів, які використовують телефонію, знаходимо за формулою:

$$N_T = n_l \cdot t \cdot f \cdot N, \quad (3.15)$$

де n_l – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом;

t – середня тривалість розмови в секундах абонентів;

f – кількість викликів в ЧНН абонентів, які використовують телефонію;

N – загальне число користувачів.

Абоненти, яких $(p_2+p_3)=20\%$, користуються послугою інтернет і переглядають веб-сторінки. Число пакетів, переданих в ЧНН знаходимо за формулою:

$$N_I = (p_2+p_3) \cdot N \cdot V_2/h, \quad (3.16)$$

де: (p_2+p_3) - доля абонентів, які користуються послугою інтернет;

h – розмір поля даних пакету;

N – загальне число користувачів;

V_2 - об'єм переданих даних в ЧНН для сервісів передачі даних

Кількість пакетів, генерованих 40 каналами в ЧНН, знайдемо за формулою:

$$N_V = p_3 \cdot N \cdot n_3 \cdot t_V \quad (3.17)$$

де: p_3 - доля абонентів, які користуються відео послугою;

N – загальне число користувачів;

n_3 – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом при використанні перегляді відео, стислого за стандартом MPEG2;

t_V – середній час перегляду каналів в ЧНН за годину.

Сумарне число пакетів методу контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти для вузла доступу знаходимо за формулою:

$$N_{TIV} = N_T + N_I + N_V \quad (3.18)$$

3.2 Моделювання математичної моделі дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг

Математична модель – це сукупність співвідношень, які визначають характеристики процесу функціонування системи в залежності від структури та параметрів системи, це результат формалізації функціонування досліджуваних системи, тобто побудови формального (математичного) опису процесу [40].

Розглянемо два методи контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг: перший оптимізаційний метод контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, і другий альтернативний метод контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти.

Ціль моделювання математичної моделі дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг – визначити, що дає об'єднання абонентів за класами, як змінилися вихідні дані, тобто продуктивність мультисервісного вузла доступу і що конкретно що визвало ці зміни.

Для апроксимації ідеальних процесів, що протікають в системі використовуємо детерміновану процедуру, при якій результати моделювання визначаються по заданій сукупності вхідних впливів, параметрів і змінних моделі.

Для визначення вихідних параметрів побудуємо типові математичні схеми.

Модель дослідження методу контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг для абонентів, які розбиті на класи представимо на рисунку 3.1 у вигляді блок-схеми згідно формул, наведених вище.

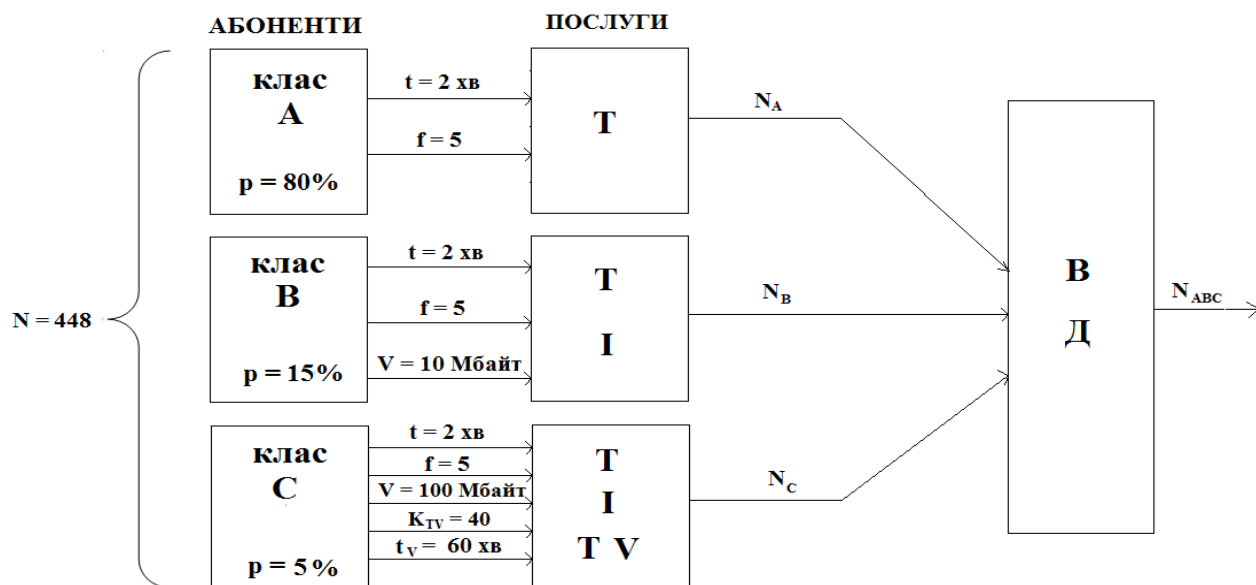


Рисунок 3.1 – Блок –схема методу контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг для абонентів, які розбиті на класи

$$N_A = n_1 \cdot t \cdot f \cdot p_1 \cdot N = 33,3 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 448 = 7,16 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{B_T} = N_{B_T} = n_1 \cdot t \cdot f \cdot p_2 \cdot N = 33,3 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0,15 \cdot 448 = 1,34 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{B_Д} = p_2 \cdot N \cdot V_2 / h_1 = 0,15 \cdot 448 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 1024 / 23,625 = 238,61 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_B = N_{B_T} + N_{B_Д} = 1,34 \cdot 10^6 + 238,61 \cdot 10^6 = 239,95 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{C_T} = N_{B_T} = n_1 \cdot t \cdot f \cdot p_2 \cdot N = 33,3 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0,05 \cdot 448 = 0,45 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{C_Д} = p_3 \cdot N \cdot V_3 / h_1 = 0,05 \cdot 448 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 1024 / 23,625 = 795,36 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{C_V} = p_3 \cdot N \cdot n_3 \cdot t_V = 0,05 \cdot 448 \cdot 86688 \cdot 3600 = 6,99052 \cdot 10^9 \text{ (пакетів)}$$

$$N_C = N_{C_T} + N_{C_Д} + N_{C_V} = 0,45 \cdot 10^6 + 795,36 \cdot 10^6 + 6990,52 \cdot 10^6 = 7786,33 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{ABC} = N_A + N_B + N_C = 7,16 \cdot 10^6 + 239,95 \cdot 10^6 + 7786,33 \cdot 10^6 = 8033,44 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

Модель дослідження методу контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг згідно запитів до послуг, які потребують абоненти представимо на рисунку 3.2 у вигляді блок-схеми згідно формул, наведених вище.

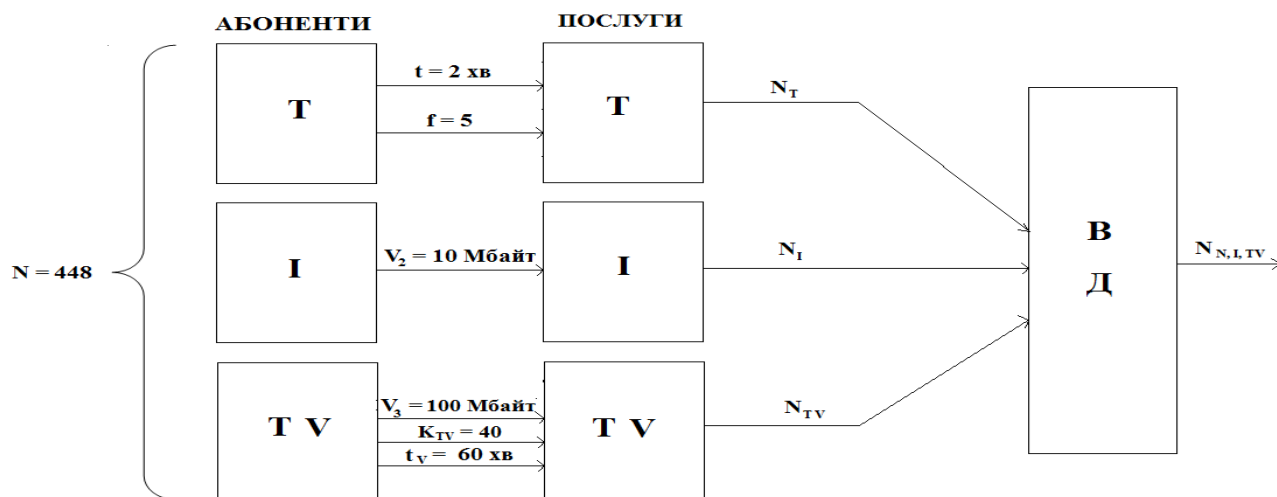


Рисунок 3.2 – Блок –схема методу контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг згідно запитів до послуг, які потребують абоненти

Згідно формул, розрахуємо вихідні параметри другого методу - методу контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти.

$$N_T = n_1 \cdot t \cdot f \cdot N = 33,3 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 448 = 8,95 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_I = (p_2 + p_3) \cdot N \cdot V_2 / h = 0,2 \cdot 448 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 1024 / 23,625 = 318,145725 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_V = p_3 \cdot N \cdot n_3 \cdot t_V = 0,05 \cdot 448 \cdot 86688 \cdot 3600 = 6990,52 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$N_{TIV} = N_T + N_I + N_V = 8,95 \cdot 10^6 + 318,145725 \cdot 10^6 + 6990,52 \cdot 10^6 = 7317,6157 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

Згрупуємо у першому методі кількість переданих пакетів по послугам: телефонія, інтернет, IPTV і порівняємо їх із аналогічними із другого методу.

$$N_{T(ABC)} = n_1 \cdot t \cdot f \cdot p_1 \cdot N + (n_1 \cdot t \cdot f \cdot p_2 \cdot N) + (n_1 \cdot t \cdot f \cdot p_3 \cdot N) = n_1 \cdot t \cdot f \cdot N \quad (3.19)$$

$$N_{I(ABC)} = (p_2 \cdot N \cdot V_2 / h) + (p_3 \cdot N \cdot V_3 / h) \quad (3.20)$$

$$N_{V(ABC)} = p_3 \cdot N \cdot n_3 \cdot t_V \quad (3.21)$$

$$N_{(ABC)} - N_{(TIV)} = ((p_2 \cdot N \cdot V_2 / h) + (p_3 \cdot N \cdot V_3 / h)) - ((p_2 + p_3) \cdot N \cdot V_2 / h) = p_3 \cdot N (V_3 - V_2) / h \quad (3.22)$$

$$N_{(ABC)} - N_{(TIV)} = 8033,44 \cdot 10^6 - 7317,6157 \cdot 10^6 = 715,83 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

Кількість переданих пакетів від послуги IPTV лідирує і на три порядки вища, ніж від послуги телефонія, хоча користувачі послуги IPTV займають незначну долю. Кількість переданих пакетів від послуги телефонія і від послуги IPTV в обох розглянутих методах однакова. Різниця в кількості пакетів від послуги інтернет. В методі контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи ця кількість складається із двох частин: перша частина залежить від швидкості передачі пакетів послуги інтернет, а друга частина співпадає зі швидкістю передачі пакетів від послуги IPTV класу С, тобто більша, ніж в методі згідно запитів до послуг, які потребують абоненти, в якому кількість пакетів від послуги інтернет залежить тільки від швидкості послуги інтернет.

У методі контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи збільшується продуктивність вузла доступу, бо передається більша кількість пакетів завдяки абонентам, які використовують увесь спектр послуг: телефонія, інтернет, відео і отримують послугу інтернет із швидкістю відео, ніж у методі згідно запитів до послуг, які потребують абоненти. При подальшому збільшенні користувачів послуги IPTV збільшується кількість пакетів від послуги інтернет тільки у методі контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи.

Зобразимо на рис. 3.3 кількість переданих пакетів від послуг двох методів

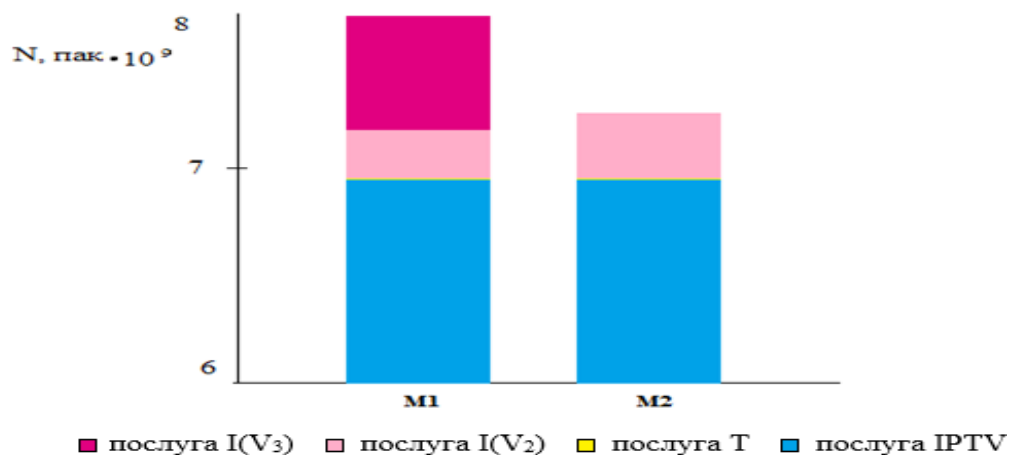


Рисунок 3.3 – Кількість переданих пакетів від послуг двох методів

3.3 Методи розрахунків, аналізу та оцінки параметрів якості смуги пропускання послуг мобільного зв'язку в ЧНН

Рекомендація Y.1541 визначає чисельні значення параметрів, специфікованих в ній, які повинні виконуватися в мережах IP на міжнародних

трактах, що з'єднують термінали користувачів. Норми на параметри розділені за різними класами QoS, які визначені в залежності від додатків і мережних механізмів, що застосовуються для забезпечення гарантованої якості обслуговування.

Вимоги до смуги пропускання визначені гарантіями якості обслуговування. Затримка поширення з кінця в кінець при передачі мови не повинна перевищувати 100 мс, тобто $t_p \leq 100$ мс, а вірогідність перевищення затримки порогу в 50 мс не повинна перевершувати 0,001, тобто $\rho(t_p > 50 \text{ мс}) \leq 0,001$.

Час передачі пакету із кінця в кінець складається із :

$$t_p = t_{\text{пакет}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{core}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{буф}} \quad , \quad (3.23)$$

де: $t_{\text{пакет}}$ – час пакетизації (залежить від типу трафіку і кодека);

$t_{\text{ад}}$ – час затримки при транспортуванні в мережі доступу;

t_{core} – час затримки при поширенні в транзитній мережі;

$t_{\text{буф}}$ – час затримки в приймальному буфері.

Затримка в приймальному буфері велика, тому в мережі доступу і транспорту потрібно забезпечувати мінімальну затримку. По завданню затримка мережі доступу не повинна перевищувати 5 мс. Час обробки заголовка IP-пакету близько до постійного. Розподіл інтервалів між надходженнями пакетів відповідає експоненціальному закону. Для опису процесу на маршрутизаторі можна скористатися моделлю M/G/1, для якої відома формула Полячека-Хинчина:

$$\bar{t}_{\text{ад}} = \frac{\tau_i (1 + C_b^2)}{2(1 - \lambda_i \tau_i)} \quad (3.24)$$

де: τ_i – середня тривалість обслуговування одного пакету;

C_b^2 – квадрат коефіцієнта варіації, $C_b^2 \approx 0,2$;

λ_i – параметр потоку обраного і методу;

$\bar{t}_{\text{ад}}$ – середній час затримки пакету в мережі доступу, $\bar{t}_{\text{ад}} = 0,005$ с.

В подальшому у формулах цифру 1 призначимо методу із розподілом абонентів на класи, а цифру 2 - методу з розподілом абонентів за послугами.

Час обробки IP- пакету значною мірою залежить від використовуваних на маршрутизаторі правил обробки.

Ненульовий коефіцієнт варіації враховує можливі відхилення при використанні в заголовках IP полів ToS .

Параметр потоку, тобто середнє число пакетів в секунду, в мультисервісній мережі доступу до інфокомунікаційних послуг знаходимо за формулою:

$$\lambda_i = N\Sigma/3600 \quad (3.25)$$

$$\lambda_1 = 8033,44 \cdot 10^6 / 3600 = 2,2315 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

$$\lambda_2 = 7317,6157 \cdot 10^6 / 3600 = 2,033 \cdot 10^6 \text{ (пакетів)}$$

Залежність максимальної величини для середньої тривалості обслуговування одного пакету від середнього часу затримки в мережі доступу для кожного із двох методів знайдемо за формулою:

$$\tau = \frac{1}{\lambda + \frac{1 + C_b^2}{2t_{ад}}} \quad (3.26)$$

$$\tau_1 = 1 / (2,2315 \cdot 10^6 + ((1+0,2) / (2 \cdot 0,005))) = 1/2231620 = 0,448 \cdot 10^{-6} \text{ (секунд)}$$

$$\tau_2 = 1 / (2,033 \cdot 10^6 + ((1+0,2) / (2 \cdot 0,005))) = 1/2033120 = 0,492 \cdot 10^{-6} \text{ (секунд)}$$

Інтенсивність обслуговування знаходиться за формулою:

$$\beta_i = 1/\tau_i \quad (3.27)$$

$$\beta_1 = 1/\tau_1 = 1 / (0,448 \cdot 10^{-6}) = 2232143 = 2,232143 \cdot 10^6$$

$$\beta_2 = 1/\tau_2 = 1 / (0,492 \cdot 10^{-6}) = 2032520 = 2,032520 \cdot 10^6$$

Коефіцієнт використання знаходимо за формулою:

$$\rho_i = \lambda_i \cdot \tau_i \quad (3.28)$$

$$\rho_1 = 2,2315 \cdot 10^6 \cdot 0,448 \cdot 10^{-6} = 0,999712$$

$$\rho_2 = 2,033 \cdot 10^6 \cdot 0,492 \cdot 10^{-6} = 1$$

При такому високому використанні щонайменші флуктуації параметрів можуть привести до нестабільної роботи системи.

τ_i вибирається як мінімальне із двох можливих значень: перше – із наведених вище розрахунків, друге значення визначається з умови обмеження завантаження системи, яка зазвичай не повинна перевищувати 0,5.

При використанні системи на 50% користуємося наступною формулою:

$$\tau_i = 0,5 \cdot \rho_i / \lambda_i \quad (3.29)$$

$$\tau_{1(50)} = \rho_1 / \lambda_1 = (0,999712 \cdot 0,5) / (2,2315 \cdot 10^6) = 224 \cdot 10^{-9} \text{ (сек)}$$

$$\tau_{2(50)} = \rho_2 / \lambda_2 = (1 \cdot 0,5) / (2,033 \cdot 10^6) = 246 \cdot 10^{-9} \text{ (сек)}$$

$$\beta_{1(50)} = 1 / \tau_1 = 1 / (224 \cdot 10^{-9}) = 4,464 \cdot 10^6$$

$$\beta_{2(50)} = 1 / \tau_2 = 1 / (246 \cdot 10^{-9}) = 4,065 \cdot 10^6$$

А затримка в мережі доступу

$$t_{ad1} = 0,224 \cdot 10^{-6} (1 + 0,2) / 2 (1 - (0,224 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2315 \cdot 10^6)) = 0,2687226 \cdot 10^{-6} \text{ (сек)}$$

$$t_{ad2} = 0,246 \cdot 10^{-6} (1 + 0,2) / 2 (1 - (0,246 \cdot 10^{-6} \cdot 2,033 \cdot 10^6)) = 0,2952697 \cdot 10^{-6} \text{ (сек)}$$

Розраховувати вірогідність $s(t) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{\tau} - \lambda\right)t}$ при відомих λ та τ недоцільно, бо в Y.1541 вірогідність $P\{t > 50\text{мс}\} < 0.001$ визначена для передачі з кінця в кінець.

При середньому розмірі пакету h пропускна здатність згідно формули:

$$\varphi_i = \beta_{i(50)} \cdot h_i \text{ (бим/с)} \quad (3.30)$$

$$\varphi_1 = \beta_{1(50)} \cdot h_1 = 4,464 \cdot 10^6 \cdot 23,625 \cdot 8 = 0,84 \cdot 10^9 \text{ (Бим/с)} = 0,84 \text{ (ГБим/с)}$$

$$\varphi_2 = \beta_{2(50)} \cdot h_2 = 4,065 \cdot 10^6 \cdot 23,625 \cdot 8 = 0,77 \cdot 10^9 \text{ Бим/с} = 0,77 \text{ (ГБим/с)}$$

Час передачі пакету із кінця в кінець для двох методів

$$t_{p1} = 67,5 + 0,0002687226 \cdot 10^{-3} + t_{cope} + 0,0002687226 \cdot 10^{-3} + 60 = (127,5005374452 + t_{core}) \text{ (мс)}$$

$$t_{p2} = 67,5 + 0,0002952697 \cdot 10^{-3} + t_{cope} + 0,0002952697 \cdot 10^{-6} + 60 = (127,5005905394 + t_{core}) \text{ (мс)}$$

Цей параметр відповідає 1 класу QoS.

Порівняємо на рис. 3.4 пропускну здатність від двох методів

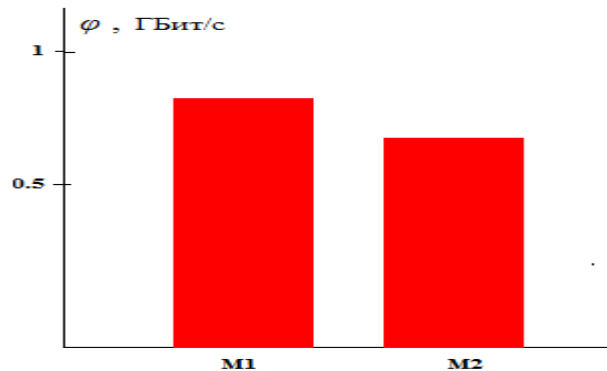


Рисунок 3.4 – Пропускна здатність від двох методів

Із розрахунків та діаграм можна зробити висновок: при методі контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи більша пропускна здатність, бо більший параметр потоку, ніж при методі, згідно запитів до послуг, які потребують абоненти.

Телефонна мережа гарантувала високу якість послуги навіть при великих навантаженнях. IP-телефонія, навпаки, не гарантує високої якості, причому при великих навантаженнях вона значно падає.

В результаті розрахунків видно, що вимоги до смуги пропускання визначаються гарантіями якості обслуговування, наданими оператором користувачеві. Затримка поширення з кінця в кінець при передачі мови для 1 класу QoS не повинна перевищувати 400 мс.

Завдяки застосування методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи підвищилася продуктивність і пропускна здатність мультисервісного вузла доступу в порівнянні з методом згідно запитів до послуг, які потребують абоненти. Застосування методів, які забезпечують необхідні показники якості обслуговування при ефективному використанні ресурсів мережі забезпечують більший набір різноманітних додатків, враховуючі найбільш критичні аудіо та відео додатки реального часу.

3.4 Блок-схема алгоритму моделювання

Побудуємо блок-схему алгоритму моделі. Для цього формалізовано зобразимо два методи контролю ресурсів доступу згідно формул, які розглянуті в атестаційній роботі, порівняємо кількість пакетів від послуг телефонії, інтернет і відео та всього вузла доступу; в разі нерівності знайдемо різницю. На рисунку 3.5 зобразимо блок-схему алгоритму досліджуваної моделі.

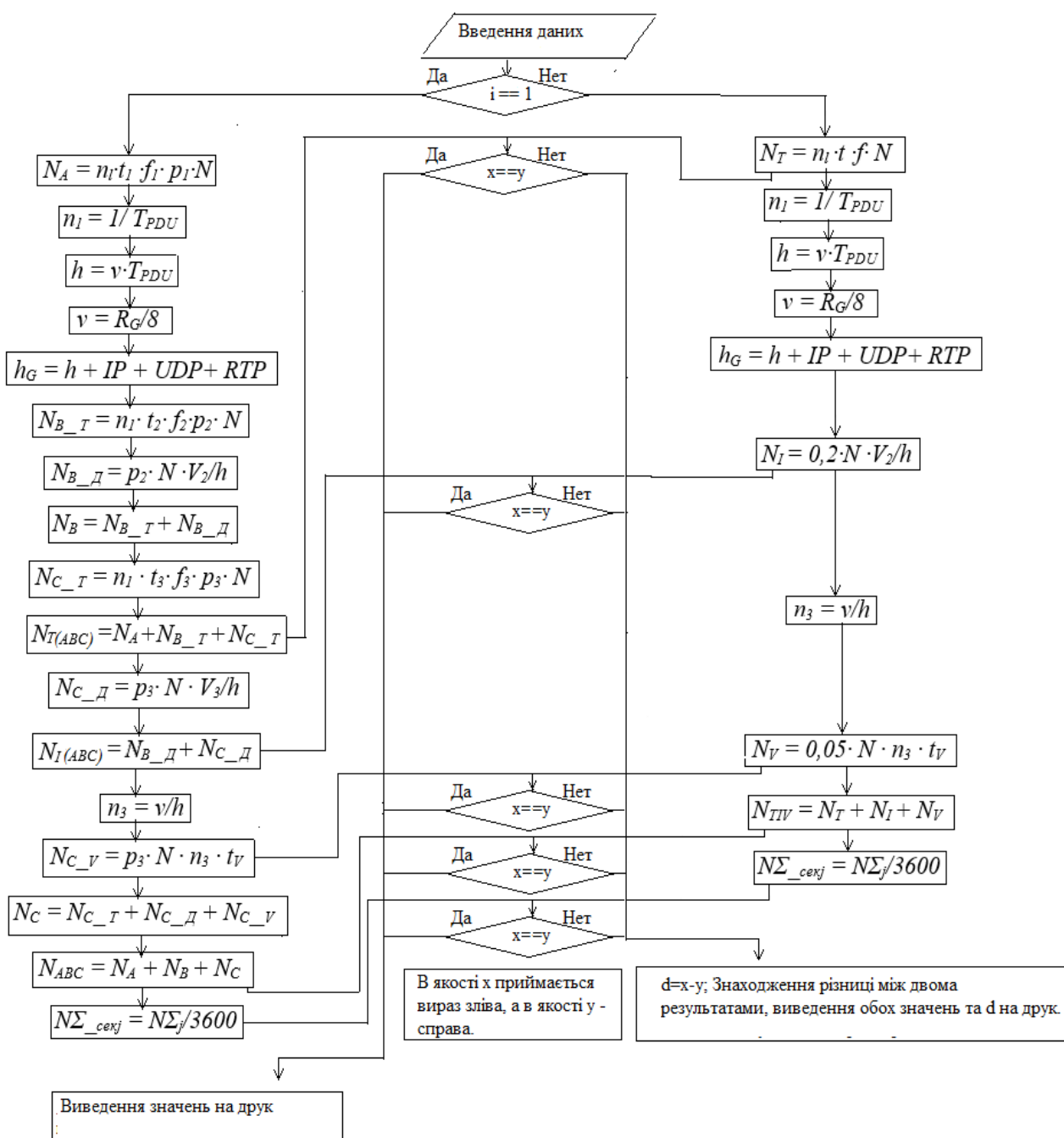


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритму досліджуваної моделі

3.5 Розробка програмних засобів моделювання математичної моделі

Для моделювання досліджуваної математичної моделі було застосовано мову програмування Java [41], проект виконано у програмному середовищі Eclipse. Користуючись перевагами ООП, наданими мовою Java, для кожного із складових елементів або процесів моделі було створено клас, який описує їхню структуру, принцип роботи та функціональність, які необхідні для побудови конкретно даної моделі, уникаючи зайві деталі реалізації пристроїв, які не мають відношення до поставленої задачі. Для побудови мережі було використано такі елементи, як програмний комутатор, сервер та кінцеві пристрої, до складу яких входять ПК, ноутбук та IP-телефон. Для кожного з них відповідно створені класи, - Switch, Server, PersonalComputer, Laptop, Phone, в яких описано їхні параметри (поля) та функції (методи) .

Всі ці класи успадковують від загального класу Element, де створено поля, що відтворюють властивості, характерні для кожного елемента мережі, та, завдяки механізму успадкування, будуть належати до кожного об'єкта класів-наслідників. До таких полів належать тип пристрою, його ім'я, порядковий номер, місцезнаходження, IP-адреса, маска підмережі, кількість портів, клас послуг, до якого належить пристрій, картинка, яка відображає його на екрані, та інші змінні, необхідні для взаємодії елемента з іншими об'єктами та процесами. У конструкторі класу Element відбувається створення та ініціалізація цих змінних, виділення пам'яті під них, а в конструкторах класів-наслідників та в ході виконання програми деякі з них можуть бути змінені в залежності від типу пристрою та умов його знаходження у мережі. Також від цього класу успадковуються загальні для всіх елементів методи - setAll() для встановлення мітки та кнопки на екрані, send() та receive() для пересилання та прийому пакетів, clear() для очищення параметрів, Object createBinars() для запису адресів у бінарній системі числення, String IPConsumer(String res, int[] m) для перетворення адреси на бінарний рядок та ConnectLine findLink (Element e1) для пошуку лінії зв'язку із зазначеним елементом. Усі кінцеві пристрої успадковані від класу EndDevice, який спадкується від класу Element та служить для зазначення специфічних властивостей цих елементів як кінцевих пристроїв. Так як всі елементи повинні бути розміщені на екрані, то також необхідно створити клас WorkPanel, який успадковує всі основні властивості від класу JPanel, які описують

його поведінку як панель робочого вікна, та надає можливість додавати поля та методи, необхідні для функціонування досліджуваної моделі.

За допомогою класу `ArrayList` створюємо колекції для зберігання елементів, які входять до складу мережі. `ArrayList<Element> DObs` призначений для всіх пристроїв у мережі, `ArrayList<Server> allServers` – для серверів, `ArrayList<Switch> allSwitches` – для комутаторів, `ArrayList<JButton> unvisButtons` – для екранних кнопок відкриття терміналу кожного елемента, `ArrayList<JLabel> labelsOnScreen, textlabels` – для міток на екрані зображення пристрою та його імені, `ArrayList<JPopupMenu> menus` – для спливаючих меню при виборі портів, `ArrayList<ClusterPanel> allClusters` – для кластерних панелей. `ArrayList` було вибрано тому, що цей клас-колекція дозволяє створювати списковий масив, який повністю імітує функціональність масиву, таку як індексований доступ, можливість ітерації та відомий поточний розмір масиву, що забезпечує доступ до останнього елемента, але має змінну довжину, що дозволяє динамічне включення нових елементів під час виконання програми без можливості переповнення масиву та необхідності попередньої резервації пам'яті під певне число елементів. Також колекції забезпечують узагальнений тип даних, це є ситуативним для виконуваної задачі, тому що потрібно зберігати елементи різних типів, успадкованих від `Element`, без необхідності приведення типів, що може змінити їхні властивості або закрити доступ до деяких з них.

Створено масиви постійної довжини: `JButton choiseButtons[]` та `JRadioButton choiseRadioButtons[]` для кнопок вибору типу обладнання, `ButtonGroup AllGroups[]` для групування кнопок вибору обладнання одного типу, `JButton clusterChoise[]` – для вибору кластеру, `ConnectLine links[]` для зв'язків між елементами, `int linkLocations[][]` для розміщення каналів зв'язку на екрані, `int chsdPort[]` – для вибору портів при з'єднанні елементів. Також у цьому класі визначений `TermWind termWind` для вікна терміналу та `JFrame jfrm` – робоче вікно, в якому має знаходитись панель.

У конструкторі `WorkPanel()` створюється це вікно, для нього задаються відображений текст, розміри, розташування, також створюються: вікно терміналу та кнопки, які необхідні для вибору обладнання, для кожної із них встановлена назва обладнання та картинка, яка відображає його на екрані, ці кнопки додано у відповідну групу.

Для кожної з цих кнопок викликаються методи `setLocs()` та `forButton()` для встановлення зображення, мітки, розміру, координат та додавання кнопки на необхідну панель. Для кожної кнопки вибору конкретного обладнання викликається `createRadioListener()`, за допомогою якого для кнопки привласнюється `ActionListener`, який реагує на подію натискання на кнопку та привласнює строковій змінній `typeMode` тип обладнання, яке користувач намагається створити, а для кнопок вибору різновиду обладнання викликається `createChoiseListener()`, щоб зробити видимими кнопки вибору обладнання необхідної групи.

Для фрейма `jfrm` встановлюється слухач подій миші `MouseListener`, який при натисканні на екран створює елемент вибраного типу, якщо користувач натиснув на відповідну кнопку. Для цього використано метод `createDOB(int x, int y, int panelNumb)`, в який передано координати та номер панелі. Створюється об'єкт мережного обладнання такого типу, який указано в `typeMode`, він додається до колекції `DObs`, а також `allSwitches` або `allServers`, якщо це комутатор або сервер, для нього створюються текстова мітка та мітка зображення, екранна кнопка методом `createBtn()` методом `setAll` все це встановлюється для елемента, також створюється тимчасова IP-адреса, елементу привласнюється порядковий номер, який співпадає з його номером у `DObs`, та координати, кнопка та мітки встановлюються на екран методом `attachLabel(int x, int y, int panelNmb)`.

У методі `createBtn` створюється кнопка типу `JButton`, додається до панелі, номер якої вказано у параметрах. Створюється колекція елементів меню `ArrayList<JMenuItem> jmi` та спливаюче меню `JPopupMenu portMenu`. Створюється цикл розмірністю кількості портів поточного елемента, на кожній ітерації створюється новий `JMenuItem` з номером порту та додається до `jmi`, для нього встановлюється `ActionListener` в якому створюється канал зв'язку між двома пристроями, якщо було послідовно вибрано порт на кожному з них, за допомогою масиву `chsdPort` та змінної `boolean connected`, встановлюються адреси на порти. Для цього використано метод `createLink(int n0, int n1, int p0, int p1, int panelNmb)`, в якому створюється масив `int[] locs`, в якому зберігаються координати елементів, номери яких передано у параметрах, до масиву `int links[]` із глобальних змінних панелі, номер якої вказано у параметрах, додається новий елемент типу `ConnectLine` - канал, який зв'яже вибрані елементи через вибрані порти, також зберігає координати створеної лінії на екрані. Якщо один із елементів –

комутатор, інший додається до списку зв'язаних з ним елементів. Ця лінія додається до масиву ліній `ConnectLine links` вибраного елемента. Об'єкт цього класу містить масиви з двох портів та двох елементів, які з'єднані даною лінією, а також `int location[]`, який зберігає координати початку та кінця лінії з'єднання, та метод `Element adjacentElem(Element e0)`, який повертає елемент, який є зв'язаний цією лінією із заданим елементом. Масив координат `locs` додається до глобального масиву `int linkLocations`, де зберігаються координати всіх ліній, які мають бути відображені на цій панелі.

Після цього викликається метод `repaint()`, який викликає метод `paintComponent(Graphics g)` із класу `WorkPanel`, де виводяться на екран всі лінії, які належать даній панелі. Конструктор цього класу також створює панель `mnp`, яка належить до внутрішнього класу `MultisectorPanel`, успадкованого від класу `JPanel`. Цей клас описує панель, яка служить для вибору кластерної панелі, яка також описується внутрішнім класом, `ClusterPanel`, успадкованим від `JPanel`. Ця панель містить в собі комутатор та кінцеві пристрої, які належать до його мережі та утворюють один з 8-ми кластерів, на які розділена мережа для спрощення її демонстрації на екрані, а `MultisectorPanel` дозволяє натисканням на одну з 8-ми секторних кнопок перейти до потрібного кластеру. Цей клас містить список-масив `ArrayList <ClusterButton> clusterSigns`, який при створенні об'єкта заповнюється 8 кнопками типу `ClusterButton`, успадкованого від класу `JButton` та застосованого для створення трикутної кнопки-сектора.

Для кожної з кнопок додається `ActionListener`, який за допомогою `choosePanel(int nmb)` дозволяє перейти на кластерну панель, зробивши її видимою, а основну панель – невидимою. При натисканні на кнопку `cloud` із зображенням хмари, яка визначена для кожної з панелей, відбувається повернення до панелі вибору кластера. На основній панелі класу `WorkPanel` розміщені усі комутатори мережі, з'єднані між собою за кільцевою топологією для демонстрації руху трафіку на магістральному рівні.

Також `WorkPanel` має метод `createNetwork(int panelNmb)`, який дозволяє створити та розмістити необхідну кількість елементів на вибраній панелі, та `createSwitchSet()` для розміщення та з'єднання комутаторів на основній панелі. Ці методи викликаються у конструкторі `WorkPanel` при створенні основної панелі, а також завершена панель додається до фрейму методом `jfrm.add(this)`. При натисканні на будь-який елемент мережі відкривається вікно терміналу, яке

описано у класі TermWind, успадкованому від класу JFrame. Його об'єкт є окремим вікном меншого розміру, в якому можна задавати різні параметри для даного пристрою та вести розрахунки. Цей клас містить окремі панелі класу JPanel: panel, calc, codec, term, conf, Vpanel, Cpanel, capacityPanel. З них panel є основною панеллю терміналу, а інші вкладені у JTabbedPane tabbedPane, це панель із вкладками, при натисканні на котрі відбувається перехід на одну з панелей терміналу.

Розглянемо кожну з них та методи, необхідні для її створення. Метод makeTerminal() створює термінал командного рядку tm, який є полем JTextArea, makeConfig() – для conf, панелі конфігурації, де призначаються IP-адреси та статична або динамічна адресація, makeCalc() – для панелі calc, де ведуться розрахунки основних параметрів трафіку, таких як кількість прийнятих пакетів та об'єм даних, деякі з них можна задавати за допомогою полів JTextField, а також тут присутня кнопка simulate для симуляції руху трафіку, та кнопки вибору класу послуг. Інші панелі – для розрахунку числа пакетів кожного з класів послуг, сумарного об'єму трафіку та пропускної здатності. Значення параметрів зберігаються у глобальних змінних, лямбда-вирази використовуються для обчислення формул та обробки тексту, введеного у поля JTextField, метод addItem для створення елементів та додавання на відповідну панель. Клас Route використано для визначення та збереження маршрутів між пристроями, Packet – для створення об'єктів пакетів та їх параметрів, зберігання зображень пакетів різних типів трафіку, PacketTest – для симуляції переміщення мітки зображення пакету між двома елементами методом pktMotion(int delay), NetworkSimulator – для створення та запуску потоків трафіку різних типів (голос, дані, відео), організації порядку викликів з кожного пристрою залежно від класу послуг.

Для симуляції переміщення трафіку між абонентами, між якими відбувається передача повідомлень, використано клас PacketTest, успадкований від класу Thread, який дозволяє організувати розроблений клас у вигляді потоку, що має точку входу у процес виконання у методі run(). У ньому відбувається створення мітки, яка схематично зображує пакет даних, її колір залежить від типу послуг. Координати мітки змінюються кожні декілька секунд, доки пакет не прибуде у пункт призначення, така анімація створює видимість руху трафіку. Наступний пункт призначення визначається маршрутом, який було складено до початку руху пакету, механізм його створення інкапсульовано у маршрутизаторі.

Візуалізація симуляції руху трафіку продемонстрована на рис. 3.6.

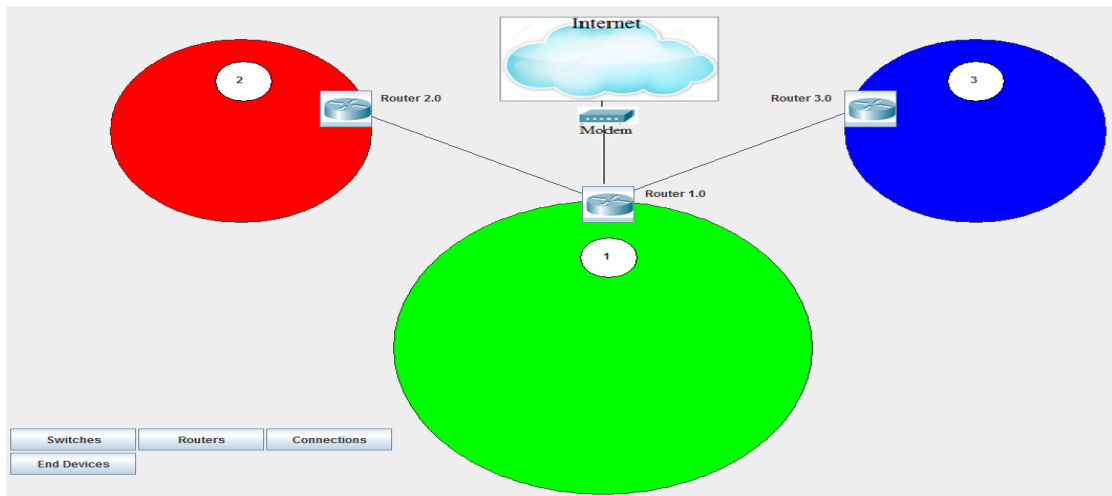


Рисунок 3.6 – Симуляція руху трафіку

Всіх абонентів поділено на три частини: головний офіс – кластер 1 - 256 абонентів, які використовують: телефонію, Інтернет і IPTV; філіали: кластер 2 - 128 абонентів і кластер 3 - 64 абонента, які використовують тільки телефонію.

3.6 Програма моделювання математичної моделі

Представимо текст програми із застосуванням мови програмування Java у додатку А. Наведемо фрагмент програми для розрахунку математичної моделі.

```

JLabel formulae[]=new JLabel[7];
for (int i=0; i<7; i++)
formulae[i]=new JLabel(formulaeTxt[i]);
FormulaResultTail frtA[]={
    ()-> {nj= 1/(Aprm.get("TPDU")*0.001); NetworkSimulator.Vcadr=nj; return " = 1/"+Aprm.get("TPDU")+"*10^-3 = "+nj+" кадрів в секунду";},
    ()-> { v=(int) (Aprm.get("RG")/8*1000); return " = "+Aprm.get("RG")+"/8= "+v/1000+" кбайт/с = "+v+" байт/с";},
    ()-> { h=(int) (v * Aprm.get("TPDU")/1000); return " = "+v+" * "+Aprm.get("TPDU")+ " * 10^-3 = "+h+" байт";},
    ()-> { hG=h+ 20 + 8 +12 ; return " = "+h+" + 20 + 8 +12 = "+hG+" байт";},
    ()-> { return ""};
    ()-> { NjjA=(int) (nj*t*f*pA*N); return nj+"*"+t+"*"+f+"*"+pA+"*"+N+"="+NjjA;},
    ()-> { return ""};};
JButton calcForClsA=new JButton("Позрахувати");
addItem(calcForClsA, 50, 350, 120, 25, true, null,codec);
calcForClsA. addActionListener ( new ActionListener(){
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        if(!calculated)
        {for (int i=0; i<7; i++)
            formulae[i].setText(formulaeTxt[i]+frtA[i].getResult());
            calculated=true;}
    } } );

```

```

JLabel NjBtxt=new JLabel("Число пакетів, генероване користувачами класу В у ЧНН:");
addItem(NjBtxt, 30, 120, 350, 15, true, null, Bpanel);
JLabel Bformulae[]=new JLabel[7];
for (int i=0; i<5; i++)
Bformulae[i]=new JLabel(formulaeTxtB[i]);
addItem(Bformulae[0], 30, 150, 200, 15, true, null, Bpanel);
addItem(Bformulae[1], 30, 170, 200, 15, true, null, Bpanel);
FormulaResultTail frtB[]=new FormulaResultTail[7];
frtB[0]=()-> { return "";};
frtB[1]=()-> { N2tj=(int) (nj*t*f*pB*N); return nj+"*"+t+"*"+f+"*"+pB+"*"+N+"="+N2tj+" пакетів";};
frtB[2]=()-> { V2= (8*1024*1024 ); return "";};
frtB[3]=()-> { N2dj= (int) (pB* N * V2/h); return "="+pB+"*"+N+" * "+V2+"/"+"h"+"="+N2dj+" пакетів";};
frtB[4]=()-> { N2j= N2dj+N2tj; return "="+N2dj+"+"+N2tj+"="+N2j+" пакетів";};
JLabel BmeanVlbl=new JLabel("Для переданих даних за годину середній об'єм складає:");
addItem(BmeanVlbl, 30, 190, 350, 15,true, null, Bpanel);
addItem(Bformulae[2], 30, 220, 350, 15, true, null, Bpanel);
addItem(Bformulae[3], 30, 240, 350, 15, true, null, Bpanel);
JLabel sumpackBlbl=new JLabel("Сумарне число пакетів від абонентів класу В:");
addItem(sumpackBlbl, 30, 260, 350, 15,true, null,Bpanel);
addItem(Bformulae[4], 30, 280, 350, 15, true, null, Bpanel);
JButton calcForClsB=new JButton("Рассчитать");
addItem(calcForClsB, 30, 320, 120, 25, true, null, Bpanel);
calcForClsB. addActionListener ( new ActionListener(){
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        if(!calcultd)
        {for (int i=0; i<5; i++)
            Bformulae[i].setText(formulaeTxtB[i]+frtB[i].getResult());
        calcultd=true;}
    } });

JLabel NjCtxt=new JLabel("Об'єм переданих даних:");
addItem(NjCtxt, 30, 130, 350, 15, true, null, Cpanel);
JLabel Cformulae[]=new JLabel[6];
for (int i=0; i<6; i++)
Cformulae[i]=new JLabel(formulaeTxtC[i]);
addItem(Cformulae[0], 30, 150, 200, 15, true, null, Cpanel);
JLabel VCtxt=new JLabel("Число голосових пакетів, генероване користувачами класу С у ЧНН:");
addItem(VCtxt, 30, 170, 350, 15, true, null, Cpanel);
addItem(Cformulae[1], 30, 190, 200, 15, true, null, Cpanel);
JLabel N3djtxt=new JLabel("Число пакетів даних, генероване користувачами класу С у ЧНН:");
addItem(N3djtxt, 30, 210, 350, 15, true, null, Cpanel);
addItem(Cformulae[2], 30, 230, 200, 15, true, null, Cpanel);
JLabel n3jtxt=new JLabel("Число пакетів при трансляції одного каналу :");
addItem(n3jtxt, 30, 250, 350, 15, true, null, Cpanel);
addItem(Cformulae[3], 30, 270, 200, 15, true, null, Cpanel);
JLabel N3jvtxt=new JLabel("Кількість пакетів, генерованих 40 каналами в ЧНН :");
addItem(N3jvtxt, 30, 290, 350, 15, true, null, Cpanel);
addItem(Cformulae[4], 30, 310, 200, 15, true, null, Cpanel);
JLabel N3jttxt=new JLabel("Сумарне число пакетів, генерованих користувачами класу С у ЧНН :");
addItem(N3jttxt, 30, 330, 350, 15, true, null, Cpanel);
addItem(Cformulae[5], 30, 350, 200, 15, true, null, Cpanel);
FormulaResultTail frtC[]=new FormulaResultTail[7];
frtC[0]=()-> { N3tj=(int) (nj*t*f*pB*N); return "="+nj+"*"+t+"*"+f+"*"+pB+"*"+N+"="+N3tj+" пакетів";};
frtC[1]=()-> { V2= (8*1024*1024 ); return "";};
frtC[2]=()-> { N3dj= (int) (pC* N * V3/h); return "="+pC+"*"+N+" * "+V3+"/"+"h"+"="+N3dj+" пакетів";};
frtC[3]=()-> { n3j = (int) (v/h); return "="+v0+"/"+"h"+"="+ n3j+" пакетів";};
frtC[4]=()-> { N3vj= (int) (pC* N * n3j * t3v); return "="+pC+"*"+N+" * "+n3j+"*"+t3v+"="+N3j+" пакетів";};
frtC[5]=()-> { N3j= N3dj+N3tj+N3vj; return "="+N3dj+"+"+N3tj+"="+N3j+" пакетів";};

JButton calcForClsC=new JButton("Рассчитать");
addItem(calcForClsC, 30, 370, 120, 25, true, null, Cpanel);
calcForClsC. addActionListener ( new ActionListener(){
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        if(!calcultd)
        {for (int i=0; i<6; i++)
            Cformulae[i].setText(formulaeTxtC[i]+frtC[i].getResult());
        calcultd=true;}
    } });

```

```

FormulaResultTail frtCap[]=new FormulaResultTail[7];
frtCap[0]=()-> { NjSj= NjJA+N2j+N3j; return "=NjJA+\"+N2j+\"+N3j+\"+ NjSj+\" пакегіс\";};
frtCap[1]=()-> { NperScnd= NjSj/3600; return "=NjSj+\"/3600+\"+ NperScnd+\" пакегіс/с\";};
frtCap[2]=()-> { tau= 1/(lambd+(1+Cb*Cb)/(2*t_ad)); return "= 1/(\"+lambd+\"+(1+Cb+\"^2)/(2*\"+t_ad+\"))=\"+tau+\" сек\";};
frtCap[3]=()-> { beta= 1/tau; return "=1/\"+tau+\"=\"+ beta;};
frtCap[4]=()-> { ro= lambd*tau; return "=\"+tau+\"*\"+lambd+\"=\"+ ro;};
frtCap[5]=()-> { tauNew=ro*0.5/lambd; return "=ro+\"*0.5/\"+lambd+\"=\"+ tauNew+\" сек\";};
frtCap[6]=()-> { fi=beta*h; return "=\"+beta+\"*\"+h+\"=\"+ fi+\" біт/сек\";};
JLabel sumPktLbl=new JLabel("<html>Сумарне число пакегіс, яке повинен обробити вузол доступу:</html>");
addItem(sumPktLbl, 20, 10, 200, 70, true, null, capacityPanel); //
JLabel sumPktFrm=new JLabel(formulaeTxtCap[0]="NjSj = N1j + N2j + N3j");
addItem(sumPktFrm, 20, 70, 350, 30, true, null, capacityPanel);
JLabel perScndLbl=new JLabel("<html>Середнє число пакегіс в секунду :");
addItem(perScndLbl, 20, 110, 220, 30, true, null, capacityPanel); //
JLabel perScndFrm=new JLabel(formulaeTxtCap[1]="NS cekj = NSj/3600 ");
addItem(perScndFrm, 20, 140, 350, 30, true, null, capacityPanel);
JLabel maxDelayLbl=new JLabel("<html>Залежність максимальної величини для середньої тривалості обслуговування одного пакегіс від середнього часу затримки в мережі доступу");
addItem(maxDelayLbl, 20, 180, 350, 50, true, null, capacityPanel);
JLabel maxDelayFrm=new JLabel(new ImageIcon ("D:\\imagesForWork\\delayFormula.png"));
addItem(maxDelayFrm, 20, 240, 100, 59, true, null, capacityPanel);
JLabel maxDelayFrm0=new JLabel(formulaeTxtCap[2]="");
addItem(maxDelayFrm0, 123, 245, 150, 30, true, null, capacityPanel);
JLabel intensLbl=new JLabel("<html>Інтенсивність обслуговування пов'язана з середнім часом затримки пакегіс. </html>");
addItem(intensLbl, 20, 305, 300, 50, true, null, capacityPanel);
JLabel intensFrm=new JLabel(formulaeTxtCap[3]="beta_j=1/tau_j");
addItem(intensFrm, 20, 355, 300, 20, true, null, capacityPanel);
JLabel roLbl=new JLabel("<html>Коефіцієнт використання :");
addItem(roLbl, 20, 385, 200, 20, true, null, capacityPanel);
JLabel roFrm=new JLabel(formulaeTxtCap[4]="ro_j = lambd_j * tau_j");
addItem(roFrm, 20, 415, 300, 20, true, null, capacityPanel);
JLabel overUse=new JLabel("<html>При такому високому використанні щонайменшї флуктуації параметрів можуть привести до нестабільної роботи системи.</html>");
addItem(overUse, 420, 20, 250, 57, true, null, capacityPanel);
JLabel halfUse=new JLabel("<html>При використанні системи на 50% :");
addItem(halfUse, 420, 80, 250, 20, true, null, capacityPanel);
JLabel halfUseFrm=new JLabel(formulaeTxtCap[5]="tau_j = ro_j * 0.5 / lambd_j");
addItem(halfUseFrm, 420, 110, 250, 20, true, null, capacityPanel);
JLabel bandwidthLbl=new JLabel("<html>При середньому розмірі пакегіс h_j необхідна смуга пропускання: </html>");
addItem(bandwidthLbl, 420, 140, 250, 35, true, null, capacityPanel);
JLabel bandwidthFrm=new JLabel(formulaeTxtCap[6]="fi_j = beta_j * h_j");
addItem(bandwidthFrm, 420, 185, 250, 20, true, null, capacityPanel);
JLabel capFormulae[]= {sumPktFrm, perScndFrm, maxDelayFrm0, intensFrm, roFrm, halfUseFrm, bandwidthFrm};

JButton calcForCap=new JButton("Рассчитать");
addItem(calcForCap, 420, 220, 120, 25, true, null, capacityPanel);
calcForCap.addActionListener ( new ActionListener(){
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        if(!calcltd)
            for (int i=0; i<6; i++)
                capFormulae[i].setText(formulaeTxtCap[i]+frtCap[i].getResult());
        calcltd=true;
    }
});

frtUncls[0]=()-> { Nt= (int) (1*nj*t*f*N); return "=\"+pA+\"+pB+\"+pC+\")*njFmt+\"+t+\"*\"+f+\"*\"+N+\"=\"+ Nt+\" пакегіс\";};
frtUncls[1]=()-> { Nd= (int) ((pB+pC)*N*V2/h); return "=\"+pB+\"+pC+\")*N+\"*\"+V2+\"/\"+h+\"=\"+ Nd+\" пакегіс\";};
frtUncls[2]=()-> { Nv= (int) (pC*N*V3/h); return "=\"+pC+\"*\"+N+\"*\"+V3+\"/\"+h+\"=\"+ Nv+\" пакегіс\";};
frtUncls[3]=()-> { NSun= Nt+Nd+Nv; return "=\"+Nt+\"+Nd+\"+Nv+\"=\"+ NSun;};
frtUncls[4]=()-> { NperScndUn= NSun/3600; lambdUn=NperScndUn; return "=\"+NSun+\"/3600+\"+ NperScndUn+\" пакегіс/с\";};
frtUncls[5]=()-> { tauUn=1/(lambdUn+(1+Cb*Cb)/(2*t_ad));tauUnFmt.format("%.3e",tauUn);return "= 1/(\"+lambdUn+\"+(1+Cb+\"^2)/(2*\"+t_ad+\"))=\"+tauUnFmt+\" сек\";};
frtUncls[6]=()-> { betaUn= 1/tauUn; return "=1/\"+tauUnFmt+\"=\"+ betaUn;};
frtUncls[7]=()-> { roUn= lambdUn*tauUn; roUnFmt.format("%.3f", roUn); return "=\"+tauUnFmt+\"*\"+lambdUn+\"=\"+ roUnFmt;};
frtUncls[8]=()-> { tauUnNew=roUn*0.5/lambd; tauUnNewFmt.format("%.4e", tauUn); return "=\"+roUnFmt+\"*0.5/\"+lambd+\"=\"+ tauUnNewFmt+\" сек\";};
frtUncls[9]=()-> { fiUn=betaUn*h; return "=\"+betaUn+\"*\"+h+\"=\"+ fiUn+\" біт/сек\";};
JLabel tail=new JLabel("<html>0.5+\"*\"+N+\"+\"+V3+\"-\"+V2+\"/\"+h+\"=\"+new Formatter().format("%.3f", 0.5*N*(V3-V2)/h));
addItem(tail, 480, 345, 350, 30, true, null, unclassifiedPanel);

```

3.6 Результати моделювання і розрахунки за допомогою програми

Із використанням програмної мови Java була розроблена панель, зображена на рисунку 3.7 для розрахунку вихідних параметрів, а на рисунках 3.8 - 3.11 - надано розрахунки математичної моделі та пропускну здатності розглянутих методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг [42].

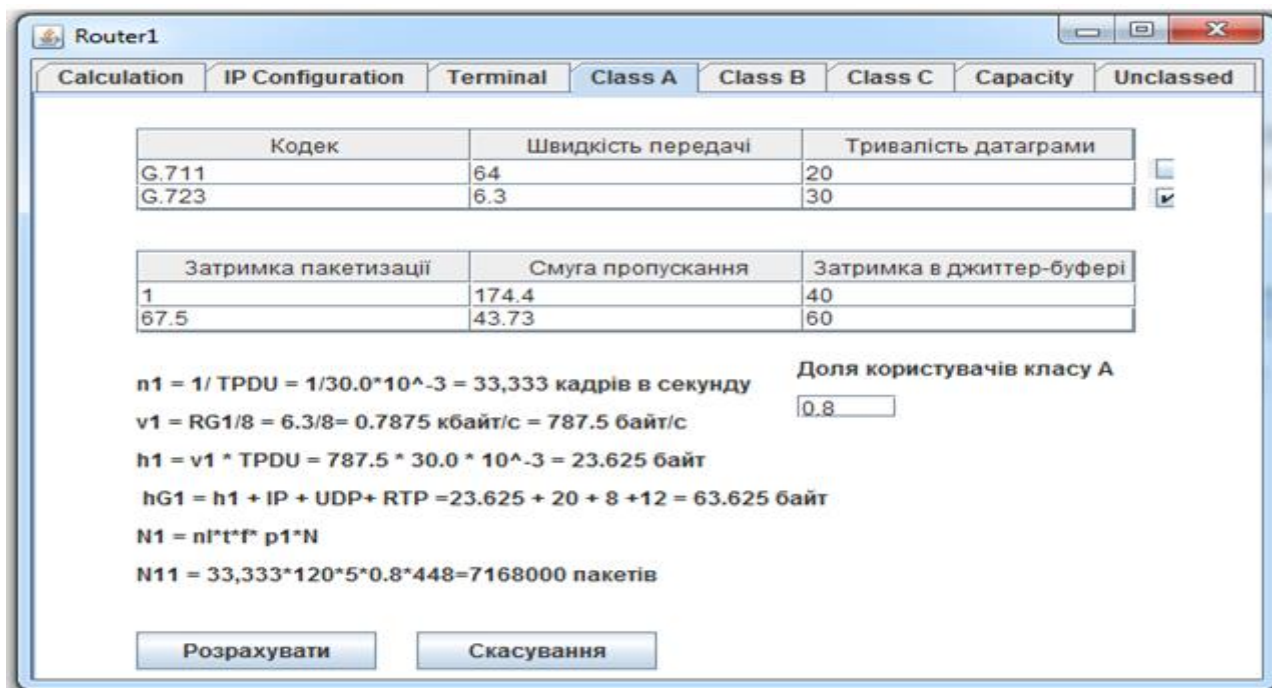


Рисунок 3.7 – Панель розрахунку вихідних параметрів досліджуваної моделі

Розрахунки, використані для класу А, застосуємо для класу В, різницю складає доля абонентів у класі.

Доля користувачів класу В

Число пакетів, генероване користувачами класу В у ЧНН:

$$N2t = n1 \cdot t \cdot f \cdot p2 \cdot N$$

$$N21 = 33,333 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0.15 \cdot 448 = 1344000 \text{ пакетів}$$

Для переданих даних за годину середній об'єм складає:

$$V2 = 10 \text{ Мбайт} = 10 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 1024 \text{ біт} = 8.388608 \text{E}7 \text{ біт}$$

$$N2d = p2 \cdot N \cdot V2 / h = 0.15 \cdot 448 \cdot 8.388608 \text{E}7 / 23.625 = 238609294 \text{ пакетів}$$

Сумарне число пакетів від абонентів класу В:

$$N2 = N2t + N2d = 238609294 + 1344000 = 239953294 \text{ пакетів}$$

Рисунок 3.8 – Розрахунок кількості пакетів від класу В

Розрахунки, використані для класів А і В відносно трафіку даних і голосу, застосуємо для класу С, різницю складає доля абонентів у класі.

Доля користувачів класу С

Об'єм переданих даних:

$$N3t = n1 \cdot t \cdot f \cdot p3 \cdot N = 33,333 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0.05 \cdot 448 = 448000 \text{ пакетів}$$

Число голосових пакетів, генероване користувачами класу С у ЧНН:

$$V3 = 100 \text{ Мбайт} = 100 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 1024 = 8.388608 \text{E}8 \text{ біт}$$

Число пакетів даних, генероване користувачами класу С у ЧНН:

$$N3d = p3 \cdot N \cdot V3 / h = 0.05 \cdot 448 \cdot 8.388608 \text{E}8 / 23.625 = 795364314 \text{ пакетів}$$

Число пакетів при трансляції одного каналу :

$$n3 = v / h = 2048000 / 23.625 = 86688 \text{ пакетів}$$

Кількість пакетів, генерованих 40 каналами в ЧНН :

$$N3_V = p3 \cdot N \cdot n3 \cdot t3_V = 0.05 \cdot 448 \cdot 86688 \cdot 3600 = 6990520320 \text{ пакетів}$$

Сумарне число пакетів, генерованих користувачами класу С у ЧНН :

$$N3 = N3_T + N3_Д + N3_V = 448000 + 795364314 + 6990520320 = 7786332634 \text{ пакетів}$$

Рисунок 3.9 – Розрахунок кількості пакетів від класу С

| | |
|---|---|
| Сумарне число пакетів, яке повинен обробити вузол доступу: | $NS = N1 + N2 + N3 = 7168000 + 239953294 + 7786332634 = 8033453928$ пакетів |
| Середнє число пакетів в секунду : | $NS_сек = NS/3600 = 8033453928/3600 = 2231514$ пакетів/с |
| Залежність максимальної величини середньої тривалості обслуговування одного пакету від середнього часу затримки в мережі доступу: | $\tau = \frac{1}{\lambda + \frac{1 + C_b^2}{2\tau_{зд}}} = 1 / ((2231514.0 + (1 + 0.2^2)) / (2 * 0.005)) = 4,481e-07$ сек |
| Інтенсивність обслуговування пов'язана з середнім часом затримки пакету. | $\beta_j = 1/\tau_j = 1/4,481e-07 = 2231618.0$ |
| Коефіцієнт використання: | $\rho_j = \lambda_j * \tau_j = 0,99995 * 2231514.0 = 0,99995$ |
| При такому високому використанні щонайменші флуктуації параметрів можуть привести до нестабільної роботи системи. | |
| При використанні системи на 50% : | $\tau_j = \rho_j * 0.5 / \lambda_j = 0,99995 * 0.5 / 2231514.0 = 2,2405e-07$ сек |
| При середньому розмірі пакету hj необхідна пропускну здатність: | $f_j = \beta_j * h_j = 4463236.0 * 23.625 * 8 = 8.43551604E8$ біт/сек |

Рисунок 3.10 – Розрахунок пропускну здатності для абонентів за класами

Для другого методу, який не передбачає розділення користувачів на класи, використаємо ті ж самі параметри кодеків, як і для першого методу.

Для телефонії кількість пакетів розраховується як:

$$Nt = (p1 + p2 + p3) * n1 * f * N = (0.8 + 0.15 + 0.05) * 33,333 * 120 * 5 * 448 = 8960000 \text{ пакетів}$$

Для Інтернету кількість пакетів дорівнює:

$$Nd = (p2 + p3) * N * V2/h = (0.15 + 0.05) * 448 * 8.388608E7 / 23.625 = 318145725 \text{ пакетів}$$

Для телебачення кількість пакетів дорівнює:

$$Nv = p3 * N * V3/h = 0.05 * 448 * 86688 * 3600 = 6990520320 \text{ пакетів}$$

Сумарне число пакетів, яке повинен обробити вузол доступу:

$$Ns = Nt + Nd + Nv = 8960000 + 318145725 + 6990520320 = 7317626045$$

Середнє число пакетів в секунду :

$$Ns_сек = Ns/3600 = 7317626045/3600 = 2032673 \text{ пакетів/с}$$

Залежність максимальної величини для середньої тривалості обслуговування одного пакету від середнього часу затримки в мережі доступу:

$$\tau = \frac{1}{\lambda + \frac{1 + C_b^2}{2\tau_{зд}}} = 1 / ((2032673.0 + (1 + 0.2^2)) / (2 * 0.005)) = 4,919e-07 \text{ сек}$$

Інтенсивність обслуговування пов'язана з середнім часом затримки пакету.

$$\beta_j = 1/\tau_j = 1/4,919e-07 = 2032777.0$$

Коефіцієнт використання:

$$\rho_j = \lambda_j * \tau_j = 4,919e-07 * 2032673.0 = 1,000$$

При такому високому використанні щонайменші флуктуації параметрів можуть привести до нестабільної роботи системи.

При використанні системи на 50% :

$$\tau_j = \rho_j * 0.5 / \lambda_j = 1,000 * 0.5 / 2032673.0 = 2,4597e-07 \text{ сек}$$

При середньому розмірі пакету h необхідна пропускну здатність:

$$f_j = \beta_j * h_j = 4065554.0 * 23.625 * 8 = 7.68389706E8 \text{ біт/сек}$$

$$N(ABC) - N(TIV) = ((0,15 * N * V2/h) + (0,5 * N * V3/h)) - (0,2 * N * V2/h) = 0,5N(V3 - V2)/h = 0,5 * 448(8.388608E8 - 8.388608E7) / 23.625 = 7158278826,667$$

Рисунок 3.11 – Розрахунки математичної моделі

В процесі виконання атестаційної роботи було розроблено математичну модель для методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, який розглянуто як оптимізаційний, і для методу контролю параметрів доступу для абонентів, згідно послуг, який розглянуто як альтернативний.

Для апроксимації ідеальних процесів, що протікають в системі використано детерміновану процедуру. Завдяки формалізованому опису двох основних методів контролю параметрів доступу до інфокомунікаційних послуг при однакових вхідних параметрах можна спостерігати за розрахунками і отримати в підсумку різну продуктивність мультисервісного вузла доступу.

Результати моделювання, які отримані по заданій сукупності вхідних параметрів моделі такі: вихідні параметри у оптимізаційного методу кращі, ніж у

альтернативного. Адекватність моделювання за допомогою детермінованої апроксимації знайдено шляхом порівняння двох розглянутих методів - знайдено різницю між описаного формулами: оптимізаційного методу і альтернативного. Отримано підтвердження, що метод контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, кращий, бо підвищилася продуктивність і пропускна здатність мультисервісного вузла доступу завдяки більшій кількості пакетів від послуги інтернет, яка в цьому методі складається із двох частин: перша - залежить від швидкості передачі пакетів послуги інтернет, а друга - співпадає зі швидкістю передачі пакетів послуги IPTV, тобто більша, в порівнянні з методом згідно запитів до послуг, які потребують абоненти, де кількість пакетів від послуги інтернет залежить тільки від швидкості послуги інтернет.

Можна зробити висновок, що моделювання виконано успішно.

Подібну математичну модель розглянуто у науковій статті А. М. Назарова «Модели и методы исследования процессов функционирования и оптимизации построения сетей связи следующего поколения при произвольных распределения поступления и обслуживания пакетов разных классов качества» [43].

Досліджувана в роботі математична модель побудована на основі даної, яка відповідає вимогам адекватності та достовірності. Розроблена модель відображає властивості даної моделі, яка описана у статті, так як передає основну структуру розподілення пакетів на класи обслуговування за пріоритетами та задовольняє математичним умовам, заданим у рівняннях, представлених у даній моделі.

Для математичної моделі, згідно представлених математичних формул, розроблена блок-схема алгоритму моделювання. Результати моделювання і пропускна здатність для двох методів були наглядно відображені у вигляді діаграм та проведено порівняльний аналіз.

Для моделювання математичної моделі розроблено програму із застосуванням мови програмування Java, проект виконано у програмному середовищі Eclipse.

Масштабування часу дає змогу наглядати за рухом пакетів від абонентів, які користуються інфокомунікаційними послугами. На відміну від існуючих програм, націлених на виконання однієї функції, розроблена програма дозволяє в одному продукті виконувати розрахунки, строїти діаграми і візуалізувати рух трафіку, що скорочує помилки, зменшує похибки, зберігає ресурси і час.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі магістра на тему: «Дослідження методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг» виконано завдання в повному обсязі.

З цією метою проведено аналіз перспектив розвитку нових поколінь інфокомунікацій. В період всеохоплюючої глобалізації, коли Інтернет речей став найбільшою категорією підключених пристроїв, об'єднав реальні речі у віртуальну мережу і перетворив звичні для нас речі у нові пристрої, виникла потреба в розробці мережі майбутнього для розширення спектру послуг, що надаються з виконанням таких нових функцій, як «розумні» мережі та мережі «речей», а також для забезпечення вільного доступу до інформаційно-комунікаційних ресурсів та інтелектуального надбання людства в будь-якому географічному місці, в будь-який час на базі нових та інноваційних технологій.

Завдяки ретельному аналізу прогнозів Cisco щодо інтернету речей та розумних мереж очевидно, що саме в прогресі інфокомунікаційних технологій, які схильні до безперервних, стрімких, кардинальних змін і є одним із значущих факторів за ступенем впливу на наше життя, заключено найбільший потенціал для соціально-економічного розвитку і статусу країни в світовому співтоваристві.

Встановлено, в мережах майбутнього застосовуються основні достоїнства NGN: розв'язка між послугами і транспортуванням; в транспортному шарі перевага віддається технології IP з підтримкою якості обслуговування, яка забезпечує єдині алгоритми доставки інформації для різноманітних видів зв'язку; при застосуванні загальних контролерів сигналізації - єдина система комутації для спрощення алгоритмів встановлення з'єднань; запровадження Softswitch узгоджує протоколи сигналізації мереж одного типу і мереж комутації каналів з IP-мережами.

Також має місце прагнення об'єднати всі напрямки телекомунікацій та інформатизації: поєднання всіх рівнів конвергенції за допомогою IP-мережи з реалізацією можливості надавати безперервність послуги голосу, даних і відео через всі доступні типи мереж інноваційними методами при переході абонента між мережами доступу.

Враховуючи те, що мобільність – найважливіший напрямок розвитку інфокомунікаційної системи, приведена перша концептуальна послуга для NGN -

Triple Play, яка основана на тому, що усі сучасні послуги зв'язку можна подати у вигляді об'єднання мови, даних, відео, із яких послуга IPTV - найперспективніша для впровадження і найкритичніша до завантаження транспортної мережі.

Показано, що архітектура управління інфокомунікаційними послугами реалізує: підтримку багаточисельних технологій доступу за рахунок гнучкої конфігурації мережі; розподільне управління на основі використання принципу розподільної обробки в пакетних мережах; відкрите управління для мережевих інтерфейсів при підтримці процесів створення нових і змінення існуючих послуг.

Розроблено математичну модель двох методів контролю ресурсів доступу до інфокомунікаційних послуг: методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, і методу контролю параметрів доступу згідно запитів до послуг, які потребують абоненти. Адекватність моделювання знайдено за допомогою детермінованій апроксимації. Отримано підтвердження, що метод контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи, кращий бо збільшується продуктивність вузла доступу завдяки абонентам, які споживають увесь спектр послуг: телефонія, інтернет, відео, і отримують більшу кількість пакетів від послуги інтернет, швидкість якої співпадає із швидкістю IPTV.

Показано, що запропонована методика не суперечить раніше відомим науковим фактам та дозволяє бачити, що завдяки застосуванню методу контролю параметрів доступу для абонентів, які розбиті на класи підвищилася продуктивність і пропускна здатність мультисервісного вузла доступу в порівнянні з методом згідно запитів до послуг, які потребують абоненти.

Для моделювання математичної моделі створені блок-схеми, порівняльні діаграми, розроблено програму із застосуванням мови програмування Java, яка дозволяє в одному продукті виконувати розрахунки, строїти діаграми і візуалізувати трафік, що скорочує помилки, зменшує похибки, зберігає ресурси і час. Проект виконано у програмному середовищі Eclipse.

Окремі положення представлені в студентських наукових роботах 2018 та 2019 років [4, 5], на конференції «Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірвальних технологій» ХНУРЕ 2019 та 2020 років [6, 7], на Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми електромагнітної сумісності безпроводових мереж зв'язку» 2019 і 2020 років [8, 9] та впроваджені в навчальний процес з дисципліни «Логістика в інфокомунікаційних системах».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. РЕЗОЛЮЦІЯ 70/1, прийнята Генеральною Ассамблеєю Організації Об'єднаних Націй "Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года" [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/MU15167.html

2. Президент издал указ "О Целях устойчивого развития Украины на период до 2030 года" [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2019/10/1/7227746/>.

3. Звіт Генерального секретаря МСЕ на всесвітньому форумі з політики в галузі електров'язку [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/30544>.

4. Волокітіна О.І., ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ РЕСУРСІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ Студентська наукова робота, Харків: ХНУРЕ, 2019. – 30с.

5. Волокітіна О.І., УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ДОСТУПУ ДО MULTI PLAY ПОСЛУГ Студентська наукова робота, Харків: ХНУРЕ, 2018. – 30с.

6. Сабурова С.А., Волокітіна О.І., УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ДОСТУПУ ДО MULTI PLAY ПОСЛУГ, Матеріали XIII міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у ХІ столітті», Харків 2019р. / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2019

7. Сабурова С.А., Волокітіна О.І., ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ РЕСУРСІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ, Матеріали XIV міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у ХІ столітті», Харків 2020р. / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2020.

8. Сабурова С.А., Волокітіна О.І., УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ДОСТУТУ ДО NGN ПОСЛУГ, Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (EMC-2019): Збірник наукових праць п'ятої міжнародної науково-технічної конференції, Харків 2019р. / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2019.

9. Сабурова С.А., Волокітіна О.І., Радченко В.В., ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ РЕСУРСІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ, Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (EMC-2020): Збірник наукових праць шостої міжнародної науково-технічної конференції, Харків 2020р. / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2020.

10. Гольдштейн Б. С. Сети связи пост NGN [Текст]: учеб. пособие / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. — СПб.: БХВ Петербург, 2014. —160 с.

11. Теорія рішень «розумного» міста та можливості її реалізації на базі єдиної муніципальної платформи [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://hub.kyivstar.ua/news/teoriya-reshenij-umnogo-goroda-i-vozmozhnosti-ee-realizaczi-na-baze-edinoj-municipalnoj-platfomy/>

12. Економічна стратегія України [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoju.html>

13. 7 устройств, с которыми можно начать строить свой "умный дом" [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-Start.htm>.

14. Интернет речей приклади і прогнози зростання в світі [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://deps.ua/en/system-integration/item/66852.html>

15. Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2016-2021 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: http://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/02-09b.html.

16. 25 прогнозов главного футуролога Cisco [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/78575/>.

17. Главный футуролог Cisco: первый человек, который доживет до 300 лет, уже появился на свет [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://www.cisco.com/c/ru_ua/about/press/2013/03202013d.html.

18. Сети NGN, post-NGN [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.nevasm.ru/%20stati/seti-i-telekommunikacii/seti-ngn-post-ngn-ery-i-smena-paradigmy-v-oblasti-infokommunikacij.html>.

19. Телекомунікаційні мережі майбутнього / О. В. Коваль , В. Б. Каток, В. О. Кузьмініх, С. І. Отрох [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу : <http://www/URL: http://telesc.kpi.ua/sites/default/files/document/ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ%20МЕРЕЖ І%20МАЙБУТНЬОГО.pdf> .

20. Вплив ІКТ на економічний розвиток країни [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=3959>
21. Vodafone запустив мережу для «інтернету речей» у комерційну експлуатацію [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://hmarochos.kiev.ua/2020/01/22/vodafone-zapustyv-merezhu-dlya-internetu-rechej-u-komertsijnu-ekspluatatsiyu/>.
22. Киевстар продолжает развивать сеть для «умных» устройств: [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://kyivstar.ua/ru/mm/news-and-promotions/kyivstar-prodolzhaet-razvivat-set-dlya-umnyh-ustroystv>
23. Recommendation ITU-T Y.2011. General principles and general reference model for next generation networks. 2004. [Электронный ресурс] / Режим доступу до ресурсу: [www/ URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2021-200609-I!!PDF-E&type=items](http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2021-200609-I!!PDF-E&type=items) - 10.12.2015 г.
24. Комутація каналів [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5388238/page:25/>
25. Букрина, Е. В. Сети связи и системы коммутации [Текст]: Учебное пособие / Е. В. Букрина. – Екб.: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007. – 186 с.
26. Призначення, склад і структура підсистем підтримки ТКС [Електронний ресурс]-Режим доступу до ресурсу: <http://www.znanius.com/3556.html>
27. Сети следующего поколения NGN [Текст] / Под ред. А. В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
28. Кореш, В. И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа [Текст] / В.И. Кореш. – Наука и техника, 2003.
29. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю.Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
30. 1.3.4. Класифікація послуг зв'язку [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.znanius.com/3558.html>
31. Битнер В. И. Построение сетей доступа [Электронный ресурс] / В. И. Битнер/ - Режим доступу до ресурсу: [www/ URL: http://pi.314159.ru/bitner/bitner1.pdf-2008](http://pi.314159.ru/bitner/bitner1.pdf-2008)
32. Triple Play: как в единой IP-среде уживаются телефон, телевизор и интернет? [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.pvsm.ru/televizor/9135#begin>

33. ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МЕРЕЖІ / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу : <https://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/02/Vorobiienko-P.P.-Telekomunikatsijni-ta-informatsijni-merezhi.pdf>

34. Что такое конвергентная сеть и как к ней перейти [Електронний ресурс]- Режим доступу до ресурсу: http://www.ccc.ru/depot/07_14/0305.htm

35. Сабурова С.А., Волокітіна О.І., УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ДОСТУПУ ДО ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ, Матеріали XII міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у ХІ столітті», Харків 2018р. / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2018.

36. Соколов, Н. А. Семь аспектов развития сети доступа [Текст] / Н. А. Соколов // «Технологии и средства связи». – 2005. - №3

37. Голосові кодеки. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://hi-tech.ua/blog/golosovi-kodeki-porivnyannya-ta-harakteristiki/>

38. Ю.В. Семенов Проектирование сетей звязи следующего поколения. – Спб. : Наука и Техника, 2005. – 240с.: ил.

39. Казиева Г. С. IP-телефония и видеосвязь [Текст]: Методические указания к выполнению курсовой работы, для студентов всех форм обучения для специальности 5В071900 / Г. С. Казиева, Е.В. Ползик: Радиотехника, электроника и телекоммуникации. - Алматы: АУЭС, 2011. – 32 с.

40. Математичні моделі процесів [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/86696/informatika/matematichni_modeli_protseviv

41. Шилдт Г. Java 8. Полное руководство; 9-е изд.: Пер. с англ. - М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2015. - 1376 с.: ил. - Парал. тит. англ.

42. Васильев А. Н. Самоучитель Java с примерами и программами. 3-е издание. — СПб.: Наука и Техника, 2016. — 368 с.: ил

43. Назаров А.М. «Модели и методы исследования процессов функционирования и оптимизации построения сетей связи следующего поколения при произвольных распределения поступления и обслуживания пакетов разных классов качества» [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-i-metody-issledovaniya-protsesov-funktsionirovaniya-i-optimizatsii-postroeniya-setey-svyazi-sleduyuschego-pokoleniya-pri>.