

ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
ІМЕНІ ГЕРОЇВ КРУТ
МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НЕСТЕРЕНКО МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

Прим. № _____
УДК 621.391.1

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОПУСКНОЮ СПРОМОЖНІСТЮ ТА
ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В
ГЕТЕРОГЕННИХ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ
ОБХІДНИМИ ШЛЯХАМИ

(назва дисертації)

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

(шифр і назва спеціальності)

технічні науки

(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

М.М. НЕСТЕРЕНКО

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

АНОТАЦІЯ

Нестеренко М.М. Методологія управління пропускнуою спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – „Телекомунікаційні системи та мережі”. – Національний авіаційний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2024.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню пропускнуої спроможності та якості обслуговування в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за рахунок збільшення ефективності використання наявного мережевого ресурсу при використанні обхідних шляхів передачі, в умовах впливу дестабілізуючих факторів.

У роботі сформульовано наукову проблему, яка полягає в розвитку науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за показниками пропускнуої спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів.

Дана наукова проблема має важливе значення як для теоретичного, так і практичного аспектів щодо створення принципово нового математичного забезпечення для системи управління трафіком реального часу для ефективного використання наявного мережевого ресурсу з метою забезпечення заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального на всіх рівнях гетерогенної електронної комунікаційної мережі (ЕКМ).

Обмеженість аналогічних рішень, пошук напрямків розвитку та сучасні вимоги до електронної комунікаційної мережі при обслуговуванні трафіку реального часу роблять дане дослідження актуальним та пріоритетним.

У дисертаційній роботі вирішено такі взаємопов'язані завдання дослідження:

1. Проведено аналіз стану проблематики управління якістю обслуговування (QoS) трафіка реального часу в складних гетерогенних ЕКМ та визначення особливостей побудови сучасних концепцій з урахуванням міжнародних стандартів, в результаті було з'ясовано:

висока динаміка зміни структури електронних комунікаційних мереж в умовах впливу дестабілізуючих факторів та постійне колювання об'єму вхідного навантаження; обмежений мережевий ресурс;

значна розмірність ЕКМ (десятки, сотні та тисячі вузлів);

складність дотримання заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу;

розрізнені за технологіями побудови (як за форматами повідомлень, так і сигналізацією) мережі доступу та транспортні мережі, і як наслідок їх несумісність;

різномісні архітектурні рішення систем сигналізації, які забезпечують управління трафіком реального часу, і як наслідок їх несумісність;

відсутнє управління потоками трафіка реального часу при оренді мережевих ресурсів;

достатньо великий час реакції та нормалізації у випадку перевантажень; обмеження використання технологій Traffic Engineering (TE);

відсутність оперативного інтегрування новітніх мережевих технологій (сервісів) для розширення спектра послуг операторів комунікаційних послуг.

2. Визначено основні вимоги до моделей, технологій, систем управління та недоліки існуючого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень в гетерогенних ЕКМ для забезпечення нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу (QoS). А саме, існуючий науково-методологічний апарат має ряд недоліків:

не враховує втрати повідомлень, які виникають в процесі обслуговування трафіка реального часу в умовах динамічної зміни структури та обмеженого мережевого ресурсу;

не пристосований до врахування вимог якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при наскрізному встановленні з'єднання між абонентами;

не враховується використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках мережі та методів TE для забезпечення заданих показників QoS;

має обмежені можливості щодо обґрунтування рекомендацій при проектуванні системи сигналізації на основі вимог концепції IP Multimedia Subsystem (IMS).

В сучасних наукових роботах основна увага приділяється визначенню верхніх або нижніх границь пропускної спроможності електронних комунікаційних мереж без врахування втрат повідомлень та об'єму функціонуючого навантаження від різних інформаційних напрямків, а обґрунтування достатнього мережевого ресурсу гілок мережі проводиться без дотримання заданих показників якості обслуговування (QoS), що являться ключовим аспектом для трафіку реального часу. Також не в повній мірі описані стратегії подальшого розвитку та модернізації електронної комунікаційної мережі, що підтверджує актуальність вирішення представленої наукової проблеми дослідження.

3. Розроблена нова модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, враховує забезпечення показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу за інформаційними напрямками, при суперпозиції ймовірнісних потоків в гілках мережі, в процесі встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній електронній комунікаційній мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, згідно моделі Integrated Service. Модель дозволяє визначити ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання між абонентами для трафіка реального часу

в інформаційних напрямках мереж із обхідними шляхами передачі, в залежності від структури мережі, кількості незалежних шляхів передачі, інтенсивності та закону розподілу вхідних потоків, плану розподілу навантаження, кількості віртуальних каналів в гілках мережі.

4. Удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі, який на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження з урахуванням рівня навантаженості та втрат на гілках мережі, а також враховує різні типи кодеків на кінцевому обладнанні мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє проводити оцінку пропускної спроможності електронної комунікаційної мережі із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу та визначати доступні резерви пропускної спроможності в інформаційних напрямках та у гілках мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Тобто, метод дозволяє підвищити пропускну спроможність ЕКМ при виконанні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу за рахунок ефективного використання мережевого ресурсу ЕКМ з обхідними шляхами передачі. Виграш за показником якості обслуговування (QoS) в інформаційному напрямку складає 30 %; за показником пропускної спроможності в середньому складає 16 – 18 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

5. Удосконалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, який на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження, за найкоротшими та незалежними шляхами передачі для кожного інформаційного напрямку, в

залежності від рівня навантаженості та коефіцієнту використання ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє провести визначення достатнього мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі при використанні обхідних шляхів передачі із технологією віртуальних каналів або тунелів для обслуговування трафіку реального часу із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) по всім інформаційним напрямкам мережі. А саме, метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс в гілках ЕКМ, який забезпечить нормовану якість обслуговування трафіку реального часу в інформаційних напрямках за рахунок використання не менше двох незалежних шляхів передачі з урахуванням завантаженості гілок мережі в процесі формування плану розподілу навантаження. Виграш за показником якості обслуговування в інформаційному напрямку складає 35 %; виграш за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; виграш за показником пропускної спроможності 19 – 20 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

6. Розроблений метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі. Новизна методу полягає в декомпозиції функцій ядра підсистеми сигналізації IMS при інтеграції різнорідних мереж сигналізації, що дозволяє розрахувати обсяг службового трафіку при його транскодуванні до стандартизованого вигляду, а також забезпечити нормовані рівні показників якості обслуговування трафіку сигналізації в залежності від структури гетерогенної електронної комунікаційної мережі, різних типів протоколів сигналізації, вхідного навантаження та кількості абонентів. Метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс для трафіку сигналізації в ядрі IMS гетерогенної електронної комунікаційної мережі та провести обґрунтування необхідної продуктивності та кількості програмно-функціональних блоків системи сигналізації. Тобто, метод дозволяє сформулювати вимоги до необхідної кількості мережевого ресурсу мережі сигналізації із врахуванням траскодування різних типів протоколів сигналізації, а також визначити

необхідну кількість та продуктивність програмно-функціональних блоків ядра IMS в системі сигналізації. Виграш, при впровадженні рівня IMS, за показником середнього часу відклику системи (RTT) складає 15 % в порівнянні із класичною IP мережею, а використання доменної структури IMS дозволяє отримати виграш в середньому на 19 %.

7. Удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, враховує випадковий час обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускнуєї спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі. Модель дозволяє провести обґрунтування максимально допустимого обсягу службового трафіку системи моніторингу в залежності від значення інтервалу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів та функціонуючого корисного навантаження трафіка реального часу в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

8. Проведена розробка рекомендацій щодо побудови інтеграційної архітектури ЕКМ шляхом використання переваг сучасних концепцій в умовах: різнорідного електронного комунікаційного середовища існуючих мереж, різнотипних систем сигналізації, коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів.

Враховуючи вище приведене, була розроблена інтеграційна архітектура ЕКМ, в основу якої покладені переваги сучасних концепцій Next Generation Network та IP Multimedia Subsystem, комбінування яких дозволяє: провести об'єднання існуючих ЕКМ у відповідності до вимог NGN, тобто створити загальне електронне комунікаційне середовище із мереж різних технологій, різнорідного несумісного мережевого обладнання та удосконалити ЕКМ на рівні

управління та сигналізації, шляхом застосування вимог концепції IMS. А саме, інтегрувати апаратно-незалежну платформу у вигляді програмно-функціональних блоків для взаємодії різнотипних систем сигналізації. Як наслідок, використання запропонованих підходів дозволить забезпечити задані показники пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу.

9. Проведено оцінку ефективності розробленого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в ЕКМ за нормованими показниками QoS якості обслуговування, а також за мережевими показниками: пропускна спроможність, коефіцієнт використання мережевого ресурсу, кількість та зв'язність вузлів (розмірність та структурна надмірність мережі), середній час відклику системи. Виграш за показником якості обслуговування в інформаційному напрямку в середньому складає 35 %; за показником пропускної спроможності збільшується на 19 – 20 % (в залежності від розмірності мережі); приріст коефіцієнта використання мережевого ресурсу збільшується в 1,15 рази; час відклику системи сигналізації зменшується на 15 – 19 %.

Одержані результати досліджень демонструють відповідний вимогам рівень адекватності, стійкості та чутливості результатів моделювання. Достовірність одержаних наукових результатів підтверджується коректним використанням математичного апарату, обґрунтованими теоретичними твердженнями, аналітичними розрахунками, а також збіжністю результатів імітаційного моделювання з аналітичною оцінкою.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням апробованих математичних моделей, а достовірність отриманих результатів підтверджується результатами аналітичних розрахунків та імітаційного моделювання. Таким чином, вирішені часткові завдання вказують на досягнення мети дисертаційного дослідження у повному обсязі.

Мета дослідження щодо підвищення пропускної спроможності та якості обслуговування складних гетерогенних електронних комунікаційних мереж за рахунок збільшення ефективності використання наявного мережевого ресурсу шляхом впровадження нового науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при управлінні порядком використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках в залежності від структурної надмірності досягнута, усі часткові завдання вирішено повністю. Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ управління пропускною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами передачі в умовах впливу дестабілізуючих факторів. У цілому, дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, а представлені моделі та методи є взаємопов'язаними та дозволяють обґрунтувати вимоги до всіх рівнів перспективної інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі, при дотриманні заданих показників QoS трафіку реального часу та впровадженні механізмів контролю та запобігання перевантажень в мережі.

Отримані результати дослідження можуть бути використані промисловими і науково-дослідними організаціями під час розробки сучасних електронних комунікаційних мереж та для обґрунтування вимог до систем сигналізації та моніторингу проектуванні. Запропонований науково-методологічний апарат може бути застосований при створенні спеціального математичного та програмного забезпечення в цілях системи управління трафіком реального часу для забезпечення нормованих показників якості обслуговування QoS за рахунок використання обхідних шляхів передачі та технологій Traffic Engineering в умовах перевантажень.

Наукові результати дисертаційної роботи було впроваджено у: науково-дослідні роботи шифр „КОНУС” (ДР № 0118U000034т) Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут та „Інформаційна та авіаційна безпека об'єктів критичної інфраструктури” (ДР № 0119U102297) Національного авіаційного університету, а також в освітній процес

Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” та в освітній процес Національного авіаційного університету.

Ключові слова: якість обслуговування, трафік реального часу, обхідні шляхи передачі, мережевий ресурс, пропускна спроможність, Traffic Engineering, план розподілу навантаження.

ABSTRACT

Nesterenko M.M. Methodology for management throughput and quality of service real-time traffic in heterogeneous electronic communication networks with bypass paths. – Qualifying scientific work manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.12.02 – „Telecommunication systems and networks”. – National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, 2024.

The dissertation is devoted to increasing the throughput and quality of service in complex heterogeneous electronic communication networks due to increasing the efficiency of using the available network resource when using bypass transmission paths, under the influence of destabilizing factors.

The paper formulates a scientific problem, which consists in the development of a scientific-methodological apparatus for the distribution of message flows when using bypass transmission paths in complex heterogeneous electronic communication networks based on indicators of throughput and quality of real-time traffic service taking fluctuations in the volume of the input load and the influence of destabilizing factors.

This scientific problem is important for both theoretical and practical aspects regarding the creation of a fundamentally new mathematical support for the real-time traffic management system for the effective use of the available network resource in

order to ensure the specified indicators of the quality of service (QoS) of real traffic at all levels of heterogeneous electronic communication network (ECN).

The limitations of similar solutions, the search for development directions, and modern requirements for electronic communication networks when serving real-time traffic make this research relevant and a priority.

The following interrelated research tasks are solved in the dissertation task:

1. An analysis of the quality of service (QoS) management issues in real-time traffic in complex heterogeneous ECNs was carried out and the features of the construction of modern concepts were determined, taking into account international standards. As a result, it was found out:

high dynamics of changes in the structure of electronic communication networks under the influence of destabilizing factors and constant fluctuations in the volume of input load; limited network resource;

significant dimensionality of ECN (tens, hundreds and thousands of nodes);

the difficulty of complying with the specified indicators of the quality of service (QoS) of real-time traffic;

Access networks and transport networks differ in terms of construction technologies (both in terms of message formats and signaling), and as a result, their incompatibility;

various architectural solutions of signaling systems that provide real-time traffic management, and as a result their incompatibility;

no management of real-time traffic flows when renting network resources;

sufficiently long reaction and normalization time in case of overloads; restrictions on the use of Traffic Engineering (TE) technologies;

lack of operational integration of the latest network technologies (services) to expand the range of services of communication service operators.

2. The main requirements for models, technologies, management systems and shortcomings of the existing scientific and methodological apparatus for managing the distribution of message flows in heterogeneous ECNs to ensure standardized real-time

traffic service quality indicators (QoS) are determined. Namely, the existing scientific and methodological apparatus has a number of shortcomings:

does not take into account the loss of messages that occur in the process of serving real-time traffic in conditions of dynamic changes in structure and limited network resources;

not adapted to take into account the requirements of the quality of service (QoS) of real-time traffic during end-to-end connection establishment between subscribers;

the use of bypass transmission paths in the information directions of the network and TE methods to ensure the specified QoS indicators is not taken into account;

has limited ability to substantiate recommendations when designing a signaling system based on the requirements of the IP Multimedia Subsystem (IMS) concept.

In modern scientific works, the main attention is paid to determining the upper or lower limits of the throughput of electronic communication networks without taking into account the loss of messages and the volume of the functioning load from different information directions, and the justification of the sufficient network resource of the network is carried out without observing the specified indicators of the quality of service (QoS), which are a key aspect for real-time traffic. Strategies for further development and modernization of the electronic communication network are also not fully described, which confirms the relevance of solving the presented scientific research problem.

3. A new model for assessing the quality of service of real-time traffic with bypassed transmission paths in the information directions of an electronic communication network has been developed, which, unlike the existing ones, takes into account the provision of quality of service (QoS) indicators of real-time traffic in information directions, with the superposition of probabilistic flows in network branches, in the process of establishing an end-to-end connection between subscribers when using bypass transmission paths in a heterogeneous electronic communication network with the technology of virtual channels or tunnels, according to the Integrated Service model. The model allows you to determine the probability of failure to establish an end-to-end connection between subscribers for real-time traffic in the

information directions of networks with bypass transmission paths, depending on the network structure, the number of independent transmission paths, the intensity and distribution law of incoming flows, the load distribution plan, the number of virtual channels in network branches.

4. An improved method of assessing the compliance of given indicators of throughput and real-time traffic service quality of a functioning electronic communication network, which, unlike the existing ones, uses a real-time traffic service quality assessment model with bypassed transmission paths in information directions and a quasi-static method of forming a load distribution plan with taking into account the level of load and losses on the network branches, and also takes into account different types of codecs on the end equipment of networks with the technology of virtual channels or tunnels. The method makes it possible to evaluate the throughput of the electronic communication network with provision of standardized quality of service indicators (QoS) of real-time traffic and to determine the available reserves of throughput in information directions and in network branches with the technology of virtual channels or tunnels. That is, the method allows you to increase the throughput of the ECN when meeting the specified indicators of the quality of service (QoS) of real-time traffic due to the effective use of the ECN network resource with bypassed transmission paths. The gain according to the indicator of the quality of service (QoS) in the information direction is 30%; according to the throughput indicator, it is on average 16-18%, depending on the size and connectivity of the network.

5. An improved method of determining a sufficient number of network resources of electronic communication network branches with guaranteed real-time traffic service quality, which, unlike the existing ones, uses a real-time traffic service quality assessment model with bypassed transmission paths in information directions and a quasi-static method of forming a load distribution plan, by the shortest and independent transmission paths for each information direction, depending on the load level and resource utilization ratio of branches of the electronic communication network with the technology of virtual channels or tunnels. The method makes it possible to determine

the sufficient network resource of the branches of the electronic communication network when using bypass transmission paths with the technology of virtual channels or tunnels to serve real-time traffic with the provision of standardized indicators of the quality of service (QoS) in all information directions of the network. Namely, the method makes it possible to determine sufficient network resources in of the network branches, which will ensure the normalized quality of real-time traffic service in informational directions due to the use of at least two independent transmission paths, taking into account the load of network branches in the process of forming a load distribution plan. The gain according to the indicator of the quality of service in the information direction is 35%; the gain according to the indicator of the utilization ratio of the network resource in the network branches increases by 1,15 times; the gain in throughput is 19 – 20%, depending on the size and connectivity of the network.

6. The method designing the signaling system of a heterogeneous electronic communication network is developed. The novelty of the method consists in the decomposition of the core functions of the IMS signaling subsystem during the integration of heterogeneous signaling networks, which allows to calculate the volume of signaling traffic when transcoding it to a standardized form, as well as to provide standardized levels of indicators of the quality of service of signaling traffic depending on the structure of heterogeneous electronic communication networks of various types signaling protocols, input load and number of subscribers. The method makes it possible to determine sufficient network resources for signaling traffic in the IMS core of a heterogeneous electronic communication network and to justify the required performance and the number of software-functional blocks of the signaling system. That is, the method makes it possible to form requirements for the required number of network resources of the signaling network, taking into account the transcoding of various types of signaling protocols, as well as to determine the required number and performance software-functional blocks in the core IMS of signaling system. The average system response time (RTT) gain when implementing the IMS layer is 15% compared to the classic IP network, and the use of the IMS domain structure allows for an average gain of 19%.

7. An improved model for determining polling intervals in the monitoring system depending on the load of a heterogeneous electronic communication network, which, unlike the existing ones, takes into account the random service time of service messages in the buffers and ports of active network equipment and the delay time in network branches to determine the permissible values of polling intervals NMS-managers of SNMP-agents depending on the hierarchical structure of the monitoring network, the number NMS-managers and SNMP-agents, specified requirements for the efficiency of collecting data on the state of network elements, as well as throughput reserves in the branches of a heterogeneous electronic communication network. The model allows you to justify the maximum permissible volume of service traffic of the monitoring system depending on the value of the polling interval NMS-managers of SNMP-agents and functioning payload of real-time traffic in the branches of a heterogeneous electronic communication network.

8. The development of recommendations for the construction of an ECN integration architecture by using the advantages of modern concepts in the conditions of: heterogeneous electronic communication environment of existing networks, different types of signaling systems, fluctuations in the volume of input load, limited network resources and influence of destabilizing factors.

Taking into account the above, an ECN integration architecture was developed, which is based on the advantages of modern Next Generation Network and IP Multimedia Subsystem concepts, the combination of which allows: to combine existing ECNs in accordance with NGN requirements, i.e. to create a common electronic communication environment from networks of various technologies, heterogeneous incompatible network equipment and improve ECN at the control and signaling level by applying the requirements of the IMS concept. Namely, to integrate a hardware-independent platform in the form of software-functional blocks for the interaction of various signaling systems. As a result, the use of the proposed approaches will allow to ensure the given indicators of throughput and quality of real-time traffic service.

9. An evaluation of the effectiveness of the developed was carried out the scientific and methodological apparatus for managing the distribution of message

flows when using bypass transmission paths in ECN according to standardized QoS quality of service indicators, as well as network indicators: throughput, network resource utilization ratio, number and connectivity of nodes (dimensions and structural redundancy of the network), average system response time. The gain according to the indicator of the quality of service in the information direction is on average 35%; according to the throughput indicator, it increases by 19 – 20% (depending on the size of the network); the increase in the utilization factor of the network resource increases by 1,15 times; the response time of the alarm system is reduced by 15 – 19%.

The obtained research results demonstrate the required level of adequacy, stability and sensitivity of the modeling results. The reliability of the obtained scientific results is confirmed by the correct use of the mathematical apparatus, substantiated theoretical statements, analytical calculations, as well as the convergence of the simulation modeling results with the analytical evaluation.

The degree of validity of scientific statements, conclusions and recommendations is confirmed by the use of proven mathematical models, and the reliability of the obtained results is confirmed by the results of analytical calculations and simulation modeling. Thus, the solved partial tasks indicate the achievement of the goal of the dissertation research in full.

The goal of the research on increasing the throughput and quality of service of complex heterogeneous electronic communication networks by increasing the efficiency of using the available network resource by implementing a new scientific and methodological apparatus for distributing message flows while managing the order of using bypass paths in information directions depending on structural redundancy has been achieved, all partial tasks are completely solved. The scientific results of the research are a contribution to the development of the theoretical and applied foundations of throughput management and the quality of service of real-time traffic in complex heterogeneous electronic communication networks with bypassed transmission paths under the influence of destabilizing factors. In general, the dissertation work is a completed scientific study, and the presented models and methods are interrelated and allow to substantiate the requirements for all levels of

integration architecture of the electronic communication network, while observing the specified QoS indicators of real-time traffic and implementing mechanisms for controlling and preventing congestion in the network.

The obtained research results can be used by industrial and research organizations during the development of modern electronic communication networks and to justify the requirements for signaling system and monitoring system in the design. The proposed scientific and methodological apparatus can be applied in the creation of special mathematical and software for the purposes management system of a real-time traffic to ensure standardized QoS service quality indicators through the use of bypass paths and Traffic Engineering technologies in congestion conditions.

The scientific results of the dissertation were implemented in: research works code „CONE” (state registration number 0118U000034t) Military institute of Telecommunication and Information Technologies named after Heroes of Kruty and „Information and aviation security of critical infrastructure facilities” (state registration number 0119U102297) National Aviation University, as well as in the educational process of the Educational and Research Institute of Telecommunication Systems of the National Technical University of Ukraine „Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” and in the educational process of National Aviation University.

Keywords: quality of service, real-time traffic, bypass transmission paths, network resource, throughput, Traffic Engineering, load distribution plan

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 55 наукових працях. Серед праць 24 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць, включених до Переліку наукових фахових видань України: одне видання індексується науково-метричною базою Web of Science [10], чотири видання індексуються науково-метричною базою

Scopus [17, 21, 22, 23, 24], дві статті у періодичних міжнародних виданнях [8, 18]. Також опубліковано: 28 тез доповідей на науково-практичних конференціях та семінарах державного та міжнародного рівнів, з них п'ять видань індексуються науково-метричною базою Scopus [33, 37, 41, 47, 50]; 1 колективна монографія, 1 патент на корисну модель та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

ORCID 0000-0003-0812-2793.

Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Романов О.І., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Регресійна модель коефіцієнта використання каналів гілки телекомунікаційної мережі. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2009. №1. С. 106 – 116.
2. Романов О.І., Нестеренко М.М., Грінік Є.В., Маньківський В.Б. Аналіз часу обробки повідомлень в системі управління телекомунікаційною мережею. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2010. №1. С. 60 – 67.
3. Романов О.І., Кутир С.С., Нестеренко М.М. Оцінка ймовірності помилки в DWDM-системі. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2011. №2. С. 101– 111.
4. Романов О.І., Нестеренко М.М., Хазрон І.О. Порівняльна оцінка розрахункової складності порядку обробки пакетів в IP та MPLS мережах. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2012. №1. С. 96 – 108.
5. Нестеренко М.М., Толюпа С.В., Успенський О.А. Проблема інваріантності в інфокомунікаційних системах зв'язку. *Збірник наукових праць «Information Technology and Security» Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”*. 2012. Т. 1, № 2(2). С. 53 – 60.
6. Романов О.І., Нестеренко М.М. Аналітична модель інтенсивності службового трафіку згідно SNMP-протоколу. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2012. №2. С. 75 – 83.

7. Романов О.І., Нестеренко М.М., Рудько Н.Д. Оцінка продуктивності мережевих технологій каналного рівня в умовах перевантажень. *Збірник наукових праць ВІТІ ДУТ*. 2014. №1. С. 55 – 66.

8. Romanov O.I., Nesterenko M.M., Tikhonov V.I. The Task of the Telecommunication Flow Control Solution Based on the Channel Utilization Model. *Information and Telecommunication Sciences*. 2014. No. 1. P. 20 – 23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Telnau_2014_1_1_6

9. Романов О.І., Нестеренко М.М., Гордашник Є.С. Аналіз функціональних особливостей побудови IP-мереж на базі Softswitch. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2015. №1. С. 69 – 80.

10. Romanov O. I., Nesterenko M. M., Mankivskiy V. B. The usage of regress model coefficient utilization of channels for creating the load distribution plan in network. *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. 2016. №67. P 34 – 42. URL: <https://doi.org/10.20535/radap.2016.67.34-42>

11. Нестеренко М.М. Комплексні аналітичні моделі оцінки ефективності функціонування транспортних мереж IP / MPLS. *Збірник наукових праць «Information Technology and Security» Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*. 2017. Т. 5. №1 (8). С. 96 – 106.

12. Романов О.І., Нестеренко М.М., Верес Л.А., Гордашник Є.С. Модель розрахунку пропускної спроможності IP-мультимедійної підсистеми (IMS). *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2017. №2. С. 92 – 100.

13. Романов О.І., Нестеренко М.М., Верес Л.А. Аналіз особливостей функціонування сервісів реального часу в системі IMS на базі сучасних протоколів IP-телефонії. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2017. №4. С. 111 – 120.

14. Романов О.І., Нестеренко М.М., Донг Т.Т., Федюшина Д.М. Модель системи бездротового доступу на базі технології Li-Fi. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2018. №1. С. 83 – 89.

15. Скулиш М.А. Романов О.І., Нестеренко М.М. Принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу хмарної системи для оператора мобільного зв'язку. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2018. №2. С. 113 – 119.

16. Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О. Аналіз сучасних технологій віртуалізації для побудови інформаційно-телекомунікаційних систем. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2019. №1. С. 82 – 90.

17. Globa L., Skulysh M., Romanov O., Nesterenko M. Quality Control for Mobile Communication Management Services in Hybrid Environment. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Cham, 2019. P. 76–100. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_4

18. O. Romanov, M. Nesterenko, N. Fesokha, V. Mankivskyi Evaluation of productivity virtualization technologies of switching equipment telecommunications networks. *Information and Telecommunication Sciences*. 2020. No. 1. P. 53–58. URL: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.53-58>

19. Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О., Шрамко О.В., Ворожко А.М. Оцінка показників функціонування IP PBX ELASTIX на базі віртуальних машин та контейнерів. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2020. №2. С. 64 – 74.

20. О.І. Романов, М.М. Нестеренко, В.Б. Маньківський, І.О. Сайченко Модель оптимального розподілу навантаження в мережі доступу мобільного оператора. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2020. № 3. С. 20 – 29. URL: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2020.200346>

21. Romanov, O., Nesterenko, M., Veres, L., Kamarali, R., Saychenko, I. Methods for Calculating the Performance Indicators of IP Multimedia Subsystem (IMS) *Advances in Information and Communication Technology and Systems*. Cham, 2020. P. 229–256. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_13

22. Romanov O., Nesterenko M., Mankivskyi V. The Method of Redistributing Traffic in Mobile Network. *Data-Centric Business and Applications*. Cham, 2021. P. 159–182. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_7

23. Romanov O., Nesterenko M., Mankivskyi, V Zhuk, O. Principles of Building Modular Control Plane in Software-Defined Network. *Progress in Advanced Information and Communication Technology and Systems*. Cham, 2022. P. 333 – 355. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16368-5_17

24. Romanov O., Nesterenko M., Boggia G., Striccoli D. Construction and Methods for Solving Problems at the SDN Control Level. *Emerging Networking in the Digital Transformation Age*. Cham, 2023. P. 85–101 URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_6

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

25. Романов О. І., Нестеренко М. М. Розвиток систем управління телекомунікаційними мережами на базі стандарті TMN. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. V науково-практ. семінар, м. Київ, 22 жовт. 2009 р. С. 109.

26. Нестеренко М. М., Семеріч П. Ю. Основні підходи щодо побудови систем управління конвергентних телекомунікаційних мереж. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. V науково-техн. конф., м. Київ, 20 – 21 жовт. 2010 р. С. 185 – 186.

27. Нестеренко М. М., Березань Ю.В. Методи забезпечення якості обслуговування в мережах з комутацією пакетів. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення*: зб. тез доп. VI науково-практ. семінар, м. Київ, 20 жовт. 2011 р. С. 154.

28. Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Оцінка якості обслуговування в DWDM–системі на базі Q-фактора. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення*: зб. тез доп. VI науково-практ. семінар, м. Київ, 20 жовт. 2011 р. С. 155.

29. Нестеренко М. М., Висоцький Г. В. Моделі забезпечення QoS на базі механізмів TRAFFIC ENGINEERING. *Пріоритетні напрямки розвитку*

телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення : зб. тез доп. VII науково-практ. семінар, м. Київ, 24 жовт. 2013 р. С. 155.

30. Нестеренко М.М., Потапенко І.В. Стандарти відеоконференцзв'язку в сучасних телекомунікаційних мережах. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. VII науково-практ. семінар, м. Київ, 24 жовт. 2013 р. С. 156.

31. Нестеренко М. М., Маньківський В. Б., Доманчук В. С. Використання VM VIRTUAL BOX для розширення можливостей GNS3 при моделюванні роботи DNS-служби. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2014* : матеріали Восьма міжнар. науково-техн. конф. і Шоста студент. науково-техн. конф., м. Київ, 22 – 25 квіт. 2014 р. С. 179 – 181.

32. Нестеренко М.М., Сірко І.М., Бібік М.О. Моделі управління IP-мережами на базі сучасних протоколів моніторингу. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення*: зб. тез доп. VII науково-техн. конф., м. Київ, 23 – 24 жовт. 2014 р. С. 136.

33. Romanov A. I., Nesterenko N. N. Systems networks IP/MPLS monitoring model using NetFlow protocol. *2014 24th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo)*, Sevastopol, Ukraine, 7–13 September 2014. 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/crmico.2014.6959424>

34. Нестеренко М.М., Татарський А.Д. Аналіз сучасних систем контролю ефективності роботи мережевих служб інформаційно-телекомунікаційних мереж військового призначення. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення з урахуванням досвіду АТО*: зб. тез доп. VIII науково-практ. конф., м. Київ, 29 жовт. 2015 р. С. 139.

35. Нестеренко М.М., Доманчук В.С. Методи захисту мережевих служб від TCP SYN-FLOOD атак. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2015* : матеріали Дев'ята міжнар. науково-техн. конф. і Сьома студент. науково-техн. конф., м. Київ, 21 – 24 квіт. 2015 р. С. 152 – 154.

36. Нестеренко М.М., Романов А.О. Аналіз методів захисту серверів від розподілених TCP SYN-FLOOD атак. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2016*: матеріали Десята міжнар. науково-техн. конф. і Восьма студент. науково-техн. конф., м. Київ, 19 – 22 квіт. 2016 р. С. 176 – 178.

37. Romanov O. I., Nesterenko M. M., Veres L. A., Hordashnyk Y. S. IMS: Model and calculation method of telecommunication network's capacity . *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, 11–15 September 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmico.2017.8095412>

38. Нестеренко М.М., Саєнко Б.В., Кукліна А.С. Аналіз методів побудови корпоративних мереж на основі VPN-технологій. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2017*: матеріали Одинадцята міжнар. науково-техн. конф. і Дев'ята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 18 – 21 квіт. 2017 р. С. 153 – 155.

39. Нестеренко М.М., Криховецький Г.Я. Моделі управління транспортними мережами на основі сучасних протоколів моніторингу. *Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах*: зб. тез доп. XIX міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 2017 р. С. 221.

40. Нестеренко М.М. Принципи побудови системи управління базовою телекомунікаційною мережею ЗСУ на основі концепції IMS. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО*: зб. тез доп. X науково-практ. конф., м. Київ, 9 – 10 лист. 2017 р. С. 56 – 60.

41. Romanov O. I., Nesterenko M. M., Veres L. A. Integration Of Modern Protocols Ip-Telephony In Ims Architecture. *2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 10 – 14 September 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047587>

42. Нестеренко М.М., Верес Л.А. Взаємодія різних видів телефонних мереж із сучасними мережами передачі даних на базі платформи IMS. *Проблеми*

телекомунікацій ПТ-2018: матеріали Дванадцята міжнар. науково-техн. конф. і Десята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 16 – 20 квіт. 2018 р. С. 95 – 97.

43. Нестеренко М.М., Буханевич Д.А., Бойко С.В. Принципи побудови сервісів технології Internet of Things. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил*: зб. тез доп. XI науково-практ. конф., м. Київ, 9 – 10 лист. 2018 р. С. 163.

44. Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О. Віртуалізація як спосіб організації інфраструктури інформаційно-телекомунікаційних мереж. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2019*: матеріали Тринадцята міжнар. науково-техн. конф. і Одинадцята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 15 – 19 квіт. 2019 р. С. 43 – 45.

45. Нестеренко М.М., Ткаченко Б.О. Програмний модуль конфігурування та управління сегментом віртуальної мережі SDN. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил*: зб. тез доп. XII науково-практ. конф., м. Київ, 14 – 15 лист. 2019 р. С. 165.

46. Романов О.І., Верес Л.А., Нестеренко М.М. Методика розрахунку безвідмовної роботи системи IMS на базі віртуальних машин. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2020*: матеріали Чотирнадцята міжнар. науково-техн. конф. і Дванадцята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 13 – 17 квіт. 2020 р. С. 132 – 134.

47. Romanov O., Dong T., Nesterenko M. The Possibilities for Deployment Eco-Friendly Indoor Wireless Networks Based on LiFi Technology. *8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIT)*. March 2020. P. 41–48. URL: <http://dx.doi.org/10.25673/32747>

48. Романов О.І., Нестеренко М.М. Побудова транспортної телекомунікаційної мережі Збройних Сил України з урахуванням рекомендацій міжнародного союзу електров'язку ІТУ. *Пріоритетні напрямки розвитку*

телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку, автоматизації та кібербезпеки в операції Об'єднаних сил. зб. тез доп. XIII науково-практ. конф., м. Київ, 3 груд. 2020 р. С. 77 – 82.

49. Нестеренко М.М., Топорков М.А. Мова програмування P4 мережевих пристроїв SDN. *Перспективи телекомунікацій ПТ-2021*: матеріали П'ятнадцята міжнар. науково-техн. конф. і Тринадцята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 12 – 16 квіт. 2021 р. С. 106 – 109.

50. Romanov O., Siemens E., Nesterenko M., Mankivskyi V. Mathematical Description of Control Problems in SDN Networks. *9th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIT)*. April 2021. 2021. P. 33 – 39. URL: <http://dx.doi.org/10.25673/36582>

51. Нестеренко М.М., Сколець С.С., Марінов А.І. Особливості побудови розподіленої мережевої системи ONOS. *Перспективи телекомунікацій ПТ-2023*: матеріали Сімнадцята міжнар. науково-техн. конф. і П'ятнадцята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 18 – 20 квіт. 2023 р. С. 137 – 140.

52. Нестеренко М.М., Лінник В.Ю. Аналіз особливостей побудови SDN мережі при використанні технології TRAFFIC ENGINEERING. *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку*: матеріали III міжнар. науково-тех. конф., м. Київ, 30 лист. 2023 р. С. 224 – 225.

Колективна монографія:

53. Романов О.І., Нестеренко М.М. Еволюція технологій телекомунікаційних мереж. *Досягнення в телекомунікаціях 2019*: монографія / ред.: М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук. Київ, 2019. С. 88 – 105.

Патент на корисну модель та авторське право на твір:

54. Єрмаков А.В., Наритник Т.М., Романов О.І., Нестеренко М.М., Новогрудська Р.Л., Маньківський В.Б. Система формування оптимальної

довжини черги мереж передачі даних Sfolnetworks : пат. UA 123629 U Україна : G06F 9/315 (2018.01). № и 2016 12529 ; заявл. 09.12.2016 ; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5. 8 с. (Особистий внесок – брав участь в патентному пошуку, проведені досліджень та оформленні патенту).

55. Модель процесу управління захистом від перенавантажень мереж передачі даних : а. с. 66937 Україна / О. І. Романов, А.В. Єрмаков, М.М. Нестеренко, М.Б. Маньківський, А.О. Москвитіна. Опубл. 29.07.2016. 1 с. (Особистий внесок – брав участь у проведені досліджень та оформленні авторського права на твір).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	30
ВСТУП.....	32
РОЗДІЛ 1 НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТРАФІКА... РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	44
1.1. Аналіз сучасного стану інформаційно-комунікаційної системи.....	45
1.2. Аналіз напрямків розвитку електронних комунікаційних мереж згідно вимог концепції NGN.....	48
1.3. Аналіз напрямків удосконалення системи управління трафіком реального часу в інформаційно-комунікаційній системі згідно вимог концепції IMS.....	56
Висновки до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2 РОЗВИТОК МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОПУСКНОЮ СПРОМОЖНІСТЮ ТА ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В ГЕТЕРОГЕННИХ ЕКМ ІЗ ОБХІДНИМИ ШЛЯХАМИ	65
2.1. Основні концепції систем управління електронними комунікаційними мережами.....	66
2.2. Аналіз моделей, технологій та вимог до якості обслуговування трафіка реального часу QoS в електронних комунікаційних мережах	77
2.3. Особливості процесу функціонування системи управління трафіком реального часу	87
Висновки до розділу 2	97
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЗАДАНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ФУНКЦІОНУЮЧОЇ ЕКМ.....	100

3.1. Розробка аналітичної моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ	100
3.2. Розробка методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ	106
Висновки до розділу 3	120
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ МЕРЕЖЕВОГО РЕСУРСУ ГІЛОК ЕЛЕКТРОННОЇ КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ ГАРАНТОВАНОЮ ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	122
4.1. Розробка аналітичної моделі коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок ЕКМ	123
4.2. Розробка методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу	137
Висновки до розділу 4	154
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ ГЕТЕРОГЕННОЇ ЕКМ	156
5.1. Аналіз стеку протоколів VoIP при обслуговуванні трафіку реального часу та шляхи їх інтеграції в ядро IMS.....	156
5.2. Розробка методу проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі	176
5.3. Розробка моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ	184
Висновки до розділу 5	201
РОЗДІЛ 6 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ПОТОКІВ	

ПОВІДОМЛЕНЬ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В ГЕТЕРОГЕННИХ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ.....	203
6.1. Розробка імітаційної моделі сегменту електронної комунікаційної мережі та моделювання обслуговування трафіку реального часу із заданими показниками якості обслуговування	203
6.2. Розробка імітаційної моделі рівня управління електронної комунікаційної для моделювання обслуговування трафіку сигналізації	223
6.3. Моделювання часу обробки трафіка моніторингу в системі управління трафіком реального часу	231
6.4. Порівняльна оцінка мережевих технологій IP та MPLS на основі бітових моделей.....	241
6.5. Розробка моделей оцінки ефективності функціонування VoIP телефонії при обслуговуванні трафіка реального часу на основі технологій віртуалізації.....	262
Висновки до розділу 6	274
ВИСНОВКИ.....	279
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	284
ДОДАТОК А	306
ДОДАТОК Б	312
ДОДАТОК В	322

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ІКС – інформаційно-комунікаційна система
ЕКМ – електронна комунікаційна мережа
NGN – Next Generation Network
IMS – IP Multimedia Subsystem
ГНН – година найбільшого навантаження
ІН – інформаційний напрямок
ПРН – план розподілу навантаження
СМО – система масового обслуговування
ЗКС-7 – загальноканальна сигналізація №7
OSA – Open Services Access
API – Application Programming Interface
SIP – Session Initiation Protocol
SNMP – Simple Network Management Protocol
RSVP – Resource ReSerVation Protocol
TE – Traffic engineering
QoS –Quality of Service
MGW – Media GateWay
I-BGF – Interconnect Border Gateway Function
RAN – Radio Access Network
GGSN – Gateway GPRS Support Node
WAG – Wireless Access Gateway
DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer
MRF – Media Resource Function
MRFC – Media Resource Function Controller
MRFP – Media Resource Function Processor
CSCF – Call Session Control Function
P-CSCF – Proxy Call Session Control Function
I-CSCF – Interrogating CSCF

S-CSCF – Serving-CSCF

BGCF – Breakout Gateway Control Function

MGCF – Media Gateways Control Function

SGW – Signaling Gateway

RACS – The Resource and Access Control

PDF – Policy Decision Function

NASS – Network Attachment Subsystem

HSS – Home Subscriber Server

SDP – Session Description Protocol

RTP – Transport Protocol for Real-Time

RTCP – RTP Control Protocol

IMS – IP Multimedia Subsystem

NGN – Next Generation Network

NMS – Network Management Station

SNMP – Simple Network Management Protocol

MPLS – Multiprotocol Label Switching

ВСТУП

Актуальність теми, обґрунтована на підставі концептуального підходу до аналізу досвіду розвинених країн, щодо розробки та впровадження сучасних концепцій побудови інформаційно-комунікаційної системи (ІКС) та електронних комунікаційних мереж (ЕКМ), при комбінованому використанні як власних так і орендованих мережевих ресурсів, вказує на те що основний акцент робиться на перехід на “all-IP” мережеві технології з можливістю поступової модернізації сегментів електронної комунікаційної мережі із різномірним мережевим обладнанням та систем управління. При цьому, особлива увага приділяється питанням теорії і практики розвитку новітніх технологій електронних комунікаційних мереж при обслуговуванні трафіку реального часу, так як він найбільш складний в обслуговуванні та вимагає забезпечення нормованих показників якості QoS.

Актуальність проведення дисертаційного дослідження підкреслюється вимогами Закону України „Про електронні комунікації” від 16.12.2020 р. № 1089-IX (із змінами та доповненнями), а саме інтеграції електронних комунікацій України у глобальні електронні комунікації, гармонізації національних стандартів, норм, якості обслуговування та видів електронних комунікаційних послуг, у відповідності з міжнародними та європейськими стандартами.

Особливостями функціонування існуючих ЕКМ при обслуговуванні трафіку реального часу є: висока динаміка зміни структури та об’єму вхідного навантаження; обмежений мережевий ресурс; значна розмірність (десятки, сотні та тисячі вузлів); дотримання заданих показників якості обслуговування (QoS); розрізнені за технологіями побудови, як мережі доступу, так і транспортні мережі; розрізнені архітектурні рішення систем сигналізації, які забезпечують управління трафіком реального часу; відсутнє управління потоками трафіка реального часу при оренді мережевих ресурсів; достатньо великий час реакції та

нормалізації у випадку перевантажень; обмеження використання технологій Traffic Engineering (TE); відсутність оперативного інтегрування новітніх мережевих технологій (сервісів) для розширення спектра послуг операторів комунікаційних послуг.

В свою чергу, існуючий науково-методологічний апарат має ряд недоліків: не враховує втрати повідомлень, які виникають в процесі обслуговування трафіка реального часу в умовах динамічної зміни структури та обмеженого мережевого ресурсу; не пристосований до врахування вимог якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при наскрізному встановленні з'єднання між абонентами; не враховується використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках мережі та методів TE для забезпечення заданих показників QoS; має обмежені можливості щодо обґрунтування рекомендацій при проектуванні системи сигналізації на основі вимог концепції IP Multimedia Subsystem (IMS).

У сучасних наукових роботах таких авторів Лемешко О.В., Стрелковська І.В., Королева А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. основна увага приділяється визначенню верхніх (нижніх) границь пропускної спроможності без врахування заданих показників якості обслуговування, що являться ключовим аспектом для трафіку реального часу. Розробці методів управління розподілом потоків повідомлень в електронних комунікаційних мережах присвячені роботи Беркман Л.Н., Кривуца В.Г., Міночкін А.І., Толюпа С.В., а безпосередньо управління якістю обслуговування та застосуванню методів TE накопичений значний теоретичний матеріал та практичний досвід, що включає праці вітчизняних та закордонних вчених, серед яких Романов О.І., Романюк В.А., Angela L. Chiu, Anwar I Elwalid, Bernard Fortz, David B. Johnson, J. Rexford, Indra Widjaja, XiPeng Xiao та ін.

Однак, не зважаючи на досягнуті окремі наукові результати в цьому напрямку, спроби розробки методології управління пропускною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу носять фрагментарний характер. А саме, задачі розробки методів управління розподілом потоків

повідомлень при обслуговуванні трафіку реального часу вирішуються без врахування взаємодії рівнів складної гетерогенної ЕКМ, не враховують дотримання заданих показників якості обслуговування QoS, не враховують використання обхідних шляхів передачі в залежності від наявного мережевого ресурсу, структурної надмірності мережі та коливання об'ємів вхідного навантаження.

Враховуючи зазначене, була розроблена інтеграційна архітектура ЕКМ на основі переваг концепцій Next Generation Network (NGN) та IMS, яка дозволяє об'єднати несумісне мережеве обладнання, різноманітні технології та системи сигналізації, а також стандартизувати програмно-функціональні блоки на рівні управління. В свою чергу був розроблений науково-методологічний апарат, який враховує забезпечення показників пропускної спроможності та якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу для всіх інформаційних напрямків на основі методів управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі, а також дозволяє сформулювати вимоги до обслуговування трафіка сигналізації та моніторингу на всіх рівнях гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Тому **наукова проблема** полягає в розв'язанні зазначеного вище протиріччя шляхом розвитку науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів.

Рішення цієї проблеми є актуальним на даному етапі розвитку електронних комунікаційних мереж України і має не тільки теоретичне, але і практичне значення при створенні принципово нового математичного забезпечення системи управління трафіком реального часу для ефективного використання наявного мережевого ресурсу з метою забезпечення заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального на всіх рівнях гетерогенної ЕКМ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження відповідає абзацу тринадцятому підрозділу Напрямків розвитку телекомунікаційних мереж розділу 3 „Концепції розвитку телекомунікацій в Україні” у частині забезпечення розвитку мереж загального користування (насамперед телефонної мережі) та мереж рухомого (мобільного) телефонного зв'язку шляхом поступового переходу до мереж наступних поколінь з конвергенцією (взаємопроникненням) інформаційних, мультимедійних, телекомунікаційних та комп'ютерних технологій і послуг, та абзаців третього та четвертого розділу 7 очікуваних результатів цієї концепції. Актуальність проведення дисертаційного дослідження, також підкреслюється, вимогами Закону України „Про електронні комунікації” від 16.12.2020 р. № 1089-IX (із змінами та доповненнями), а саме інтеграції електронних комунікацій України у глобальні електронні комунікації, гармонізації національних стандартів, норм, якості обслуговування та видів електронних комунікаційних послуг, у відповідності з міжнародними та європейськими стандартами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут в рамках науково-дослідної роботи шифр „КОНУС” (ДР № 0118U000034т), а також в рамках науково-дослідної роботи Національного авіаційного університету „Інформаційна та авіаційна безпека об'єктів критичної інфраструктури” (ДР № 0119U102297). Отримані науково-практичні результати дисертаційної роботи впроваджені в освітньому процесі: у Навчально-науковому інституті телекомунікаційних систем Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського” (акт впровадження результатів наукових досліджень в освітньому процесі №1/1 від 20.12.2023 року) та у Національному авіаційному університеті (акт про реалізацію результатів дисертаційної роботи в освітньому процесі №1/1 від 11.01.2024 року).

Основними керівними документами, що визначають напрям наукових досліджень, виконаних здобувачем є: Закон України „Про електронні комунікації” від 16.12.2020 р. № 1089-IX (із змінами та доповненнями), ст.ст. 11, 111; Наказ адміністрації державної служби спеціального зв’язку та захисту інформації України „Про деякі питання якості надання універсальних електронних комунікаційних послуг голосових електронних комунікацій у фіксованому місці” від 23.01.2023 р. № 50 (zareєстрованого в Міністерстві юстиції України 28 лютого 2023 р. за № 362/39418); Наказ адміністрації державної служби спеціального зв’язку та захисту інформації України „Про затвердження вимог щодо рівня якості послуг рухомого (мобільного) зв’язку” від 20.09.2021р. № 576 (zareєстрованого в Міністерстві юстиції України 06.10.2021р. за № 1298/36920); Наказ адміністрації державної служби спеціального зв’язку та захисту інформації України „Про затвердження Показників якості послуг із передачі даних, доступу до Інтернету та їх рівнів” від 28.12.2012р. № 803 (zareєстрованого в Міністерстві юстиції України 21.01.2013 р. за № 135/22667).

Метою дослідження – підвищення пропускнуої спроможності та якості обслуговування складних гетерогенних електронних комунікаційних мереж за рахунок збільшення ефективності використання наявного мережевого ресурсу шляхом впровадження нового науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при управлінні порядком використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках в залежності від структурної надмірності.

Об’єкт дослідження – процеси обслуговування трафіка реального часу в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах в умовах коливання об’єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів.

Предмет дослідження – науково-методологічний апарат управління розподілом потоків повідомлень для забезпечення заданих показників пропускнуої спроможності та якості обслуговування трафіку реального часу в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах.

Для вирішення поставленої мети дослідження були визначено множини часткових взаємопов'язаних задач дослідження, які необхідно вирішити:

1. Провести аналіз стану проблематики управління якістю обслуговування (QoS) трафіка реального часу в складних гетерогенних ЕКМ та визначити особливості побудови сучасних концепцій з урахуванням міжнародних стандартів.

2. Визначити основні вимоги до моделей, технологій, систем управління та недоліки існуючого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень в гетерогенних ЕКМ для забезпечення нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу (QoS).

3. Розробити модель функціонування інформаційних напрямків із врахування показників пропускної спроможності та якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній ЕКМ.

4. Розробити метод оцінки пропускної спроможності ЕКМ при забезпеченні якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу в процесі експлуатації.

5. Розробити метод визначення достатнього мережевого ресурсу гілок ЕКМ при дотриманні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу.

6. Розробити метод проектування мережі сигналізації в залежності від продуктивності програмно-функціональних блоків ядра IMS гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

7. Розробити модель визначення інтервалів опитування системою моніторингу в залежності від її структури та завантаженості гетерогенної ЕКМ.

8. Розробити рекомендації щодо побудови інтеграційної архітектури ЕКМ шляхом використання переваг сучасних концепцій в умовах: різноманітного електронного комунікаційного середовища існуючих мереж, різноманітних систем

сигналізації, коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів.

9. Розробити методологію управління пропускною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу та провести оцінку ефективності розробленого науково-методологічного апарату шляхом імітаційного моделювання процесів обслуговування трафіка реального часу при дотриманні заданих показників якості обслуговування в гетерогенних ЕКМ.

Наукова новизна отриманих результатів. У результаті проведеного дисертаційного дослідження було отримано такі наукові результати:

1. Розроблена нова модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, враховує забезпечення показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу за інформаційними напрямками, при суперпозиції ймовірнісних потоків в гілках мережі, в процесі встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній електронній комунікаційній мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, згідно моделі Integrated Service. Модель дозволяє визначити ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання між абонентами для трафіка реального часу в інформаційних напрямках мереж із обхідними шляхами передачі, в залежності від структури мережі, кількості незалежних шляхів передачі, інтенсивності та закону розподілу вхідних потоків, плану розподілу навантаження, кількості віртуальних каналів в гілках мережі.

2. Удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження з урахуванням рівня навантаженості та втрат на гілках мережі, а також враховує різні типи кодеків на

кінцевому обладнанні мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє проводити оцінку пропускну спроможності електронної комунікаційної мережі із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу та визначати доступні резерви пропускну спроможності в інформаційних напрямках та у гілках мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Тобто, метод дозволяє підвищити пропускну спроможність ЕКМ при виконанні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу за рахунок ефективного використання мережевого ресурсу ЕКМ з обхідними шляхами передачі. Виграш за показником якості обслуговування (QoS) в інформаційному напрямку складає 30 %; за показником пропускну спроможності в середньому складає 16 – 18 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

3. Удосконалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, яка на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження, за найкоротшими та незалежними шляхами передачі для кожного інформаційного напрямку, в залежності від рівня навантаженості та коефіцієнту використання ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє провести визначення достатнього мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі при використанні обхідних шляхів передачі із технологією віртуальних каналів або тунелів для обслуговування трафіку реального часу із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) по всім інформаційним напрямкам мережі. А саме, метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс в гілках ЕКМ, який забезпечить нормовану якість обслуговування трафіка реального часу в інформаційних напрямках за рахунок використання не менше двох незалежних шляхів передачі з урахуванням завантаженості гілок мережі в процесі формування плану

розподілу навантаження. Виграш за показником якості обслуговування в інформаційному напрямку складає 35 %; виграш за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; виграш за показником пропускної спроможності 19 – 20 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

4. Розроблений метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі. Новизна методу полягає в декомпозиції функцій ядра підсистеми сигналізації IMS при інтеграції різнорідних мереж сигналізації, що дозволяє розрахувати обсяг службового трафіку при його транскодуванні до стандартизованого вигляду, а також забезпечити нормовані рівні показників якості обслуговування трафіку сигналізації в залежності від структури гетерогенної електронної комунікаційної мережі, різних типів протоколів сигналізації, вхідного навантаження та кількості абонентів. Метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс для трафіку сигналізації в ядрі IMS гетерогенної електронної комунікаційної мережі та провести обґрунтування необхідної продуктивності та кількості програмно-функціональних блоків системи сигналізації. Тобто, метод дозволяє сформулювати вимоги до необхідної кількості мережевого ресурсу мережі сигналізації із врахуванням транскодування різних типів протоколів сигналізації, а також визначити необхідну кількість та продуктивність програмно-функціональних блоків ядра IMS в системі сигналізації. Виграш, при впровадженні рівня IMS, за показником середнього часу відклику системи (RTT) складає 15 % в порівнянні із класичною IP мережею, а використання доменної структури IMS дозволяє отримати виграш в середньому на 19 %.

5. Удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, враховує випадковий час обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в

залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускнуої спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі. Модель дозволяє провести обґрунтування максимально допустимого обсягу службового трафіку системи моніторингу в залежності від значення інтервалу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів та функціонуючого корисного навантаження трафіка реального часу в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові, всі практичні та експериментальні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Запозичений матеріал позначено у роботі посиланнями. У публікаціях, написаних у співавторстві, особистий внесок автора полягає в наступному: в [3, 5, 7, 14] – проведено аналіз стану існуючих ЕКМ та порівняльний аналіз сучасних мережевих технологій; [9, 16, 23, 24] – проведено порівняльний аналіз сучасних концепцій побудови ЕКМ та особливості обслуговування трафіка реального часу із заданими показниками якості; [1, 8, 10] – проведено аналіз недоліків існуючого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень при обслуговуванні трафіка реального часу; [20] – розроблена модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ; [20] – удосконалено метод оцінки відповідності заданих показників пропускнуої спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ; [15, 22] – удосконалено метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу; [2, 12, 13] – проведено аналіз особливостей функціонування систем сигналізації та моніторингу; [15, 21] – розроблено метод проектування системи сигналізації гетерогенної ЕКМ; [6] – удосконалено модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ; [4, 11] – розроблені аналітичні моделі для оцінки ефективності функціонування ЕКМ; [18, 19] – розроблені віртуальні моделі для проведення

оцінки показників якості обслуговування системи сигналізації; [13, 17] – запропоновані підходи, щодо розробки інтеграційної (багаторівневої) архітектури ЕКМ.

Апробація матеріалів дисертації. Результати досліджень, викладених у дисертаційні роботі, доповідались та обговорювались на наступних конференціях: *24th International Crimean Conference „Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo)*, Sevastopol, Ukraine, 7 – 13 September 2014; *The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, 11 – 15 September 2017; *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 10 – 14 September 2018; *8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT)*. March 2020; *9th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT)*. April 2021; VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV міжнародних науково-технічних конференціях „Проблеми телекомунікацій”. 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 та 2023 р.р.; V, VII науково-практичних семінарах „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. 2009, 2013 р.р.; V, VI VII, VIII науково-технічних конференціях „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. 2010, 2011, 2014 та 2015 р.р.; X науково-практична конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО”. 2017 .; XI, XII науково-практична конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил”. 2018, 2019 р.р.; XIII науково-практична конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку, автоматизації та кібербезпеки в операції Об'єднаних сил”. 2020 р.; III міжнародна науково-технічна конференція

„Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку” м. Київ, 30 листопада 2023 р; XIX міжнародна науково-практична конференція *„Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах”*. 2017 р.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 253 сторінки основного тексту, 113 рисунків та 20 таблиць, 17 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 209 найменувань і займає 23 сторінки. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 322 сторінки.

РОЗДІЛ 1

НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

В даному розділі, проведено аналіз сучасного стану електронних комунікаційних мереж при обслуговуванні трафіку реального часу, визначено недоліки існуючої системи та обмеженість існуючого науково-методологічного апарату, щодо забезпечення заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіку реального часу в умовах різнорідного мережевого обладнання та різнотипних систем сигналізації, коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів. Також проаналізовані вимоги до сучасних електронних комунікаційних мереж та систем сигналізації при управлінні трафіком реального часу, а також напрямки їх модернізації на базі концепцій NGN та IMS.

А саме, розглянуто шляхи для створення загального електронного комунікаційного середовища, яке б забезпечило взаємодію мереж різних технологій та інтегрування різнотипних систем сигналізації на рівні управління. А також, напрямки поетапного та поступового розвитку електронних комунікаційних мереж, де більш ефективні новітні технології, впроваджувались та займали все більший сегмент мереж, а не сумісне (або застаріле) мережеве обладнання, поступово знімалось із робочих ділянок використавши свій ресурс.

Використовуючи переваги сучасних концепцій побудови електронних комунікаційних мереж розроблено інтеграційну (багаторівневу) архітектуру електронної комунікаційної мережі. Проведена формалізація підзадач на кожному рівні інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі, які в комплексі дозволяють визначити основні напрямки наукового дослідження.

1.1. Аналіз сучасного стану інформаційно-комунікаційної системи

На сьогоднішній день, інформаційно-комунікаційна система є складною, ієрархічною, розподіленою системою до складу якої входять різноманітні електронні комунікаційні мережі операторів комунікаційних послуг та інтернет провайдерів різної форми власності, що більшості не сумісні між собою, так як історично вони будувались та модернізувались відокремлено одна від одної (рис. 1.1.).

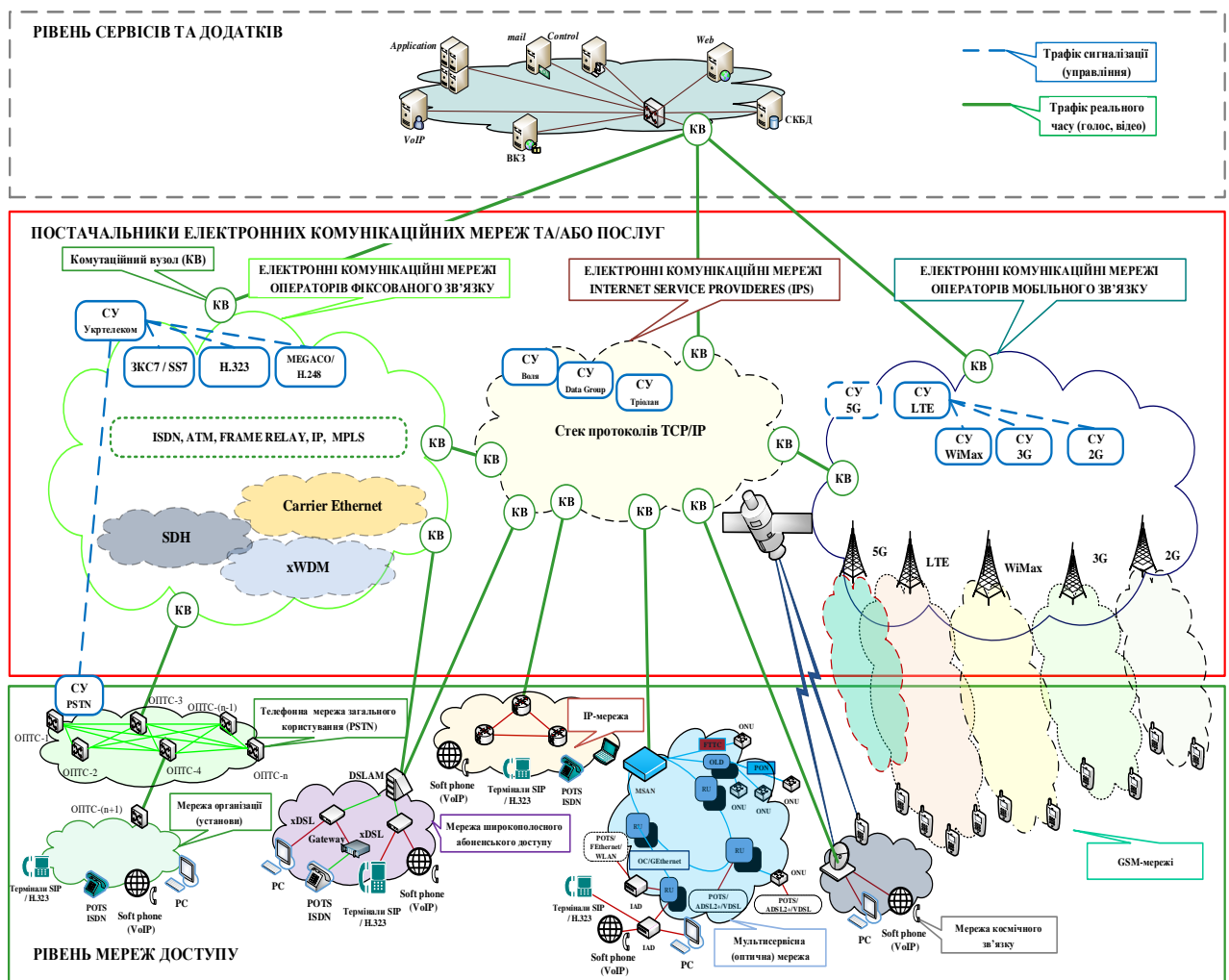


Рис. 1.1. Узагальнена структура гетерогенної інформаційно-комунікаційної системи

При побудові електронної комунікаційної мережі оператора комунікаційних послуг використовуються як власні мережеві ресурси так і

мережеві ресурси орендовані в Укртелеком, Data Group та інших постачальників мереж (комунікаційних послуг). Тому, ці мережеві ресурси неоднорідні: обладнання різних мережевих вендорів із власними пропрієтарними протоколами; різної технологічної основи; різних методів комутації та сигналізації; різні типи архітектурні рішення системи сигналізації [1 – 3].

Одним із можливих шляхів вирішення проблеми сумісності різномірних ЕКМ є застосування концепції NGN [4, 5]. А саме, впровадження вимог концепції NGN вирішує питання інтеграції всіх існуючих різномірних ЕКМ, а в подальшому дозволить поступово переоснащувати існуючі мережі новітніми зразками за рахунок використання відкритих інтерфейсів та стандартизованих протоколів.

Однак на рівні управління, згідно концепції NGN, є проблема несумісності програмно-апаратних рішень SoftSwitch різних мережевих вендорів. Тому, для удосконалення системи сигналізації на рівні управління ЕКМ, пропонується використовувати програмно-функціональні блоки, згідно вимог концепції IMS [6].

Необхідно відмітити, що в процесі обслуговування трафіку реального часу одночасно вирішуються дві задачі: перша це обробка сигналізації (пошук профілів абонентів по мережі, формування вимог щодо якості обслуговування ті інше); друга – виділення необхідного мережевого ресурсу для обслуговування трафіка реального часу абонентів із заданою якістю.

Як було вказано вище, сучасний стан розвитку електронних комунікаційних мереж не дозволяють створити загальне електронне комунікаційне середовище та універсальну систему сигналізації так як мають різну архітектуру побудови системи управління, обладнання різних фірм виробників, що і призводить до їх не сумісності як за протоколами передачі так і протоколами сигналізації [7]. Особливо гостро дане питання постає при визначенні необхідної кількості орендованого мережевого ресурсу для забезпечення заданих показників обслуговування трафіка реального часу при різкому збільшенні кількості абонентів (або впливу дестабілізуючих факторів), а

також при організації контролю за інформаційними потоками в мережах різної відомчої приналежності.

В результаті дослідження, були визначені особливості перспективної електронної комунікаційної мережі та системи сигналізації, в процесі їх функціонування, при обслуговуванні трафіка реального часу:

1. Динамічна структура ЕКМ в залежності від впливу дестабілізуючих факторів.
2. Обслуговування мультимедійного трафіка (трафік реального часу: голос, відео, сигналізація та трафіка не реального часу: передача даних).
3. Масштабованість та ієрархічність ЕКМ.
4. Наявність стандартних відкритих інтерфейсів для впровадження новітніх мережових технологій та впровадження сучасних сервісів.
5. Неоднорідність вузлів ЕКМ.
6. Використання ієрархічної, розподіленої, апаратно-незалежної системи управління трафіком реального часу.
7. Динамічне використання доступного мережевого ресурсу незалежно від відомчої приналежності або форми власності.

Також були сформовані наступні вимоги до перспективної ЕКМ та системи сигналізації при управлінні трафіком реального часу:

1. Можливість інтеграції існуючих різнорідних ЕКМ для створення загального електронного комунікаційного середовища.
2. Наявність єдиної інтеграційної платформи для розгортання системи сигналізації для управління трафіком реального часу гетерогенній ЕКМ.
3. Можливість оперативного інтегрування новітніх мережових технологій для розширення спектра сервісів операторів комунікаційних послуг.
4. Забезпечення виконання граничних нормованих значень якості обслуговування трафіка реального часу.
5. Можливість управління та контроль за потоками трафіка реального часу при оренді мережових ресурсів незалежно від відомчої приналежності оператора комунікаційних послуг.

6. Забезпечення мінімального часу реакції для нормалізації роботи ЕКМ у випадку перевантажень.

Проведений аналіз показує, що на сьогодні існує протиріччя між можливостями існуючих моделей, методів управління розподілом повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних ЕКМ за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу при застосуванні технологій ТЕ, а також з урахуванням вимог щодо побудови інтеграційної архітектури ЕКМ. Тому, для впровадження розробленої інтеграційної архітектури ЕКМ в дисертаційному дослідженні було вирішено комплекс взаємопов'язаних задач на кожному рівні ЕКМ. Це дозволяє, на основі розробленого, нового науково-методологічного апарату досягти мету дослідження та ефективно використовувати наявний мережевий ресурс для гарантованого обслуговування потоків трафіку реального часу.

В свою чергу, для забезпечення більш ефективного функціонування ЕКМ, модернізації існуючих мереж та поступового переходу на найбільш перспективні ІТ-технології необхідно дослідити сучасні концепції побудови електронних комунікаційних мереж та технології забезпечення QoS трафіка реального часу, які дозволять створити загальне електронне комунікаційне середовище незалежно від відомчої приналежності оператора комунікаційних послуг.

1.2. Аналіз напрямків розвитку електронних комунікаційних мереж згідно вимог концепції NGN

На сучасному етапі розвитку електронних комунікацій до мереж висуваються наступні основні вимоги:

прозорість електронного комунікаційного середовища, під якою розуміється забезпечення взаємодії мереж, побудованих на базі різнорідного обладнання;

мультисервісність, під якою розуміється незалежність виду послуг, що надаються, від транспортних мережевих технологій;

мультимедійність, під якою розуміється здатність передавати дані, відео та аудіо інформацію із синхронізацією в реальному масштабі часу;

інтелектуальність, під якою розуміється можливість управління послугою або викликом, як з боку користувача, так і постачальника послуг;

багатооператорність, під якою розуміється можливість участі кількох операторів в процесі надання послуги і поділ їх відповідальності відповідно до області діяльності;

використання масштабованих технічних рішень при побудові електронних комунікаційних мереж та інші.

Для забезпечення виконання цих вимог Міжнародним Союзом Електрозв'язку ІТУ-Т розроблені дві концепції:

1. Концепція побудови мереж наступного покоління Next Generation Network [8].

2. Концепція побудови IP Multimedia Subsystem [9].

Історично першою з'явилася концепція NGN. Вона розроблялася в умовах наявності великої кількості різнорідних мереж, побудованих на різних технологіях. Тому в рамках концепції NGN вирішувалися такі основні завдання:

створення спільного електронного комунікаційного середовища, яке б забезпечило взаємодію мереж незалежно від технологій, які в них використовуються;

виділення рівнів, в рамках яких розвиток технологій могли б вести фахівці різних галузей знань незалежно один від одного;

гармонійний розвиток електронних комунікацій, при якому мережі, що використовують ефективні технології, захоплювали б все більший сегмент ринку, а мережі, що використовують застарілі технології, поступово відмирили;

швидке впровадження нових сервісів із мінімальними витратами;

підтримка мобільності абонента, що забезпечує постійний доступ до послуг незалежно від їх місцезнаходження та інші.

Дослідження в області NGN показали, що в перспективних мережах повинно бути реалізовано чітке функціональне розмежування рівнів:

1. Рівень послуг та додатків.
2. Рівень управління.
3. Рівень транспортної мережі.
4. Рівень мереж доступу.

Спрощено модель архітектури мережі NGN можна представити в наступному вигляді (рис. 1.2.).

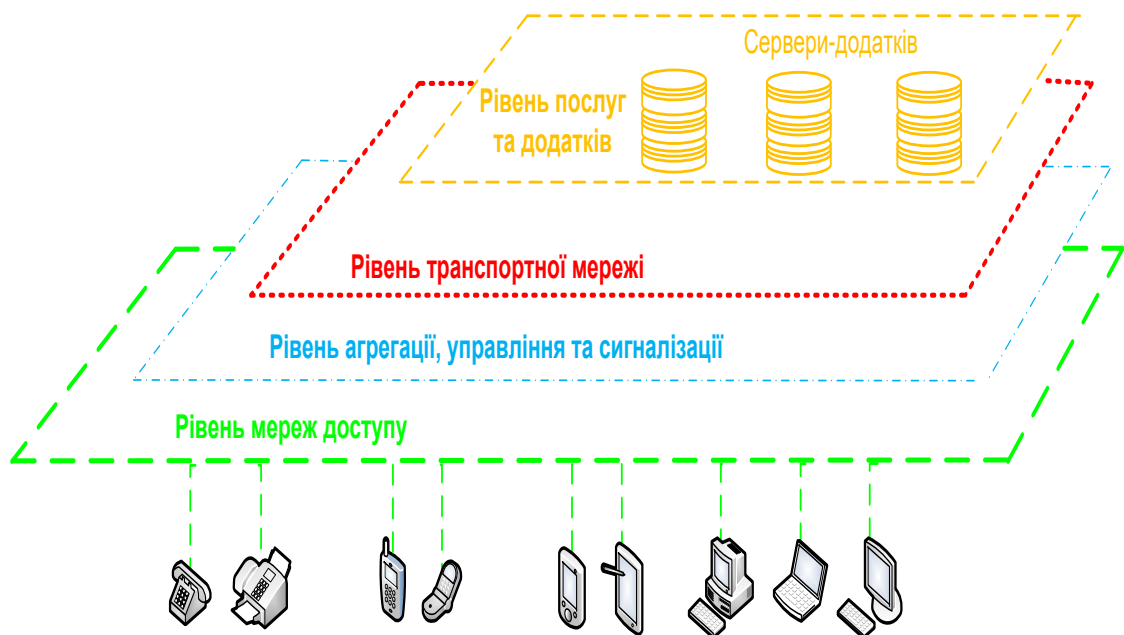


Рис. 1.2. Модель архітектури мережі NGN

Рівень послуг та додатків забезпечує:

1. Доступність послуг всім користувачам, незалежно від місця їх підключення, способу доступ і типу транспортної мережі, яка їх обслуговує.
2. Взаємодія з транспортною мережею через відкриті інтерфейси.
3. Можливість розробки програмного забезпечення послуг і додатків, орієнтуючись тільки на внутрішні стандартні взаємодії із відкритими інтерфейсами.
4. Введення нових послуг без втручання у функціонування інших рівнів.

В якості механізму, що дозволяє швидко і гнучко розгорнути послуги в залежності від індивідуальних потреб користувачів, була використана концепція OSA (Open Services Access). Одним із варіантів реалізації концепції OSA, було створення консорціумом Parlay Group відкритого інтерфейсу API (Application Programming Interface). На рис 1.3. представлена архітектура Parlay, де показано, що різні електронні комунікаційні мережі мають різні мережеві елементи, які забезпечують виконання необхідних функцій. Кожен з цих елементів виходить на шлюз (Gateway) за своїм протоколом, а завдання шлюзу OSA / Parlay полягає в тому, щоб звести всі протоколи до єдиних інтерфейсів API [10].

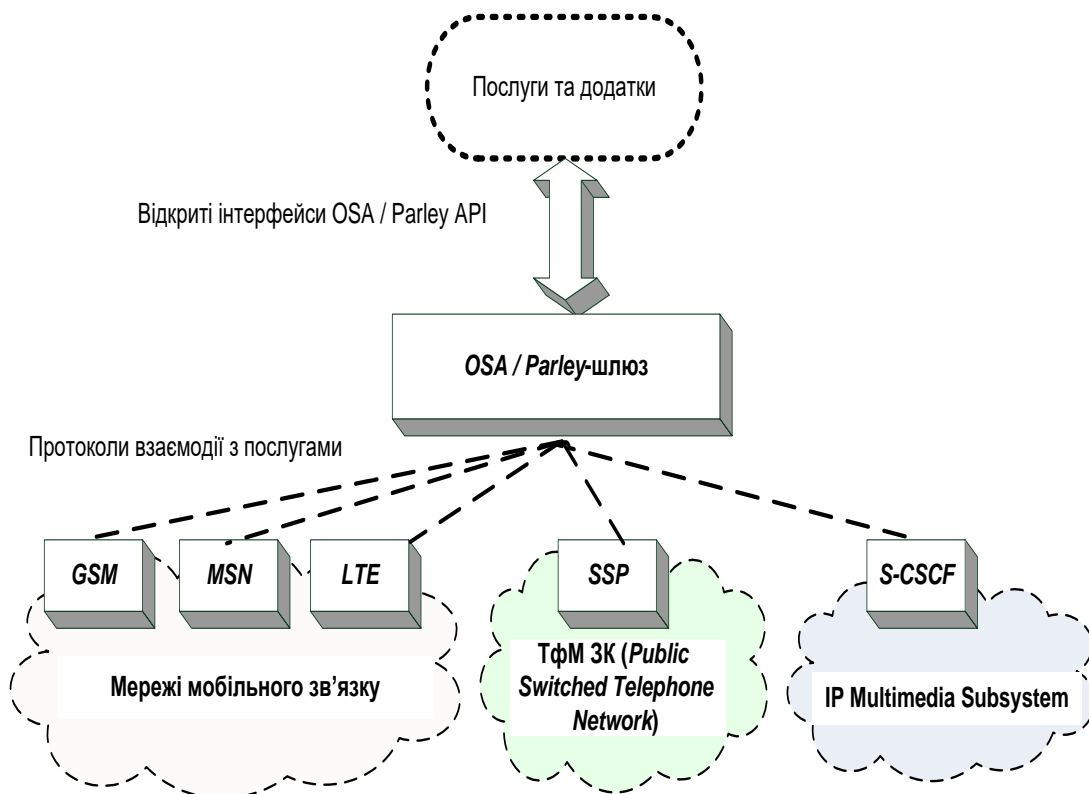


Рис. 1.3. Архітектура OSA / Parlay

На рівні управління вирішуються такі завдання:

1. Забезпечення взаємодії мереж.
2. Приведення транспортних потоків мереж з різними технологіями до єдиного вигляду.
3. Забезпечення взаємодії різних систем сигналізації.
4. Управління викликами і маршрутизація потоків.

5. Перетворення і забезпечення взаємодії різних систем сигналізації та ін.

Основним елементом управління в мережі NGN є програмно-апаратне рішення Softswitch (рис. 1.4.). Крім того, можуть використовуватися Media Gateway (медіашлюзи), які перетворюють потоки інформації в формат мережі доступу і направляють їх в потрібні канали [11, 12]. Слід відмітити, що SoftSwitch різних фірм виробників, виявилися несумісними між собою.

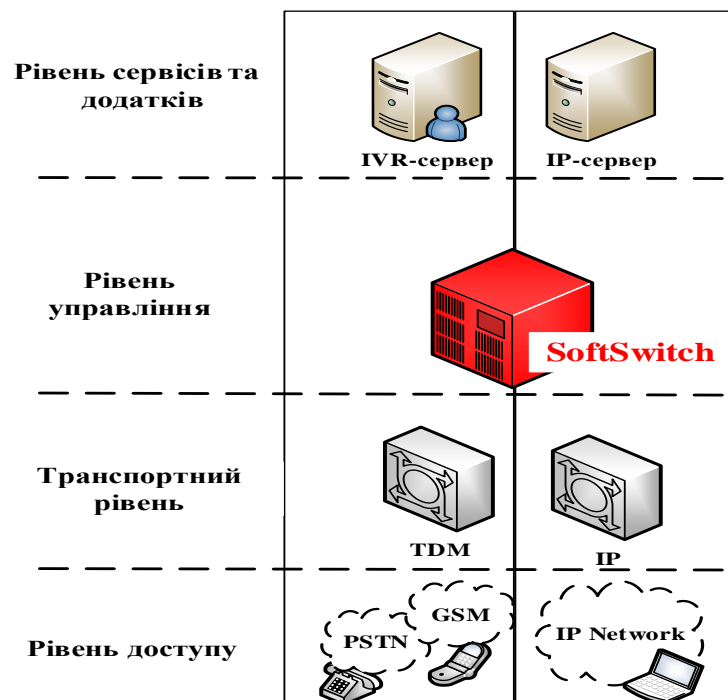


Рис. 1.4. Узагальнена чотирьох рівнева архітектура NGN

Завданням *транспортного рівня* є комутація і прозора передача інформації користувачів. Транспортний рівень NGN розглядається як рівень, складовими частинами якого є мережа доступу і транспортна мережа. Під мережею доступу розуміється мережева інфраструктура, що складається з абонентських ліній, вузлів доступу і систем передачі, в тому числі на основі сучасних бездротових технологій [13, 14], що забезпечують підключення користувачів до точки агрегації трафіку.

Особливістю NGN є використання універсальної транспортної мережі, що базується на технологіях пакетної комутації. Транспортна мережа – це

універсальна мережа, яка реалізує функції транспортування і комутації. Транспортна мережа може бути представлена у вигляді трьох рівнів (рис. 1.5.):

- технології комутації пакетів (IP, ATM, MPLS);
- технології формування тракту (наприклад, SDH, Carrier Ethernet);
- середовища передачі сигналів (наприклад, оптичний кабель і використання технології xWDM).

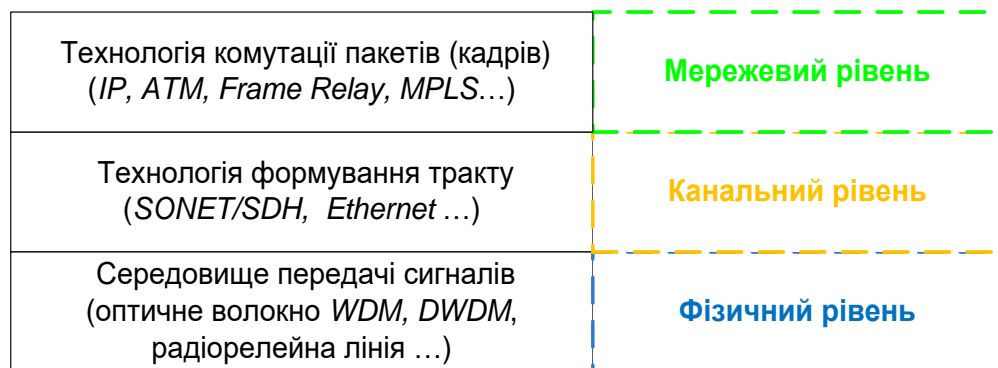


Рис. 1.5. Модель транспортної мережі

Нижній рівень моделі – середовище передачі сигналів. Цей рівень може бути реалізований на магістральних кабелях, кабелях з оптичними волокнами або на радіорелейних лініях.

В якості технологій для формування тракту можуть бути використані технології xWDM, Carrier Ethernet, SDH, а також їх комбінація [15 – 17].

При виборі технологічної основи комутації перспективною вважається IP / MPLS, з огляду на те, що [18]:

використання технології IP/MPLS в середовищі Ethernet дозволяє підвищити масштабованість та якість обслуговування до рівня, необхідного для транспортних мереж;

специфікації MPLS RSVP-TE дозволяють забезпечити задані показники пропускної здатності та якості обслуговування;

в недалекому майбутньому буде здійснено повний перехід на протокол IP, що забезпечить зниження вартості передачі однієї одиниці трафіку.

Таким чином, концепція NGN забезпечує вирішення наступних завдань:

1. При впровадженні нових послуг оператору немає необхідності адаптувати їх до можливостей транспортної структури.
2. На рівні управління забезпечується можливість інтеграції послуг різних провайдерів.
3. Використання уніфікованих інтерфейсів дозволяє забезпечити з'єднання транспортного ядра, як з різнорідними мережами доступу, так і з серверним обладнанням рівня послуг і додатків.
4. Інтеграцію мереж фіксованого і мобільного доступу, в результаті чого вирішується завдання забезпечення мобільності абонента.
5. Ідентифікація абонентів у всіх сегментах доступу і єдиний абонентський профіль, що забезпечує функціонування системи обліку та білінгу.
6. Забезпечення вимог наскрізного обслуговування для всіх видів послуг, включаючи потокові та мультимедійні.
7. Збереження можливостей надання послуг традиційних мереж загального користування, передача аварійних повідомлень технічного обслуговування і оперативного оповіщення.

Сучасний стан розвитку електронних комунікаційних систем та мереж полягає в повному переході на „all IP-сервіси” на основних рівнях міжмережевої взаємодії: транспортування мультимедійних потоків, управління та надання сервісів. Тому, для вирішення задачі інтеграції різнорідних мережевих технологій, поступового нарощування електронної комунікаційної та переходу на найбільш перспективні мережеві і IT-технології доцільно використовувати вимоги концепції Next Generation Networks.

Це пояснюється тим, що при впровадженні концепції NGN для трансформації інформаційно-комунікаційної системи буде вирішено питання об'єднання та інтеграції всіх різнорідних сегментів мережі (несумісного мережевого обладнання) незалежно від технології їх побудови.

Тобто першим кроком до модернізації інформаційно-комунікаційної системи є впровадження вимог концепції NGN, а саме в принципі побудови

електронної комунікаційної мережі. Проведені дослідження концепції NGN дозволили розробити наступну архітектуру електронної комунікаційної мережі, що представлена на рисунку 1.6.

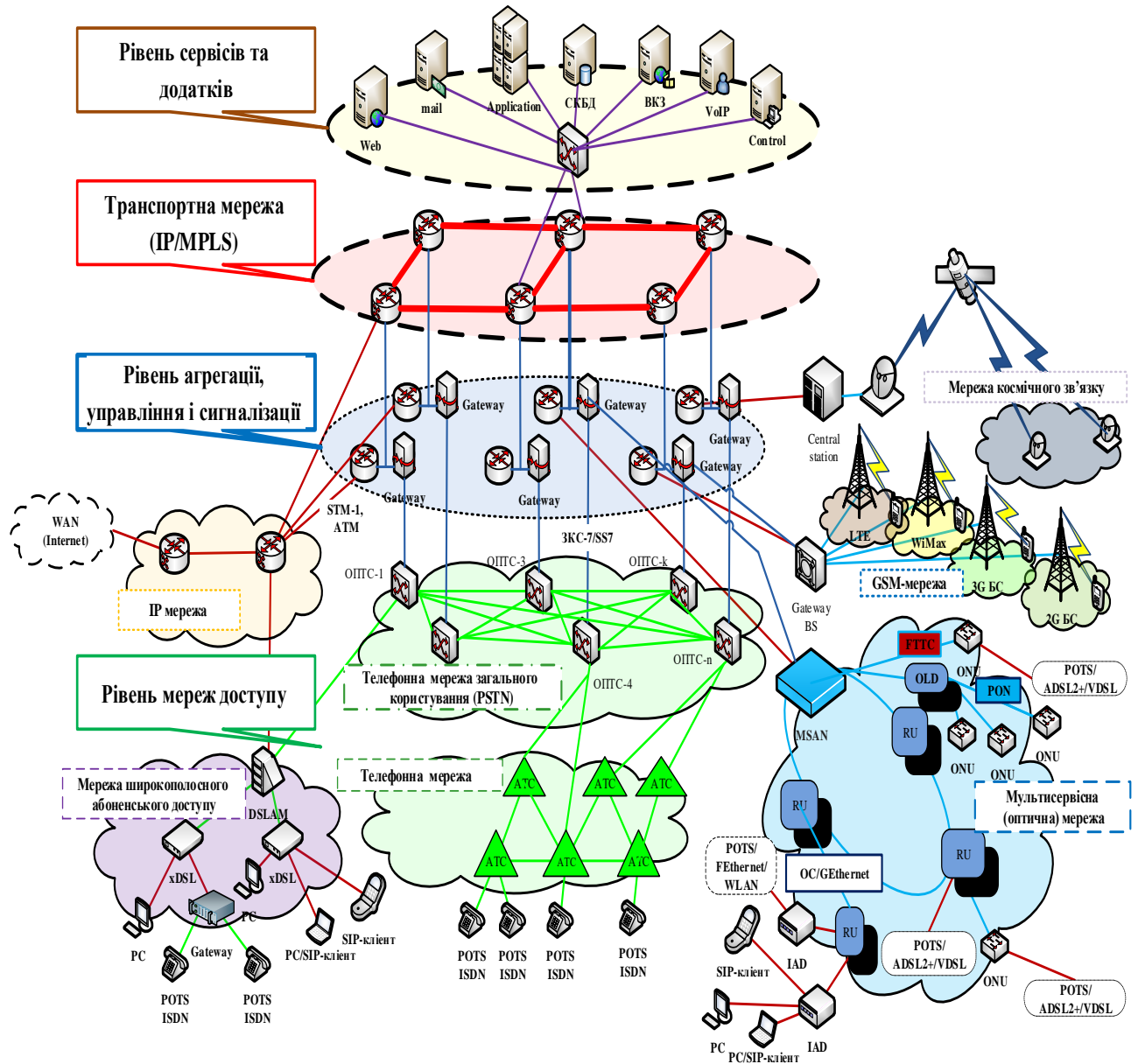


Рис. 1.6. Архітектура електронної комунікаційної мережі, яка відповідає вимогам концепції NGN

Тобто, використання вимог концепції NGN дозволить провести інтеграцію існуючих електронних комунікаційних мереж з новітніми мережевими технологіями, а також провести поступове переоснащення сегментів із

застарілим мережевим обладнанням на найбільш перспективне без втрати циклу управління.

1.3. Аналіз напрямків удосконалення системи управління трафіком реального часу в інформаційно-комунікаційній системі згідно вимог концепції IMS

Використання адаптованої архітектури електронної комунікаційної мережі при застосуванні тільки вимог концепції NGN не вирішує в повній мірі проблеми інтеграції різнорідних мережових технологій на рівні управління так, як згідно концепції NGN, є проблеми несумісності програмно-апаратних рішень SoftSwitch різних фірм виробників. Тому друга концепція, яка була проаналізована для створення системи сигналізації для управління трафіком реального часу в електронній комунікаційній мережі та вирішення проблеми сумісності на рівні управління це IP Multimedia Subsystem.

Для вирішення питання несумісності обладнання SoftSwitch різних мережових вендорів, з'явилася концепція IMS, в якій розроблені регламентуючі документи щодо трансформації NGN з мереж з пакетною передачею голосу в реальні мультисервісні мережі. Суть переходу від концепції мереж NGN до концепції мереж IMS представлено на рисунку 1.7.

Архітектури NGN та IMS мають схожий розподіл за рівнями: перший рівень серверів додатків залишився без особливих змін, а рівень транспортної мережі та рівень доступу об'єднується в один. Кардинальні зміни стосуються рівня управління. Це пов'язано з тим, що в NGN на рівні управління трафіком та сигналізацією використовувався програмно-апаратний комплекс Softswitch, який реалізовувався на власний розсуд фірм виробників, в результаті чого різнорідні сегменти мережі були не сумісні по управлінню. Тому в концепції IMS на рівні управління було запропоновано замість програмно-апаратного комплексу Softswitch використовувати мультисервісну платформу із набором

проксі-серверів (стандартизованих функціональних блоків). При чому, кожен сервер управляє послугами певного типу і має власний інтерфейс для взаємодії з транспортною мережею. При цьому відповідні сервери мають доступ та взаємодіють в процесі обслуговування клієнтів мережі із єдиною базою даних користувачів Home Subscriber Server (HSS), де централізовано зберігаються унікальні сервісні профілі всіх абонентів та вся інформація про трафік і отримані послуги. У бази є зовнішній інтерфейс, що дозволяє стороннім провайдерам отримувати інформацію, необхідну для взаємодії в різних доменах.

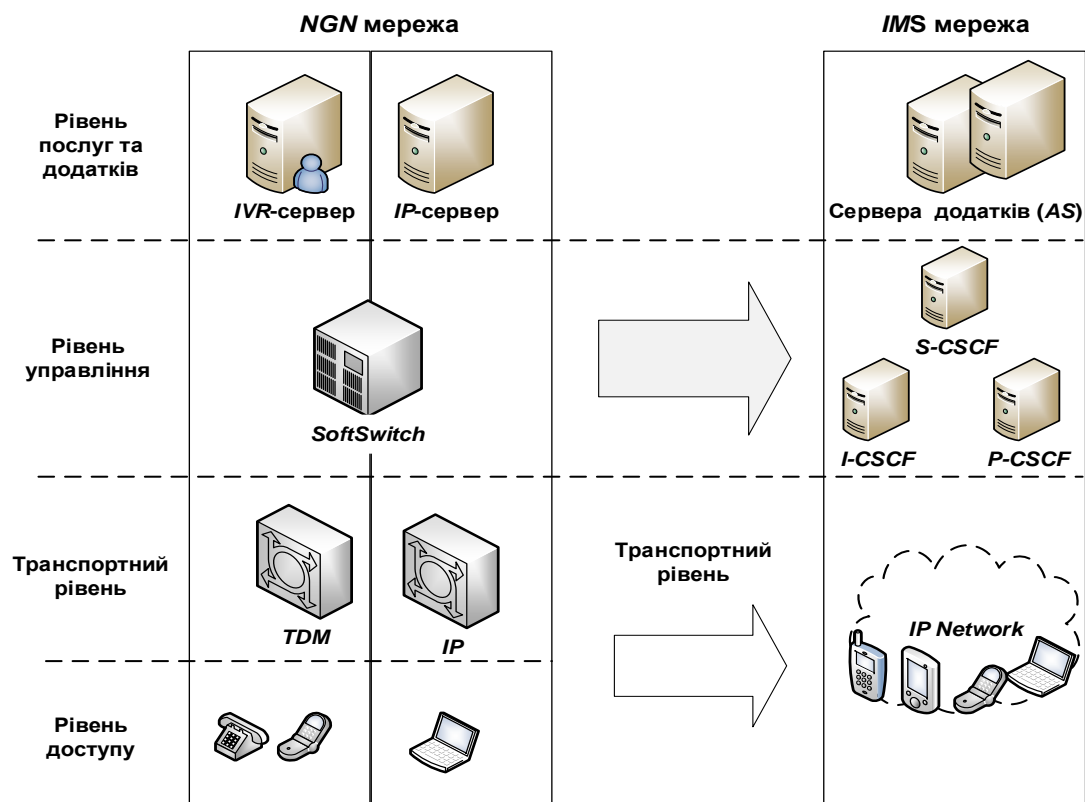


Рис. 1.7. Перехід від мереж NGN до мереж IMS

В свою чергу, архітектура IMS визначена в стандартах 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Європейського інституту стандартів зв'язку. Розглянемо основне призначення і функції елементів IMS. Необхідно відмітити, що IMS постійно доопрацьовується та має більше 12 релізів (версій) щодо удосконалення та розширення функціоналу системи.

Одним із головних завдань, відповідно до Закону України „Про електронні комунікації”, є інтеграція електронних комунікацій України у глобальні електронні комунікації, гармонізації національних стандартів, норм, якості обслуговування та видів електронних комунікаційних послуг, у відповідності з міжнародними та європейськими стандартами.

Тому, удосконалення існуючої системи сигналізації для управління трафіком реального часу за рахунок декомпозиції основних функцій управління з подальшим нарощуванням її функціоналу являється одним із пріоритетних завдань при створенні сучасної електронної комунікаційної мережі.

Необхідно відмітити, що протягом останнього часу відбулося чимало позитивних змін, а саме оператори комунікаційних послуг (провайдери) будують та розгортають мережі на сучасному обладнанні, як на рівні доступу так і на транспортному рівні. Однак, поряд з новітніми цифровими зразками, що працюють згідно стеку протоколу TCP/IP, використовуються обладнання яке підтримує сигналізацію ЗКС7/SS7 та різнотипне мережеве обладнання різних мережевих вендорів, яке було закуплене раніше. В зв'язку з цим виникає ряд проблем щодо:

- сумісності різнотипних систем сигналізації при управлінні трафіком реального часу (різнотипні протоколи сигналізації);

- створення єдиного центру контролю та управління гетерогенними ЕКМ з урахуванням керуванням розподілом орендованих мережевих ресурсів;

- визначення загальних принципів та стратегій розвитку ЕКМ в цілому;

- забезпечення необхідної пропускнуєї спроможності в залежності від об'єму навантаження, динаміки зміни структури мереж доступу та транспортної мережі при дотриманні заданих параметрів якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу.

Вирішення даних проблем не можливе без використання гнучкої системи управління трафіком реального часу з мінімальним часом адаптації в залежності від умов функціонування.

Одним із можливих шляхів вирішення, щодо удосконалення ЕКМ, на рівні управління (сигналізації), є використання вимог концепції IMS.

Базовий принцип концепції IMS, полягає в тому, що доставка будь-якої послуги кінцевому абоненту не залежить від мережевих технологій на яких розгорнуті (або будуть побудовані) електронні комунікаційні мережі та дозволяє реалізовувати відкритий механізм контролю якості доставки послуг. А використання протоколу Session Initiation Protocol (SIP) в якості базового протоколу сигналізації дозволяє реалізувати наступні функціональні можливості: персональна мобільність користувачів; можливість зміни масштабу мережі; можливість розширення протоколу; інтеграція в стек існуючих протоколів Інтернет Internet Engineering Task Force (IETF); взаємодія з іншими протоколами сигналізації [19, 20].

Також одним з основних завдань концепції IMS є забезпечення поступового перенесення існуючої електронної комунікаційної інфраструктури на сучасну IP платформу. А саме, вирішити питання: з'єднання по мережі IP і прозорий перехід між різними доменами; управління сесіями мультимедійними пристроями IP; незалежність від мережі доступу і поділ мережі на рівні; підтримка якості послуг Quality of Service (QoS) та управління політикою передачі даних по мережі IP (IP Policy); управління сервісами (послугами); взаємодія з іншими мережами; безпека з'єднань.

В свою чергу IMS являє собою стандартну IP-архітектуру, яка дозволяє:

- забезпечити процес конвергенції фіксованих і мобільних мереж;
- здійснити взаємодію різних типів мереж і мультимедійних додатків;
- забезпечити обслуговування всіх видів повідомлень – голос, дані (текст, зображення) і відео, незалежно від типу мережі;
- здійснити взаємодію різних типів мереж через відкриті інтерфейси.

Тому другим кроком щодо удосконалення електронної комунікаційної мережі це побудова рівня управління сеансів трафіку реального часу використовуючи стандартизовані програмно-функціональних блоки згідно концепції IMS.

В результаті проведеного аналізу вимог концепції IMS було розроблено архітектуру системи управління трафіком реального часу ЕКМ ВП, яка відповідає вимогам концепції IMS (рис. 1.8). Запропонована архітектура системи управління трафіком реального часу, може бути використана як платформа для створення гнучкої системи управління електронної комунікаційної мережі в цілому. Відповідно до сучасних технологій VoIP-телефонії та концепції побудови системи управління IMS сигнальний трафік та медіа-потіки відокремлені між собою. Тобто, медіа потоки циркулюють на рівні мереж доступу, а потім агрегуються на рівні транспортної мережі. А обробка сигналізації та управління винесені на інші рівні, при чому програмно-функціональні блоки управління можуть бути територіально рознесені.

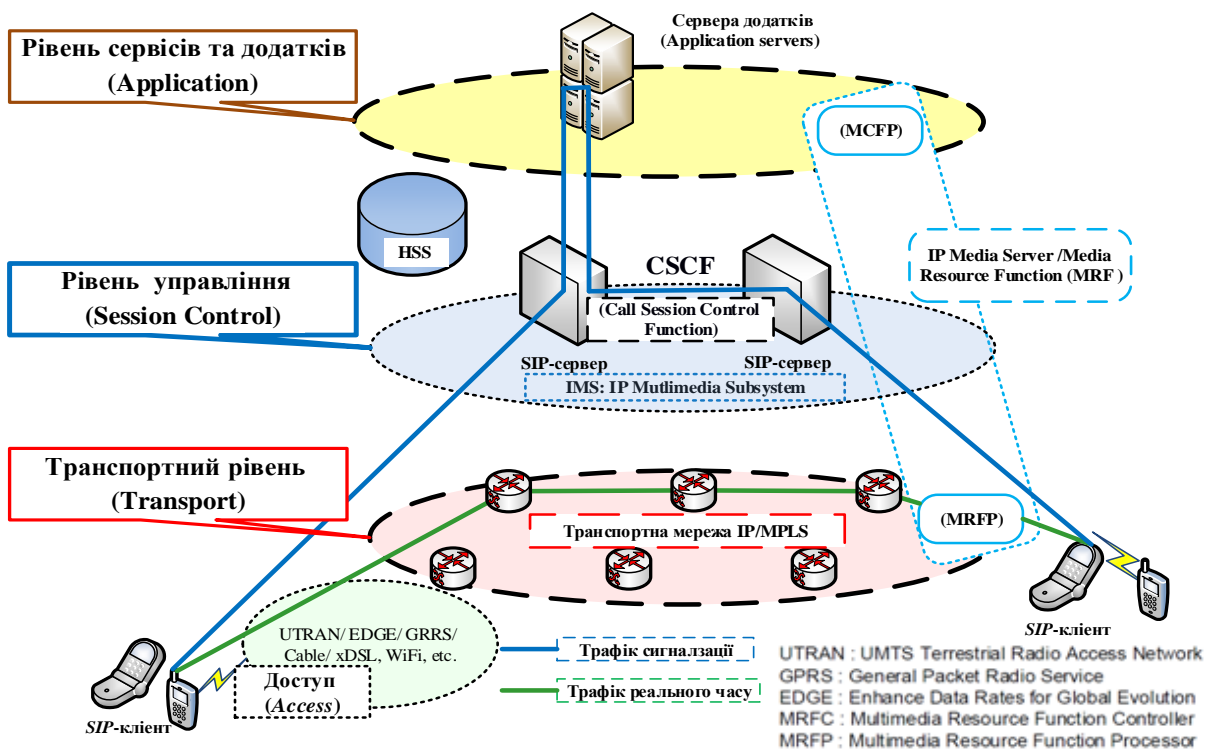


Рис. 1.8. Архітектура системи сигналізації для управління трафіком реального часу, згідно вимог концепції IMS

Найбільш складні перетворення медіа-потоків та додаткова обробка сигналізації відбувається на границі конвергентної мережі та IMS-домени. Тому при розробці науково-методологічного апарату необхідно враховувати

порядок та якість обслуговування як медіа-потоків трафіку реального часу так і об'єм трафіка сигналізації, а також об'єм службового трафіку системи моніторингу, для обґрунтування достатнього об'єму мережевого ресурсу ЕКМ в залежності від поточної ситуації.

Однак, застосування вимог концепції IMS в чистому вигляді для побудови ЕКМ не можливе на даному етапі розвитку так, як все мережеве обладнання повинно працювати згідно стеку протоколів TCP/IP. В свою чергу використання комбінації концепцій NGN та IMS дозволяє здійснити поступовий перехід електронної комунікаційної мережі на „all IP-сервіси” на всіх рівнях (передача мультимедійних потоків, управління та надання сервісів), а також створити платформу для впровадження мережі нового покоління Software Defined Network [21 – 26].

Використовуючи переваги адаптованих вище концепцій NGN (рис. 1.6) та IMS (рис. 1.8) в результаті була синтезована інтеграційна (багаторівнева) архітектура електронної комунікаційної мережі, яка представлена рис. 1.9 [27 – 29].

Розроблена архітектура складається із чотирьох рівнів: перший, це рівень доступу, який складається із розгорнутих на власних засобах оператора комунікаційних послуг мереж доступу; другий транспортний рівень, це рівень транспортної мережі, що складається із цифрових каналів, тунелів, трактів передачі і мереж, які орендуються в Укртелеком, Data Group та інших постачальників ЕКМ; третій рівень управління (сигналізації), який повинен будуватись на базі власного серверного обладнання оператора комунікаційних послуг у відповідності з концепцією IMS (задачі підтримки заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу та забезпечення необхідних показників пропускнуєї спроможності); четвертий рівень послуг та додатків, на якому вирішуються прикладні задачі (наприклад білінгу) та надання відповідних сервісів абонентам.

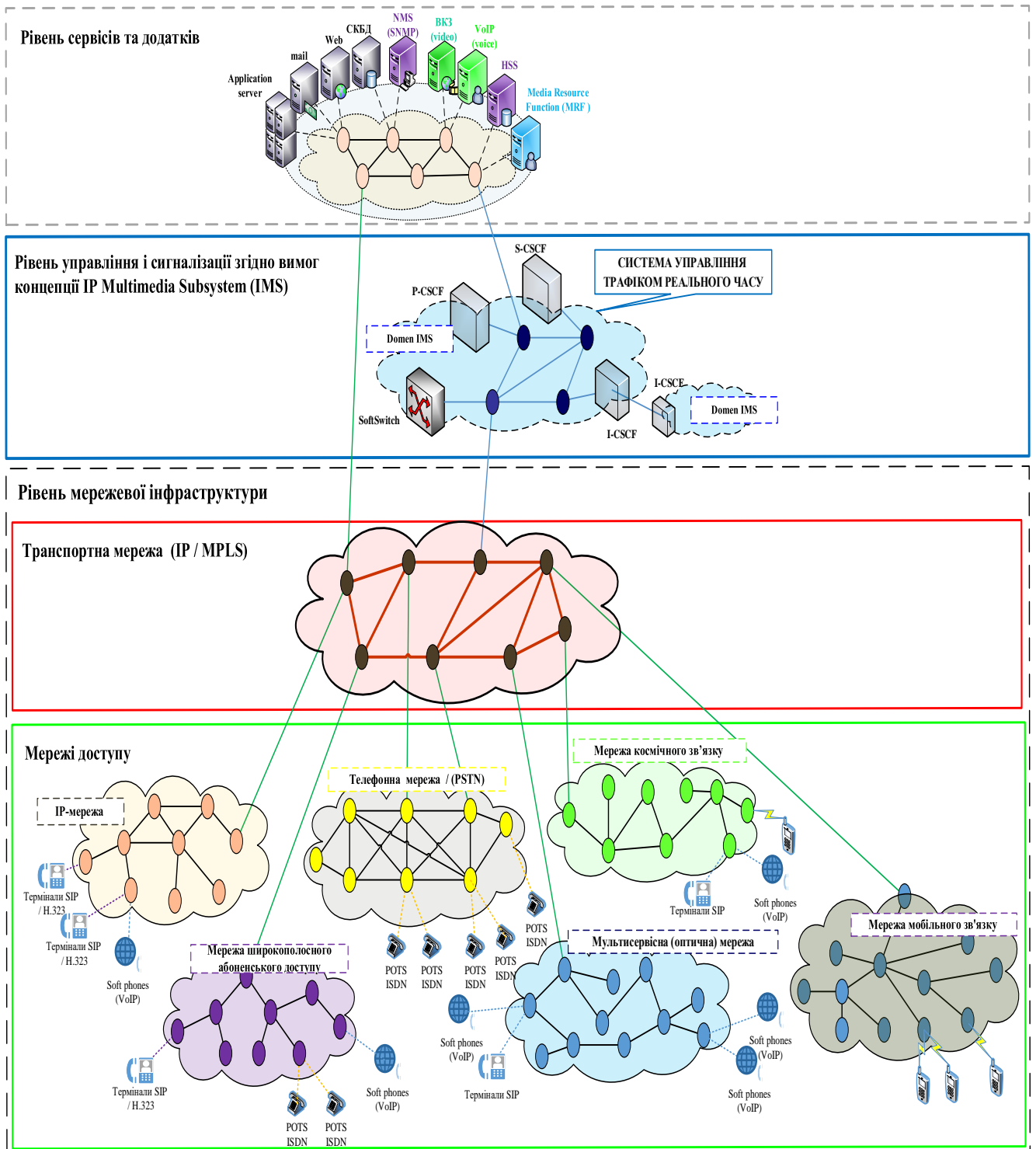


Рис. 1.9. Інтеграційна архітектура електронної комунікаційної мережі

Для реалізації розробленої інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі військового призначення (рис. 1.8) необхідно вирішити комплекс взаємопов'язаних задач:

Перша задача. Оцінити пропускну спроможність та якість обслуговування трафіку реального часу вже у розгорнутих мережах доступу, що відповідає першому рівню розробленої перспективної архітектури. Для цього в дисертаційній роботі необхідно розробити метод оцінки пропускну спроможності ЕКМ при забезпеченні якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу в процесі експлуатації.

Друга задача. Оцінити об'єм та достатню кількість мережевого ресурсу, який нам потрібно орендувати в Укртелеком та інших постачальників електронних комунікаційних мереж та/або послуг для побудови транспортної мережі з дотримання заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу, це відповідає третьому рівню розробленої інтеграційної архітектури. Тому була поставлена задача, щодо розробки методу визначення достатнього мережевого ресурсу гілок ЕКМ при дотриманні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу.

Третя задача. На рівні управління (другий рівень) необхідно врахувати різні типи сигналізації та додатковий об'єм трафіку сигналізації при його транскодуванні із одного типу в інший. А також визначити структуру системи управління трафіком реального часу та розробити вимоги до продуктивності програмно-функціональних блоків ядра IMS. Для цього необхідно розробити метод проектування мережі сигналізації в залежності від продуктивності програмно-функціональних блоків ядра IMS гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Четверта задача. До складу системи управління трафіком реального часу планується введення підсистеми моніторингу для контролю заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу та збору статистичних даних необхідних значень параметрів мережі. Для вирішення даної задачі необхідно розробити аналітичну модель визначення інтервалів опитування системою моніторингу в залежності від її структури та завантаженості гетерогенної ЕКМ.

Висновки до розділу 1

Рішення проблеми конвергенції гетерогенних електронних комунікаційних мереж, тобто забезпечення їх сумісності на рівні управління, сигналізації, потоків трафіка реального часу та здійснення повного переходу на „all-IP технології” на даному етапі розвитку не можливе так, як існуючі мережеві ресурси та сегменти мереж неоднорідні: обладнання різних мережевих вендорів із власними пропрієтарними протоколами; різної технологічної основи; різних методів комутації та сигналізації; різнотипні архітектурні рішення системи сигналізації.

Для побудови сучасної електронної комунікаційної мережі та системи управління трафіком реального часу потрібно вирішити дві основні проблеми: використання підходів щодо створення загального електронного комунікаційного середовища із різнорідних мереж для ефективного використання, як власного та і орендованого мережевого ресурсу, з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів; поєднання різнотипних систем сигналізації для управління трафіком реального часу, не прив'язуючись до конкретних програмно-апаратних рішень вендорів мережевого обладнання, при транскодуванні існуючих протоколів сигналізації.

В результаті аналізу та визначення переваг сучасних концепцій NGN та IMS для побудови (модернізації) інформаційно-комунікаційної системи розроблена інтеграційна архітектура ЕКМ, яка дозволяє створити загальне електронне комунікаційне середовище із різнорідних мереж. А також, об'єднати різнотипні системи сигналізації для забезпечення нормованих показників QoS трафіка реального часу. Необхідно відмітити, що використання комбінації концепцій NGN та IMS дозволяє реалізувати поступове переоснащення різнорідних сегментів мережі на новітнє обладнання згідно стеку протоколів TSP/IP та здійснити перехід ІКС на „all-IP технології” на всіх рівнях: передача мультимедійних потоків, управління та надання необхідних сервісів.

РОЗДІЛ 2

РОЗВИТОК МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОПУСКНОЮ СПРОМОЖНІСТЮ ТА ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В ГЕТЕРОГЕННИХ ЕКМ ІЗ ОБХІДНИМИ ШЛЯХАМИ

В даному розділі здійснено постановку проблеми управління розподілом повідомлень трафіка реального часу, трафіка сигналізації та моніторингу для забезпечення показників пропускної спроможності та якості обслуговування в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах при використанні технологій Traffic Engineering.

Проведено аналіз існуючих концепцій побудови системи управління електронними комунікаційними мережами та запропоновано узагальнену модель системи управління (СУ) трафіком реального часу ЕКМ. Також розглянуті основні принципи, функції, задачі управління при використанні моделей QoS та методів Traffic Engineering та запропонована схема функціонування СУ трафіком реального часу в процесі забезпечення заданих показників якості обслуговування QoS.

Проведено аналіз моделей, методів та технологій забезпечення гарантованого обслуговування трафіка реального часу, а також недоліків існуючого науково-методологічного апарату та напрямки його удосконалення щодо забезпечення заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування.

Формалізовано опис та запропоновано схему системного аналізу і синтезу методів управління розподілу повідомлень на різних рівнях інтеграційної архітектури ЕКМ з обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках.

2.1. Основні концепції систем управління електронними комунікаційними мережами

При збільшенні розмірності мереж, ускладненням обладнання і впровадженням нових технологій актуальним стає завдання ефективного управління мережею оператора комунікаційних послуг. На теперішній час на ринку продуктів для мережевого управління представлено безліч багатофункціональних платформ, що реалізують управління електронними комунікаційними мережами. Кожен з виробників представляє свої варіанти побудови системи управління (СУ) ЕКМ. Однак, проектування і побудова систем управління електронними комунікаціями оператора зв'язку здійснюється відповідно до документів міжнародних організацій, що займаються стандартизацією управління ЕКМ. Ключовими концепціями, над якими працюють ці організації наступні:

концепція TMN (Міжнародний союз електрозв'язку – ІТУ);

концепція Smart TMN (Форум управління телекомунікаціями TM Forum);

концепція NMF (Network Management Framework спеціальна комісія Інтернет розробок IETF);

концепція фірми IBM;

концепція TINA;

концепція CORBA.

Ці концепції лягають в основу побудови сучасних платформ управління електронними комунікаційними мережами. Зробимо короткий аналіз суті приведених концепцій управління електронними комунікаціями.

Концепція TMN (Telecommunications Management Network). TMN (мережа управління комунікаціями) – окрема мережа для управління функціонуванням мереж електронних комунікацій [30, 31]. Архітектура і принципи побудови TMN забезпечують реалізацію завдань по управлінню, оперативному контролю і експлуатації різноманітного мережевого обладнання та систем зв'язку, обладнання яких виготовлені різними виробниками. Мережа

TMN може бути логічною частиною ЕКМ, або фізично незалежною окремою мережею. Одним з найбільш важливих завдань концепції TMN є побудова СУ інфраструктурою оператора в умовах різнорідної конвергентної мережі з використанням обладнання різних виробників.

Концепція Smart TMN. Суть концепції Smart TMN викладена в документах TM Forum [32]. Необхідність розробки концепції Smart TMN обґрунтовується в наступними причинами:

необхідністю автоматизації повномасштабного управління процесами функціонування з моменту ініціалізації запиту на обслуговування до моменту завершення обслуговування абонентів;

організацією обміну інформацією між підпроцесами для забезпечення прозорості управління;

технології, що розробляються, повинні ефективно забезпечувати побудову спеціалізованих систем (систем обрахунку користувачів, систем фінансового і бухгалтерського розрахунку і тому подібне) так, щоб програмні застосування різних виробників легко і надійно (по методу „Plug and Play”) поєднувалися в єдиній системі управління. З точки зору управління бізнес-процесами ці застосування повинні сприйматися як органічні частини єдиного цілого і їх робота повинна виглядати „прозорою”.

Концепція Smart TMN характеризується ширшим колом застосування різних технологій в порівнянні з архітектурою TMN. Зокрема, транспортний рівень концепції Smart TMN побудований на базі об’єктної технології CORBA. В якості мови опису об’єктів використовуються – Java і XML. Для організації взаємодії різних систем управління, що використовують протоколи CMIP і SNMP та побудовані на базі концепції TMN, були розроблені окремі специфікації.

Концепція CORBA. CORBA (Common Object Request Broker Architecture) – узагальнена архітектура брокера об’єктних запитів, це промисловий стандарт написання розподілених додатків для взаємодії в неоднорідних обчислювальних середовищах. Основою технології є архітектура управління об’єктами.

Основним елементом технології CORBA є програма-брокер ORB (Object Request Broker). ORB є посередником (брокером) між менеджером і агентом. ORB приймає запити від користувача і передає його об'єкту призначення. При цьому виконуються необхідні операції перетворення інформації, що забезпечують узгодження між середовищем програми управління, менеджером та агентом об'єкта керування.

Опис інтерфейсів на базі технології CORBA можна знайти в [33]. На рис. 2.1 показаний приклад використання цієї технології для реалізації завдань мережевого управління.

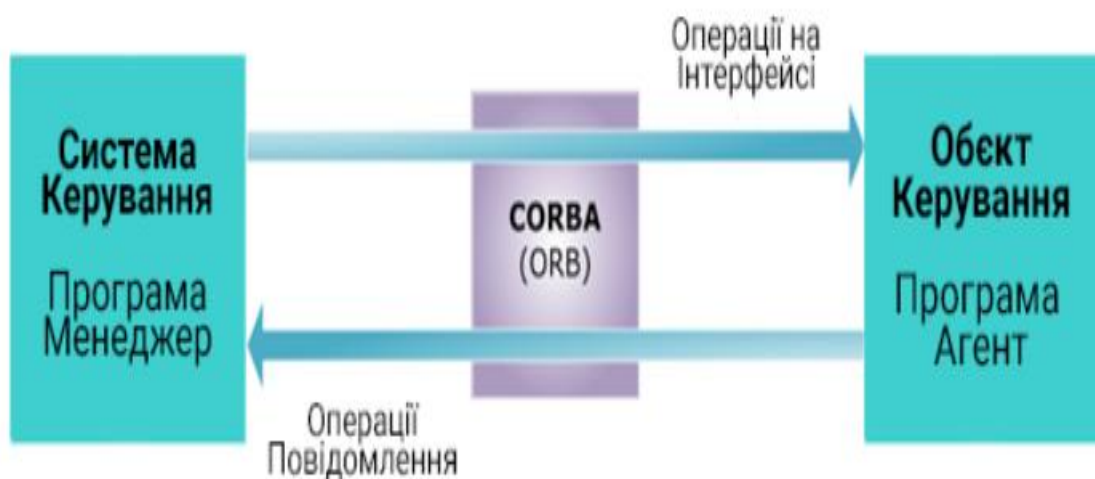


Рис. 2.1. Приклад реалізації завдань мережевого управління на основі CORBA.

Концепція IETF. Управління мережею згідно з документами IETF базується на моделі: „агент-менеджер”. Менеджери – це програмно-апаратні засоби. Вони збирають інформацію від агентів, які знаходяться в об'єктах управління мережі, і безпосередньо взаємодіють з ними. Менеджери обслуговують базу параметрів управління MIB (Management Information Base) і на підставі отриманої інформації від агентів виконують керуючі дії, по відношенню до елементів мережі. Інформаційні бази управління містять списки параметрів управління, їх значення. Агенти забезпечують відповідність змісту баз даних реальному стану об'єктів [34].

Система управління має ієрархічну архітектуру, тобто кожен менеджер управляє групою агентів. У свою чергу менеджери можуть виступати в ролі агентів для менеджерів більш високого рівня.

Для реалізації моделі „агент-менеджер” в концепції IETF використовуються протоколи SNMP v1, 2, 3. Протокол SNMP – протокол прикладного рівня моделі OSI, який забезпечує передачу службових повідомлень від менеджера до агента, а також передачу інформації управління у зворотному напрямі (рис. 2.2).

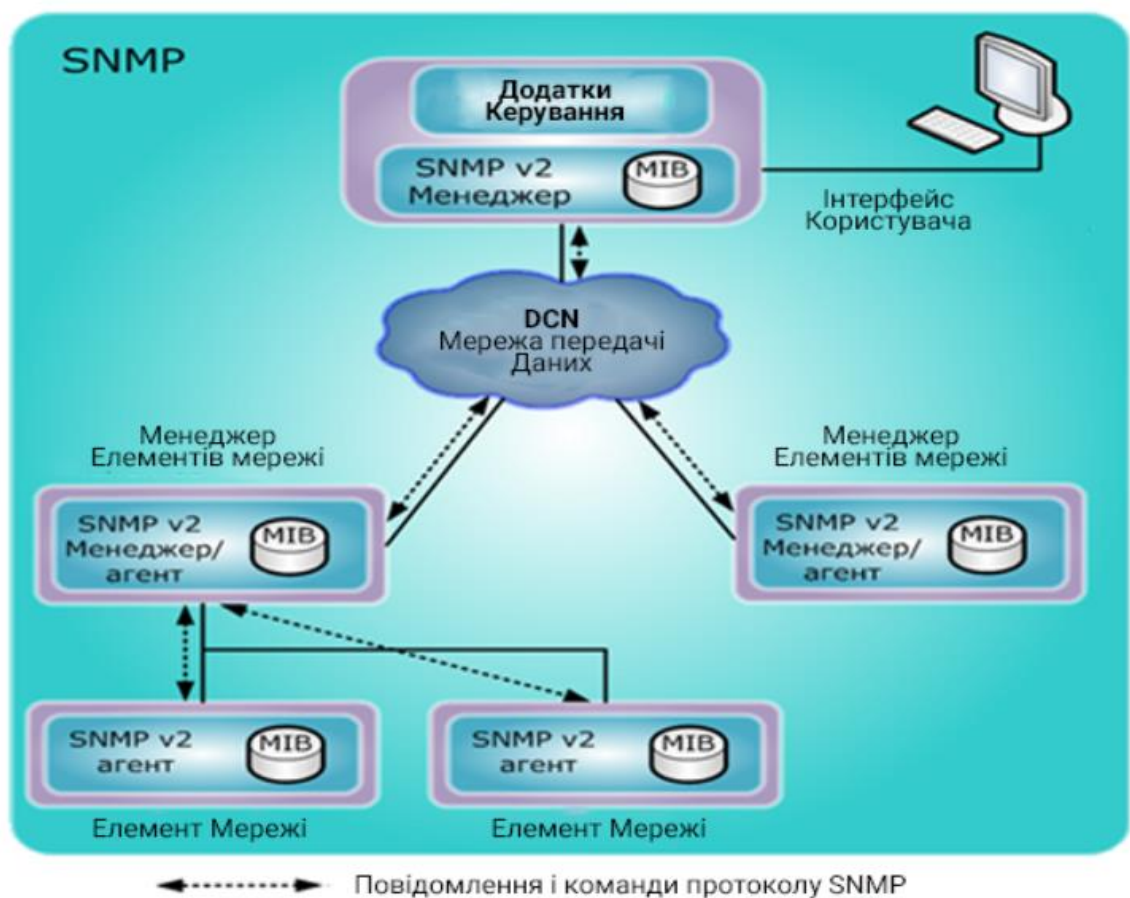


Рис. 2.2. Приклад реалізації моделі „агент-менеджер” з використанням протоколу SNMP

SNMP є досить гнучким і розширюваним протоколом управління мережею. SNMP-агенти можуть розроблятися для управління специфічними пристроями, виконувати різні завдання, специфічні для різних класів пристроїв, забезпечувати стандартний механізм мережевого контролю і управління.

Концепція TINA. При побудові моделі управління згідно концепції TINA (Telecommunication Information Network Architecture), мережі і служби розглядаються як складові бізнес-процесів.

Основні принципи архітектури TINA:

системи, які сумісні з архітектурою TINA, підтримуються стандартами OSI;

передбачається використання існуючих видів устаткування різних виробників;

неоднорідність системи, яка обумовлена різноманітністю її компонентів, не відчувається користувачами і розробниками програмного забезпечення;

мережі, сумісні з TINA, відповідають вимогам сучасних інформаційних послуг (підтримують як традиційні послуги, так і нові).

Архітектура TINA складається з наступних компонентів (рис. 2.3) :



Рис. 2.3. Архітектура TINA

архітектура послуг, яка визначає принципи організації, управління і надання комунікаційних послуг;

мережева архітектура, яка описує взаємодію транспортної мережі з програмними продуктами;

архітектура управління, яка описує принципи побудови програмних засобів для управління послугами, ресурсами і програмами;

архітектура обчислень, яка призначена для побудови розподіленого програмного забезпечення.

Одним з важливих компонентів приведеної архітектури є телекомунікаційна система (TINA-TS), яка є набором апаратних і програмних ресурсів, здатних надавати послуги різним користувачам безпосередньо або з використанням інших систем. Типи послуг і мережевих технологій в TINA не обмежуються певними технологіями, що у свою чергу, дозволяє використовувати цю архітектуру на існуючому устаткуванні різних виробників.

Розроблені інтерфейси дозволяють реалізувати взаємодію між системою управління мережі (Network Management System) і системою управління елементом мережі (Element Management System). Застосування таких інтерфейсів дозволяє:

використовувати один і той же інтерфейс для управління мережами, що використовують різні технології (PDH, SDH, Ethernet, MPLS);

виявляти ресурси управління, які знаходяться під контролем системи як при введенні в експлуатацію так і при нормальному режимі роботи;

конфігурувати мережеві елементи;

визначати наявність фізичних ресурсів (стійки, штативи, полиці, модулі);

здійснювати контроль технічних характеристик, завантаження мережі та ін.

Використання ORB забезпечує взаємодію між додатками управління, які розташовані на різних машинах в розподіленому середовищі. З використанням технології CORBA, ПЗ агентів (керованих елементів) і менеджерів (систем управління) можуть складатися з елементів, розподілених по декількох мережевих вузлах, що дозволяє раціонально використовувати машинні ресурси і підтримувати управління складними територіально-розподіленими мережами.

Платформа мережевого управління TeMIP фірми Compaq. Платформа TeMIP (Telecom Management Information Platform) і сімейство додатків TeMIP Solution Sets, які забезпечують управління, були реалізовані у вигляді архітектури „клієнт-сервер”, що працюють під управлінням операційної системи Tru64Unix і використовують у своїй роботі СУБД Oracle.

Продукти TeMIP відповідають мережевому і сервісному рівням ієрархічної архітектури TMN. Вони дозволяють управляти наступними елементами:

- магістральними мережами SONET/SDH/PDH;
- бездротовими GSM, PCS мережами;
- мережами з системою сигналізації SS7;
- АТМ-магістралями;
- каналами xDSL.

Платформа TeMIP має об'єктно-орієнтовану розподілену архітектуру і поєднує базові принципи адміністрування, які визначені стандартами TMN і OSI. Вона забезпечена різноманітними засобами контролю доступу до додатків адміністрування і службової інформації. Підтримує різні графічні інтерфейси та допускає одночасну роботу декілька сотень операторів, контролюючих функціонування декількох мільйонів об'єктів.

До складу TeMIP входить стандартизована бібліотека інтерфейсів. Це дозволяє цій платформі підтримувати найбільш популярні комутатори, пристрої передачі даних і засоби управління ними від провідних світових виробників.

Подібно до інших сімейств TMN-продуктів, TeMIP надає в розпорядження користувачів об'єктно-орієнтоване середовище розробки додатків і набір відкритих API-інтерфейсів. Це полегшує впровадження нових послуг і інтеграцію системи з розробками інших компаній.

Сімейство TeMIP є комплектом з двох основних продуктів:

1. TeMIP Network Management Solution;
2. TeMIP Service Management Solution.

TeMIP Network Management Solution реалізує функції системи управління мережею. Забезпечує виконання і підтримку операцій моніторингу, конфігурації,

адміністрування ресурсів, обробку помилок відповідно до специфікацій FCAPS. Стосовно концепції TMN, продукт TeMIP надає можливості управління мережевими елементами (NEL), мережею TMN (NML) і сервісами в мережі (SLM). Через модуль адаптації TeMIP Network Management Solution підтримує широкий набір технологій передачі даних – SDH, PDH, X.25, ATM, GSM, UMTS, Frame Relay, SS7 та ін.

Основу сімейства TeMIP Network Management Solution складає інтегроване середовище TeMIP OSS Framework. З точки зору організації сервера TeMIP продукт складається з наступних структурних блоків:

1. Рівень доступу (Access Layer). Забезпечує інтерфейси до елементів телекомунікаційної мережі NE, QA, MD, OSS.

2. Блок відображення і перетворення (Mapping and Translation). Відповідає за збір інформації про пристрої і представлення фізичної і логічної топології мережі. Для вирішення завдання розташування на карті пристроїв різної природи цей блок виконує функції трансляції інформації, яка управляє.

3. Набори засобів розробки для інтеграції компонентів (Toolkits) призначені для налаштування базових компонентів TeMIP, а також для створення прототипів пристроїв у разі їх відсутності в базі даних TeMIP.

4. Блок обробки сигналів (Alarm Handling). Здійснює генерацію і візуалізацію сигналів на базі аналізу подієвої інформації, що надходить від об'єктів мережі.

Основні функції, які реалізовані в TeMIP OSS Framework, дозволяють виконувати наступні завдання:

1. Виявлення пристроїв в мережі (AutoDiscovery).
2. Побудова карти мережі (Topology Management).
3. Обробка збоїв (Fault Management).
4. Управління конфігурацією пристроїв (Configuration Management).
5. Інвентаризація мережеских ресурсів (Inventory).

TeMIP Service Management Solution призначений для реалізації функцій контролю за станом сервісів і підтримує моніторинг сервісів Internet, VPN,

широкосмугової передачі даних, та інше. TeMIP Service Management Solution містить у своєму складі наступні компоненти:

1. Fault Management – управління обробкою збоїв і відмов.
2. Performance Management – моніторинг завантаження каналів і вузлів мережі.
3. SS7 Traffic Mgmt – моніторинг завантаження каналів зв'язку і пристроїв, які підтримуються SS7.
4. Transmission & Structure Management – управління каналами SDH/SONET/DWDM/PDH/TDM;
5. Broadband & Service Managemnt – управління широкосмуговими мережами.
6. Internet Service Monitor – моніторинг стану сервісів HTTP, IMAP, POP3, SMTP, NNTP, LDAP, FTP, DNS, RADIUS та ін.

Рівень адаптації TeMIP реалізований на базі технології „модулів доступу” (Access Modules, AM). Вони виконують функції адаптера QA і локального NEM для конкретного пристрою, до якого звертається і з яким взаємодіє AM. Продукт TeMIP поставляється з бібліотекою модулів доступу, де міститься набір інформації про особливості і принципи роботи конкретного пристрою NE або програми управління для його NEM. Уся специфіка роботи прихована усередині модуля доступу. Завдяки використанню різних AM об'єктами мережі можна управляти з використанням різних комунікаційних протоколів і технологій – SNMP, OSI/CMIP, ASCII, CORBA, TL/1 та ін.

Сімейство продуктів TeMIP містить широкий набір компонентів, який дозволяє будувати на його основі потужні і гнучкі системи управління електронною комунікаційною структурою великого оператора. Додаткові модулі призначені як для розширення сфери використання продуктів TeMIP, так і для вирішення спеціалізованих завдань. Приклади спеціалізованих модулів:

1. TeMIP WEB Center – портал, через який можливо отримати доступ до усієї інформації, що зберігається в базі даних TeMIP. При цьому доступ до даних регламентується стандартними засобами безпеки TeMIP.

2. Correlator – блок пошуку першопричини збоїв, що сталися в мережі. Окрім власного пошуку, він виявляє сигнали помилкового спрацьовування і подвійних помилок. Застосування технології аналізу першопричини дозволяє значно скоротити час пошуку реальної причини несправності в електронній комунікаційній мережі.

3. Trouble-Ticketing System (TTS) – модуль, який розширює функціональність блоків обробки сигналів і здійснює кореляцію подій з метою пошуку першопричини збоїв. При появі сигналів і повідомлень про виникнення проблем в мережі модуль TTS автоматично вибирає з бази даних TeMIP інформацію, що стосується такого типу подій (сигналів), і формує повідомлення для фахівців служби підтримки. Воно може бути передане по мережі, на голосову пошту, мобільний телефон та ін.

Система управління TeMIP – потужний і добре продуманий засіб, на основі якого можна будувати розподілені центри управління. Користувачу надаються широкі можливості по організації управління комунікаційною інфраструктурою, засобами стаціонарного і мобільного зв'язку, багатьма іншими пристроями.

Прагнучи не відстати від останніх віянь в галузі сучасних електронних комунікацій, Compaq пропонує альтернативним операторам і провайдерам нової хвилі комплект додатків TeMIP Solution Sets. Як і основна платформа, він здатний працювати в різних провідних і безпроводових мережах, реалізуючи управління відмовами і наданням послуг, контроль за трафіком і якістю сервісу. Розраховані на компанії малого і середнього розміру, додатки TeMIP Solution Sets відрізняються простотою в установці і налаштуванні, тобто адміністратор зможе швидко перейти від процедури інсталяції до продуктивної роботи з цими продуктами.

Платформа мережевого управління HP Open View фірми Hewlett-Packard. Компанії Hewlett-Packard і Vertel винесені в самостійний розділ огляду не стільки із-за сформованого ними альянсу, скільки через вагу цих фірм на ринку TMN-продуктів. При чому, провідну роль відіграє середовище HP OpenView Element Management Framework (OEMF), яке реалізує функції управління,

визначені в рекомендаціях M.3400 UTU-T. В першу чергу сюди відноситься управління збоями (включаючи генерацію повідомлень попереджень) та продуктивністю. Ряд додаткових областей адміністрування (управління конфігурацією, облік ресурсів та ін.) покривається розробками партнерів Hewlett-Packard. Таким чином, з функціональної точки зору OEMF займає проміжне положення між другим і третім рівнями TMN-піраміди.

У структурі OEMF чи не центральне місце належить платформі HP OpenView Fault Management Platform (FMP). Серед інших складових частин цього середовища адміністрування – Performance Management Server, Configuration Management Server і Trouble Ticketing System. Узагальнена схема роботи сервера FMP представлена на рисунку 2.4., де MD – пристрій посередник.

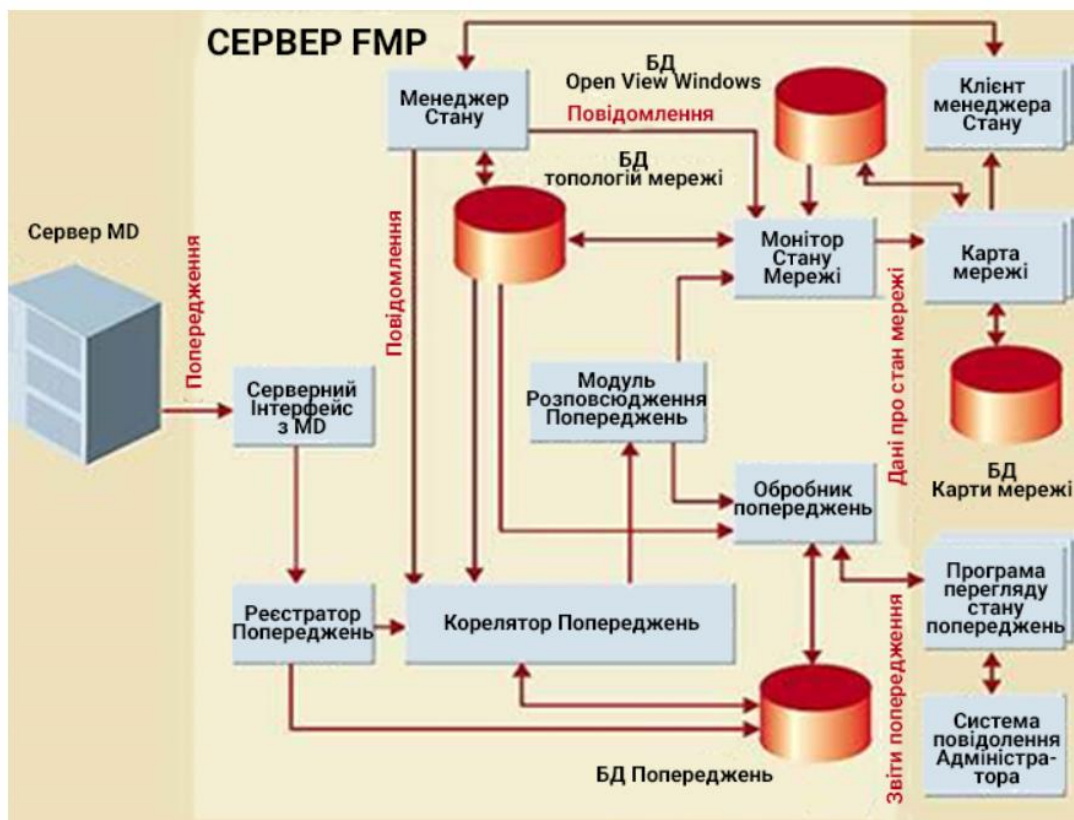


Рис. 2.4. Функціональна схема сервера FMP

Взаємодія між компонентами OEMF в мережі TMN показана на рис. 2.5.

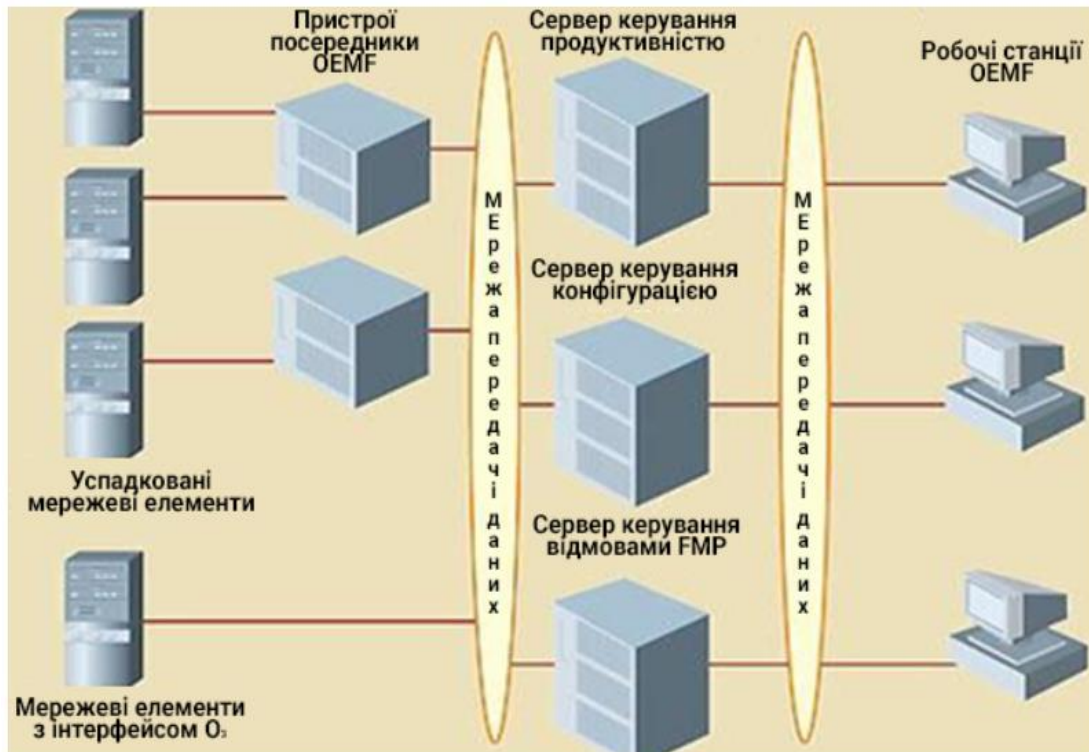


Рис. 2.5. Фізична архітектура середовища OEMF

Залишається додати, що і до вступу в альянс з Vertel компанія Hewlett-Packard пропонувала різноманітні інструментальні засоби для створення додатків керування. Прикладами можуть служити платформа HP OpenView Distributed Management (DM), розрахована на розробку переносимих програм, які відповідають стандартам TMN, і HP GDMO Modeling Toolset, орієнтована на побудову моделей мережевих об'єктів.

2.2. Аналіз моделей, технологій та вимог до якості обслуговування трафіка реального часу QoS в електронних комунікаційних мережах

Особливістю сучасних гетерогенних електронних комунікаційних мереж полягає в транспортуванні повідомлень різного типу (трафік реального часу: голос, відео, сигналізація та трафіка не реального часу: передача даних), при цьому існує тенденція постійного збільшення об'ємів передачі мультимедійного трафіка.

Одним з основних завдань управління такою мережею є організація ефективної доставки повідомлень, а саме забезпечення якості обслуговування Quality of Service (QoS), для всіх видів трафіку [35 – 36].

Сучасні методи (технології) забезпечення якості обслуговування QoS в мережах стеку TCP/IP полягають в ефективному управлінні мережевими ресурсами та механізмами боротьби із перенавантаженнями в мережі, які виникають в результаті пульсації мультимедійного трафіку: резервування наявних ресурсів мережі, пріоритизація трафіку, перемаршрутизація та використання адаптивних алгоритмів управління чергами. [37] Хоча представлені механізми дозволяють забезпечити необхідний рівень QoS користувачу, однак їх застосування на практиці має певні обмеження та умови використання. Розглянемо існуючі моделі, які знайшли застосування для даного класу мереж.

По-перше це модель „найкращої спроби” (Best Effort). У даній моделі використовуються всі доступні ресурси мережі без виділення окремих класів трафіка і регулювання. Вважається, що кращим механізмом забезпечення згідно даної моделі QoS є збільшення пропускної спроможності. Переваги простота налаштування, не вимагає реалізації складних QoS-механізмів. Однак, навіть при наявності великих резервів мережевого ресурсу допускає виникнення перевантажень у разі різких сплесків трафіку.

Недоліки відсутність будь-яких гарантій щодо якості доставки і щодо самого факту доставки, відсутність диференціації трафіка на класи (рівні) обслуговування. Мінімальна гарантована смуга пропускання 25% від бітової швидкості каналу, залежить від кількості інших класів і вимог до якості їх обслуговування.

Інтегрований сервіс (Integrated Service) містить у собі існуючу раніше доставку „Best Effort”, а також додає доставку потоків трафіка реального часу з гарантованою затримкою і доставку пакетів з гарантованою швидкістю. Основною перевагою даної моделі є забезпечення гарантованої якості обслуговування, шляхом резервування достатніх ресурсів мережі, а саме смуги

пропускання каналів та ресурсів активного обладнання, які приймають участь в створенні відповідних інформаційних потоків. Це в свою чергу дозволяє більш ефективно використовувати обладнання мережі.

Переваги: виконання гарантій щодо наданого рівня якості сервісу; реалізація управління доступом з метою перевірки доступних ресурсів; інтеграція з інфраструктурою правил COPS; підтримка сигналізації H.323.

В основі архітектури Integrated Service лежить протокол резервування ресурсів – Resource ReSerVation Protocol (RSVP), який свою чергу має ряд вагомих недоліків. Основний недолік RSVP – низька масштабованість, особливо це стосується високошвидкісних магістральних мереж так, як RSVP проводить резервування для кожного інформаційного потоку окремо. Також необхідно зберігати інформацію про стан кожного потоку на кожному вузлі та використовувати достатньо великі обсяги сигнальної інформації.

У зв'язку з важливістю масштабованості магістральної мережі з комутацією пакетів, була розроблена модель надання диференційованих послуг (Differentiated Service). Основним моментом у моделі Differentiated Service є диференціювання трафіка шляхом його розбивки на класи з різними пріоритетами (рівнем QoS). В зв'язку з цим, основною задачею Differentiated Service є визначення і стандартизація диференційованої послуги шляхом маркування відповідних полів IP-пакета для подальшого його просування через проміжні вузли мережі. При чому, підтримка відповідного рівня QoS здійснюється на кожному вузлі.

Такий механізм знижує обсяг службової інформації в порівнянні з архітектурою Integrated Service. Модель Differentiated Service підтримує три основні види обслуговування: гарантоване обслуговування, пріоритетне обслуговування і сервіс „найкращої спроби” (Best Effort). Переваги: висока масштабованість; можлива організація великої кількості класів обслуговування (при використанні шестибітного поля DSCP – 64 класи).

Недолік даної моделі полягає в тому що, незважаючи на високий пріоритет, дані все одно можуть бути втрачені за рахунок перевантажень у

вузлах мережі. Відсутність гарантій; вимагає реалізації великої кількості механізмів QoS, можливі складності в налаштуванні.

Також використовуються гібридні моделі для надання QoS від абонента до абонента IntServ-DiffServ, що включають механізми вище перерахованих методів.

Наступним із перспективних підходів забезпечення необхідного рівня якості обслуговування в IP-мережах являються механізми Traffic Engineering. Traffic Engineering (TE) – здатність динамічного управління потоками вхідного трафіку з метою виконання необхідних показників якості обслуговування QoS.

На теперішній час, найбільш гнучкою мережевою технологією, яка підтримує протоколи забезпечення QoS є Multiprotocol Label Switching (MPLS) [38]. Причому, головною особливістю даної технології є заміна процесу маршрутизації кожного пакета на комутацію пакета на основі міток. Для реалізації комутації по міткам використовуються наступні протоколи сигналізації Label Distribution Protocol (LDP), Constraint-Routing (CR-LDP) та Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE), однак не всі вони забезпечують виконання заданих показників QoS [39].

Наприклад, протокол розподілу міток LDP являє собою набір процедур і службових повідомлень, за допомогою яких маршрутизатори (комутатори) Label Switching Router (LSR) організовують тракти комутації по мітках Label-switched path (LSP), обмінюючись інформацією про прив'язку міток по Forwarding Equivalence Class (FEC), а саме об'єднують в один потік пакети з однаковими вимогами до передачі. Даний протокол здатний агрегувати потоки даних, від різних джерел передачі на основі FEC, але не підтримує забезпечення показників якості обслуговування (QoS).

В свою чергу, протокол CR-LDP має всі властивості LDP, однак додатково в ньому визначені механізми створення і підтримки трактів LSP з явно заданим маршрутом. CR-LDP застосовується для таких додатків MPLS, як Traffic Engineering – управління трафіком і QoS, де потрібна додаткова інформація про маршрути. CR-LDP володіє досить широкими можливостями інжинірингу

трафіку в мережах MPLS і не вимагає реалізації в обладнанні додаткового протоколу, а лише розширення вже існуючого. Однак, недолік протоколу полягає в тому, що він не може динамічно перерозподіляти навантаження в мережі. Наступний протокол сигналізації RSVP-TE має значні доопрацювання. Першою з двох функцій, покладених на RSVP-TE технологією MPLS, є розподіл міток (замість протоколу LDP). Друга, традиційна для RSVP роль полягає у підтримці QoS в мережі MPLS, за рахунок використання механізмів TE в режимі тунелювання. Тобто, маршрутизатори LSR повинні узгодити між собою параметри QoS для кожного FEC. Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільш перспективним із розглянутих протоколів, що реалізує розподіл міток та забезпечує механізми QoS є RSVP-TE.

В процесі наукового дослідження проведена класифікація основних задач [40 – 43] управління трафіком реального часу в залежності від рівня гетерогенної ЕКМ (рис. 2.6), а також проведена класифікація моделей QoS та методів Traffic Engineering для забезпечення заданих показників якості обслуговування (рис. 2.7).

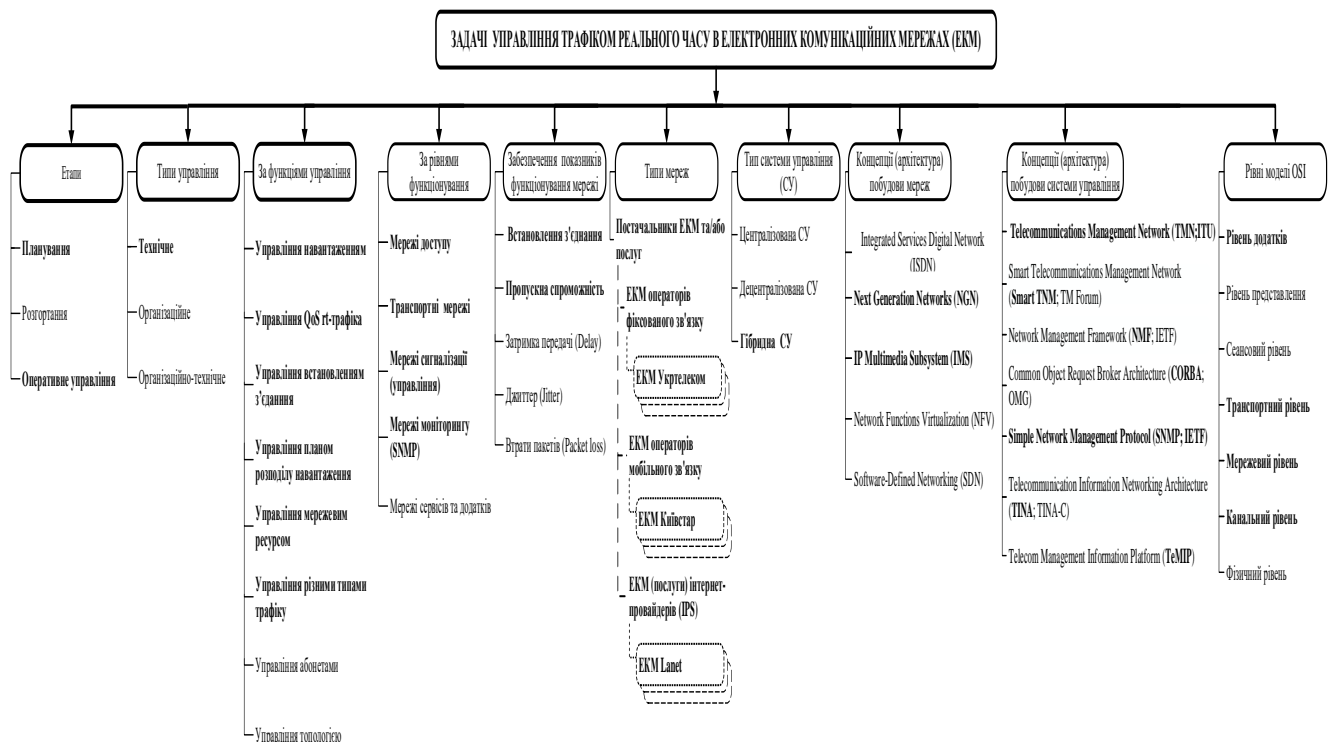


Рис. 2.6. Основні задачі управління трафіком реального часу в ЕКМ

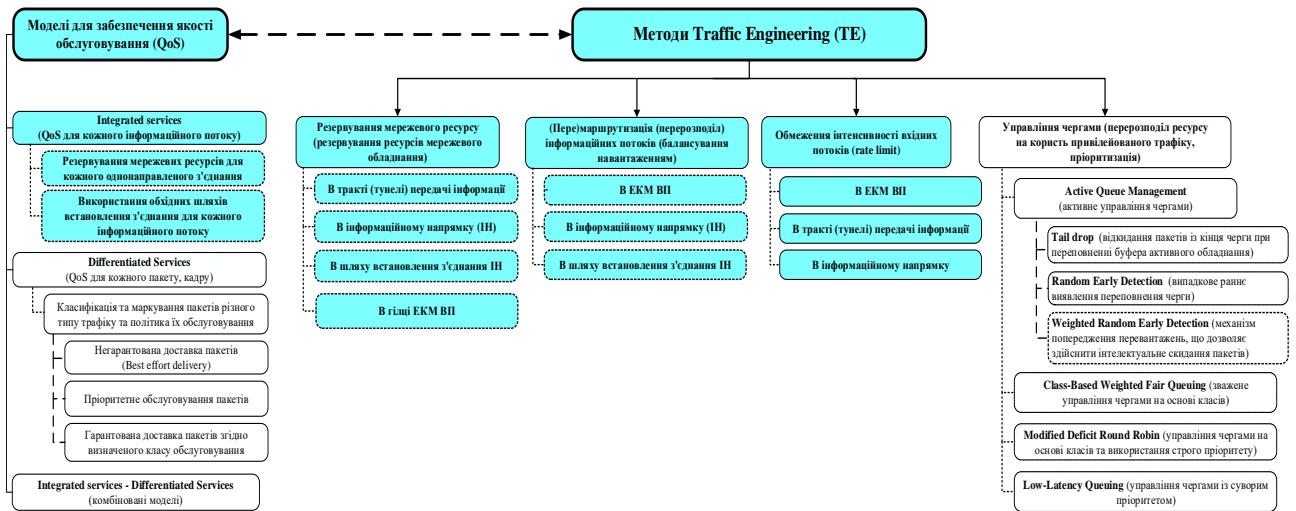


Рис. 2.7. Класифікація моделей QoS та методів Traffic Engineering для забезпечення заданих показників якості обслуговування

В результаті аналізу міжнародних стандартів ITU-T, для пакетної мережі із протоколом встановлення з'єднання (virtual circuit) було використане поняття наскрізного показника якості обслуговування QoS трафіку реального часу між абонентами (рис. 2.9). А саме, це ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання для надання сервісу абоненту мережі $P_{Trt}^{QoS}(t)$. Тобто, відношення кількості спроб встановлення з'єднання, результатом яких є відмова у встановленні з'єднання, до загальної кількості встановлення з'єднання за період вимірів [44, 45].

Необхідно відмітити, що наскрізне QoS визначається вкладом компонентів гетерогенної електронної комунікаційної мережі, які показані на рис. 2.8.

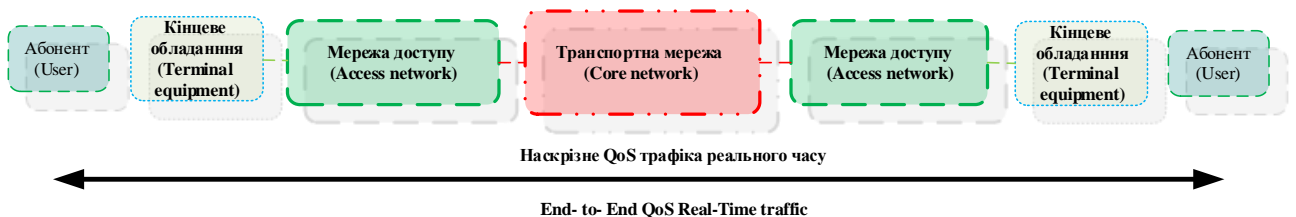


Рис. 2.8. Схематичне представлення вкладів компонентів ЕКМ у наскрізне QoS трафіка реального часу

Конфігурація, яка показана вище звичайно використовується при наявності абонентів на кожному кінці з'єднання. Вплив мережі доступу та транспортної мережі на наскрізне QoS трафіка реального часу це співвідношення між середовищем передачі та технологій (мережеві протоколи, протоколи сигналізації), що використовується для надання послуги та інших факторів.

В свою чергу, параметр QoS $P_{Trt}^{QoS}(t)$ має нормовані значення P_{Trt}^{norm} , відповідно до міжнародних рекомендації ITU-T та нормативно правових актів України ймовірність відмови для встановлення з'єднань для трафіку реального часу та трафіка сигналізації повинна не перевищувати граничні нормовані рівні [46 – 53], які узагальнені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Нормовані показники (параметри) якості послуг (QoS) трафіка реального часу та трафіка сигналізації

Вид показників	Показники (параметри) та їх позначення	Граничні нормовані рівні показників (параметрів)
Показники, які характеризують доступність послуг трафіка реального часу	відсоток неуспішних викликів $P_{Trt}^{QoS}(t)$ для голосу (voice) та відео-конференц зв'язок (interactive video):	
	а) міжнародних викликів, між ЕКМ ВП та мережами країн НАТО	не більше 1% (0,01) [ITU-T]
	б) національних викликів, в ЕКМ ВП:	[Закон України про ЕК; накази ДСЗЗІ України]
	міжміських викликів, тобто в транспортній мережі ВП:	не більше 10% (0,1)
	місцевих викликів, тобто в мережах доступу ВП:	не більше 5% (0,05)
Показники, які характеризують вимоги до роботи трафіка сигналізації	відсоток неуспішних викликів $P_{Sig}^{QoS}(t)$ при встановленні наскрізного з'єднання між абонентами:	не більше 0,1% (0,001)

Електронно комунікаційні мережі із протоколом встановлення з'єднання (virtual circuit) являються більш складними в порівнянні із аналогічними пакетними мережами без встановлення з'єднання (datagram). В момент надходження повідомлення вимагається встановлення віртуального шляху (логічного з'єднання) між джерелом та адресатом повідомлення (від абонента до абонента). При цьому для забезпечення гарантованої якості обслуговування і

часу затримки мережеві ресурси (буферний простір мережевого обладнання і смуги пропускання в цифрових лініях передачі) резервуються на протязі всього часу передачі повідомлення. У випадку обслуговування трафіка реального часу резервуються мережеві ресурси для кожного аудіо-потоків на весь час телефонної розмови між абонентами або для відео-потоків на весь час проведення відеоконференції між абонентами в мережі.

Головним недоліком протоколів із встановленням з'єднання є складність керування процесами передачі повідомлень при відмові одного із комутаторів (маршрутизаторів) або ліній в шляху передачі, необхідність оновлення маршрутної матриці на кожному вузлі в шляху (маршруті) в темпі процесу передачі повідомлення, а також зберігання інформації про всі потоки трафіку, що проходять через даний вузол комутації.

Однак, для забезпечення гарантованої якості обслуговування трафіка реального часу та трафіка сигналізації (забезпечення нормованих показників QoS) найбільш доцільно використовувати технології віртуальних каналів або тунелів з врахуванням особливостей функціонування гетерогенних ЕКМ.

В свою чергу, використання протоколів із встановлення з'єднання дозволяє використати переваги технології Traffic Engineering та забезпечити заданий рівень якості обслуговування інших мережевих параметрів, таким як: втрати пакетів, затримка пакетів, джитер (коливання затримки).

На даний час QoS в пакетних електронних комунікаційних мережах задається декількома способами:

рекомендаціями відомих спілок та міжнародних організацій (Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) (таблиця 2.2, 2.3 рекомендації МСЕ-TG.1010 та TG109 відповідно), Європейський дослідницький центр у галузі електронних комунікацій (Research on Advanced Communication in Europe, RACE) (таблиця 2.4, 2.5 рекомендації RACE), у термінах мережевої технології – часом та ймовірністю встановлення з'єднання, необхідної швидкістю передачі, відсоток втрачених пакетів та пакетів з помилками, затримкою та варіацією (джиттером) затримки пакетів та ін;

експертною оцінкою за деякою шкалою, наприклад, за шкалою Mean Opinion Score (MOS);

класом послуги, якому відповідає набір нормованих значень її властивостей.

Таблиця 2.2 – Допустимі значення параметрів QoS при передачі мультимедійного трафіку

Тип сервісу	Параметри QoS				
	Час встановлення з'єднання, с	Ймовірність розриву з'єднання	Затримка, мс	Джитер, мс	Ймовірність втрати даних
IP-телефонія	0.5 - 1	10^{-3}	25 - 500	100 - 150	10^{-3}
Відеоконференція	0.5 - 1	10^{-3}	30	30 - 100	10^{-3}
Цифрове відео по запиту	0.5 - 1	10^{-3}	30	30 - 100	10^{-3}
Передача даних	0.5 - 1	10^{-6}	50 - 1000	---	10^{-6}

Таблиця 2.3 – Модель вимог до якості обслуговування з боку користувача

Помилки даних	Терпимі	Розмова (голос, відео)	Передача повідомлень (голос, відео)	Потоки (аудіо, відео)	Факсимільні повідомлення
	Нетерпимі	Команди управління	Транзакції (електронна комерція)	Передача повідомлень, завантаження файлів	Фонова інформація (мережеві новини)
		<<1 с	2 с	10 с	>>10 с
Затримка інформації					

Відповідно категорії із самим високим рівнем якості обслуговування використовуються для трафіку реального часу, який критичний до затримок в мережі, при якому пакети в потоках вимагають мінімального часу очікування (мінімальна затримка в обслуговуванні). З врахуванням наявних показників QoS і категорій сервіса можна стверджувати, що всі типи трафіків доцільно розділити на два класи – трафік реального часу (rt-трафік) і трафік нереального часу (nrt-трафік). Прикладом rt-трафіку являється відео-, аудіо-інформація трафік

сигналізації, а в якості nrt-трафіку можна називати комп'ютерні дані, повідомлення електронної пошти і т.д.

Таблиця 2.4 – Вимоги до якості послуг, які надаються

Тип даних	Назва послуги	Тип передачі	Необхідна швидкість та обсяг передачі	Параметри якості послуги		
				Затримка, мс	Джитер, мс	Ймовірність втрат даних, %
Аудіо	Телефонія	Дуплекс	4-64 кбіт/с	<150 мс (відмінна якість), <400 мс (допустима якість)	<1 мс	< 3
	Передача мовних повідомлень	Симплекс	4-32 кбіт/с	<1 с (для відтворення) <400 мс (для запису)	<1 мс	< 3
	Звукове мовлення	Симплекс	16-128 кбіт/с	<10 с	<< 1мс	<1
Відео	Відеоконференція	Дуплекс	> 384 кбіт/с	<150 мс (відмінна якість), <400 мс (допустима якість)		<1
Дані	Доступ до Інтернет (перегляд WEB-сторінок)	Симплекс	10 Кб	<2 с (відмінна якість), <4 с (допустима якість)	ненормоване	0
	Передача файлів значного обсягу	Симплекс	10 Кб-10 Мб	<15 с (відмінна якість), <60 с (допустима якість)	ненормоване	0
	Передача зображень	Симплекс	100 Кб	<15 с (відмінна якість), <60 с (допустима якість)	ненормоване	0
	Доступ до серверу електронної пошти	Симплекс	10 Кб	<2 с (відмінна якість), <4 с (допустима якість)	ненормоване	0
	Факс	Симплекс	10 Кб	<30 сторінок в сек		< 10 ⁻⁶

У більшості робіт присвячених питанням проектування, аналізу і впровадження електронних комунікаційних мереж відмічається, що для достатньо точної оцінки і оптимізації показників QoS необхідно використовувати моделі багатопотокових систем і мереж масового обслуговування так, як в них обслуговуються трафіки різної категорії сервіса.

Загально прийнятим допущенням в теорії телетрафіка є допущення про те що процес надходження запитів на встановлення з'єднання є Пуасоніським, тобто інтервали часу між послідовними запитами на отримання відповідного

сервісу не залежать один від одного а мають однакове експоненційне розподілення.

В розробленому науково-методичному апараті, для опису вхідного потоку трафіку реального часу, приймається що потік заявок що приходять на обслуговування є Пуасоніським потоком (ординаний, стаціонарний; без післядії). Стаціонарний Пуасоновський потік має особливу роль серед інших потоків, а саме можна довести, що при суперпозиції (взаємному накладанні) достатньо великої кількості потоків, які навіть мають властивість післядії (аби вони були стаціонарні і ординарні), утворюється сумарний потік, який також можна вважати, стаціонарним Пуасонівським потоком, і це твердження тим точніше чим більше потоків складається. В запропонованій моделі та методиках кожна гілка мережі обслуговує множину ймовірнісних потоків заявок (навантаження) від різних інформаційних напрямків. А саме, в кожній гілці мережі обслуговуються інформаційні потоки трафіку реального часу від різних інформаційних напрямків. Тому було використане поняття суперпозиції потоків при розроблені аналітичної моделі оцінки якості обслуговування трафіку реального часу в інформаційному напрямку для визначення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання, що характеризує адекватність аналітичної моделі та описує реальні процеси що протікають в мережах.

2.3. Особливості процесу функціонування системи управління трафіком реального часу

Аналіз процесу функціонування ЕКМ [54] при обслуговуванні трафіку реального часу дає змогу виділити три компоненти моделі управління якістю обслуговування трафіка реального часу (рис. 2.9):

1. Наявний мережевий ресурс електронних комунікаційних мереж, який забезпечує обслуговування трафіка реального часу (об'єкт управління).
2. Система управління трафіком реального часу, яка в свою чергу складається: із підсистеми управління встановлення з'єднання між абонентами

та підсистеми контролю якості обслуговування трафіка реального часу (органи управління).

3. Фактори, що впливають на них (коливання об'ємів вхідного навантаження, динамічна зміна структури мережі, а також обмежений мережевий ресурс).

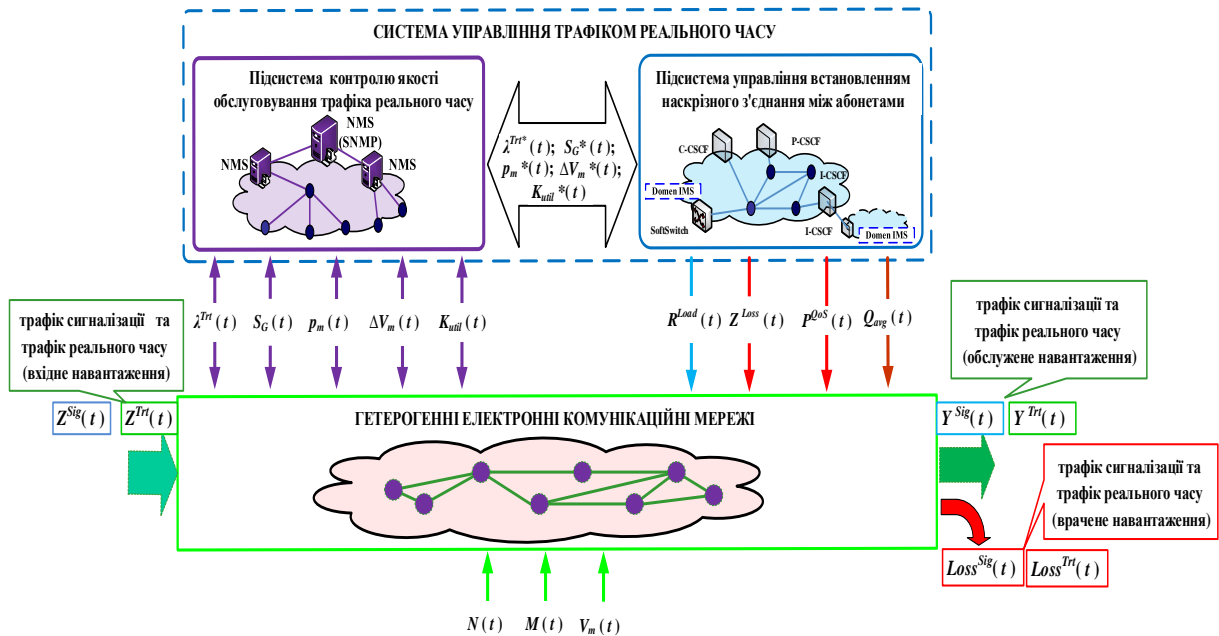


Рис. 2.9. Узагальнена модель СУ трафіком реального часу

Тобто, запропонована модель об'єднує три основні складові. Центральним елементом являється мережевий ресурс складних гетерогенних електронних комунікаційних мереж, який і обслуговує трафік реального часу та являється об'єктом управління.

В свою чергу, система управління трафіком реального часу включає в себе дві логічно-взаємопов'язані складові: підсистема контролю якості обслуговування трафіку реального часу функціональний блок ліворуч та підсистема управління встановлення з'єднаннями між абонентами функціональний блок праворуч.

Відмінність даних функціональних блоків полягає в тому, що підсистема контролю якості обслуговування трафіку реального часу збирає та оброблює

необхідні мережеві параметри за всю ЕКМ і перевіряє дотримання заданих показників пропускну́ї спроможності та нормованих значень якості обслуговування QoS трафіка реального часу. А підсистема управління встановлення з'єднаннями між абонентами на основі отриманих статистичних даних формує (корегує) план розподілу навантаження із врахуванням заданих показників пропускну́ї спроможності, якості обслуговування трафіка реального часу та завантаження елементів мережі. Також дана підсистема контролює обслуговування абонентів в реальному масштабі часу, реалізує функції обмеження вхідного навантаження та керування обхідними шляхами передачі при перенавантаженні в ЕКМ.

У процесі функціонування системи між органами управління та об'єктами управління можуть передаватись наступні дані:

$N(t)$ – кількість активних комунікаційних вузлів (центрів комутації) ЕКМ;

$M(t)$ – кількість наявних ліній (гілок) між комунікаційними вузлами ЕКМ;

$V_m(t)$ – наявний мережевий ресурс (кількість віртуальних каналів, тунелів) в лініях (гілках) ЕКМ;

$\lambda^{Trt}(t)$ – значення об'єму вхідного трафіка реального часу, що обслуговується в ЕКМ;

$S_G(t)$ – зміни стану структури ЕКМ (аварія на лініях, вихід з ладу вузла, перенавантаження елементів мережі);

$p_m(t)$ – поточні значення якості обслуговування трафіку реального часу в лініях (гілках) ЕКМ;

$\Delta V_m(t)$ – поточні значення резервів мережевих ресурсів в лініях (гілках) ЕКМ;

$K_{util}(t)$ – поточні значення коефіцієнта використання мережевих ресурсів в лініях (гілках) ЕКМ;

$P^{QoS}(t)$ – поточні значення якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу в кожному інформаційному напрямку ЕКМ;

$R^{Load}(t)$ – сформований (скорегований) план розподілу навантаження (шляхи передачі з вказівкою черговості їх використання для кожного інформаційного напрямку);

$Z^{Loss}(t)$ – обмеження вхідних потоків трафіка реального часу при перенавантаженні на певних сегментах гетерогенної ЕКМ;

$Q_{avg}(t)$ – зміна параметрів черг активного обладнання для запобігання перевантаження в ЕКМ.

Особливу роль при керуванні будь-якої електронної комунікаційної мережі відіграє задача управління ефективністю функціонування (продуктивністю) мережі, основу якої складає задача управління інформаційними потоками при використанні наявного мережевого ресурсу [55]. В нашому випадку це управління потоками трафіку реального часу із забезпеченням заданих показників якості обслуговування (QoS) для кожного інформаційного напрямку. На рисунку 2.10 приведена узагальнена схема функціонування системи управління трафіком реального часу при застосуванні методів Traffic Engineering в залежності від поточної ситуації в ЕКМ з обхідними шляхами передачі.

На основі вище приведенного, особливостями функціонування існуючих ЕКМ та систем сигналізації при управлінні потоками трафіка реального часу є: висока динаміка зміни структури електронних комунікаційних мереж в умовах впливу дестабілізуючих факторів, постійне коливання об'єму вхідного навантаження та обмежений мережевий ресурс; значна розмірність ЕКМ (десятки, сотні та тисячі вузлів); складність дотримання заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу; розрізнені за технологіями побудови (як за форматами повідомлень, так і сигналізацією) мережі доступу та транспортні мережі, і як наслідок їх несумісність; різнотипні архітектурні рішення систем сигналізації, які забезпечують управління трафіком реального часу, і як наслідок їх несумісність; відсутнє управління потоками трафіка реального часу при оренді мережевих ресурсів; достатньо великий час реакції та

нормалізації у випадку перевантажень; обмеження використання технологій Traffic Engineering (TE); відсутність оперативного інтегрування новітніх мережевих технологій (сервісів) для розширення спектра послуг операторів комунікаційних послуг.

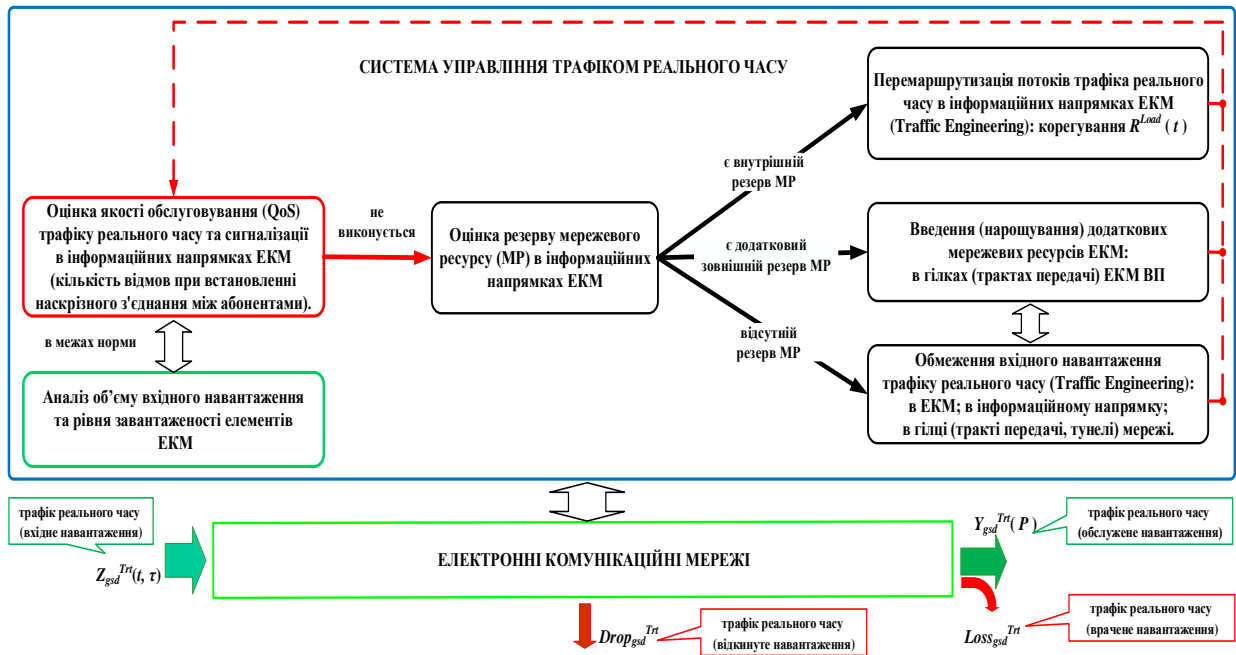


Рис. 2.10. Узагальнена схема функціонування СУ трафіком реального часу у процесі забезпечення заданих показників якості обслуговування (QoS)

В свою чергу, не зважаючи на досягнуті окремі наукові результати в цьому напрямку, існуючий науково-методологічний апарат управління розподілом потоків повідомлень в гетерогенних ЕКМ для забезпечення нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу (QoS) також має ряд недоліків (рис. 2.11) [56 – 58]: не враховує втрати повідомлень, які виникають в процесі обслуговування трафіка реального часу в умовах динамічної зміни структури та обмеженого мережевого ресурсу; не пристосований до врахування вимог якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при наскрізному встановленні з'єднання між абонентами; не враховується використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках мережі та методів TE для забезпечення заданих показників QoS; має обмежені можливості щодо

обґрунтування рекомендацій при проектуванні системи сигналізації на основі вимог концепції IMS.

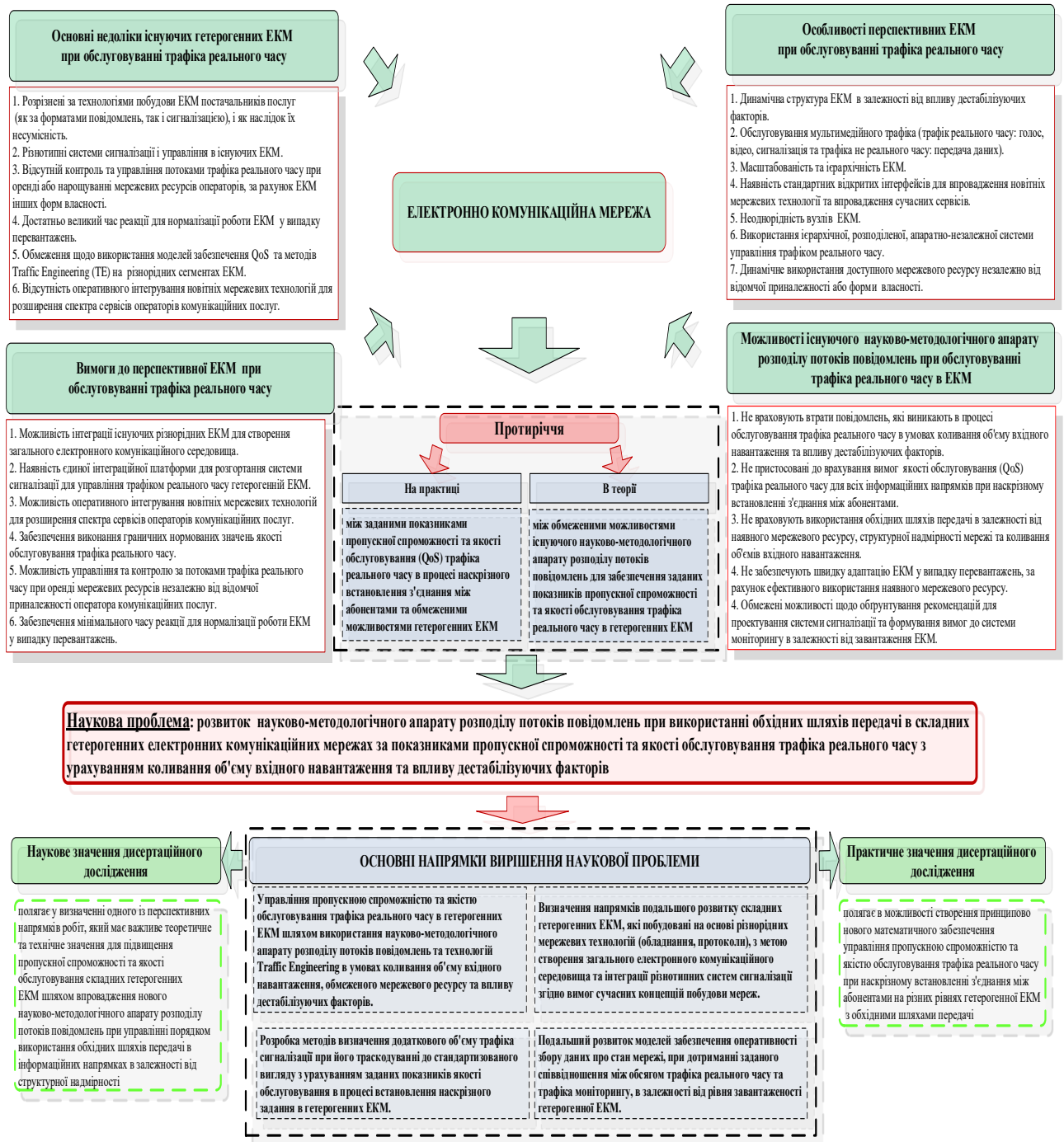


Рис. 2.11. Напрямки вирішення проблеми дисертаційного дослідження

Для розв'язання вище приведеного протиріччя, яке склалось в теорії та на практиці виникає актуальна наукова проблема, яка полягає в розвитку науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних

комунікаційних мережах за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів. На рис. 2.11 також представленні основні напрямки вирішення проблеми дослідження.

Для вирішення проблеми та досягнення мети дисертаційного дослідження представлено структурно-логічну схему проведення дослідження та показано: основні етапи, взаємозв'язок між вхідними даними, отриманими науковими результатами та вимогами до СУ трафіком реального часу (рис. 2.12).

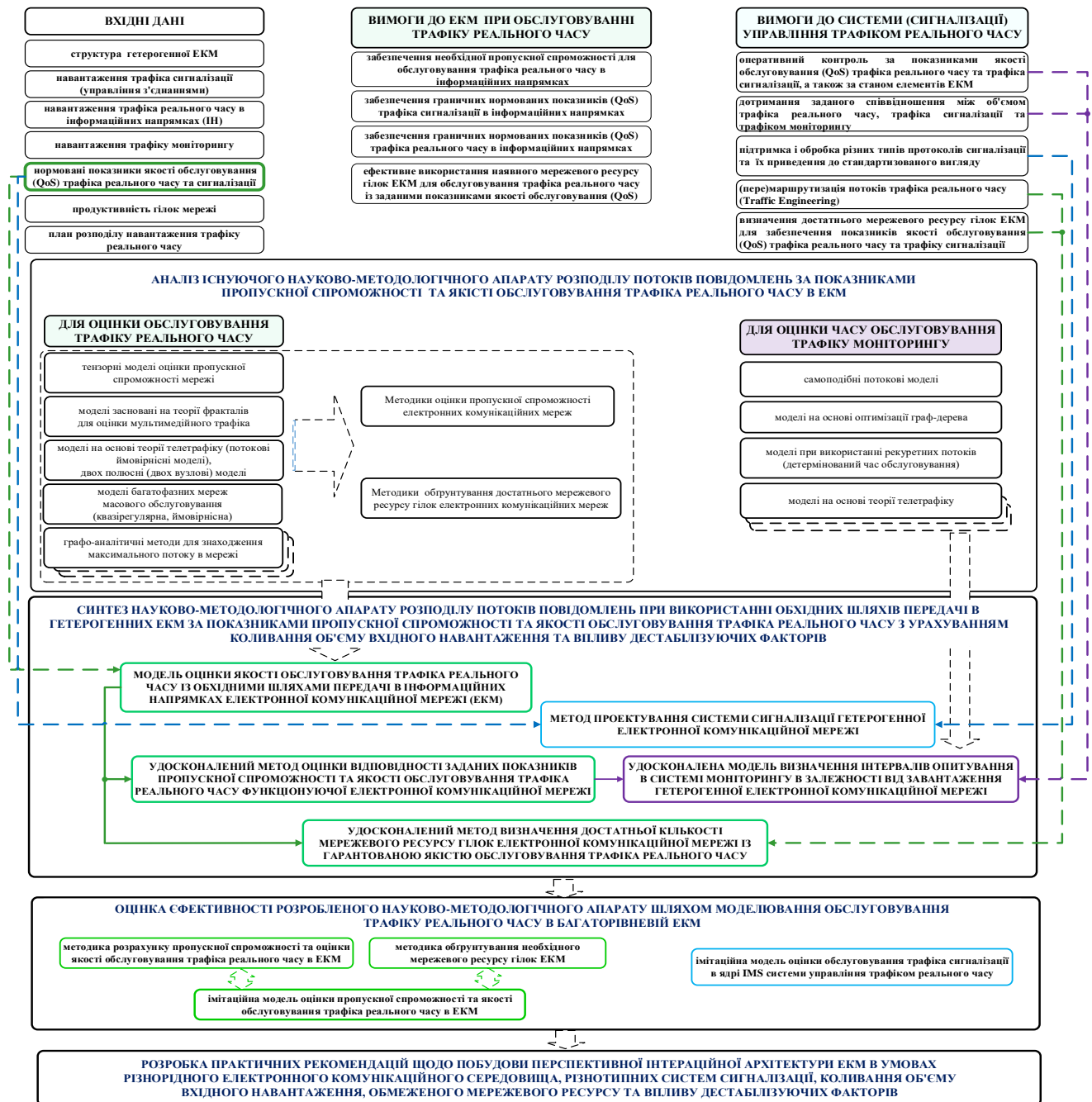


Рис. 2.12. Структурно-логічна схема дисертаційного дослідження

Як було приведено вище, згідно існуючих стандартів міжнародних ІТУ-Т та нормативних документів України в якості критерія ефективності системи управління трафіком реального часу може виступати відмова встановлення наскрізного з'єднання для надання відповідного сервіса. При чому, особливу роль відіграє задача управління потоками повідомлень трафіка реального часу при використанні обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках для ефективного використання наявного мережевого ресурсу із забезпеченням заданих показників якості обслуговування QoS. Тому, формалізований опис проблеми дослідження може бути представлений наступним виразом:

$$P^{QoS}(t) = f\{G(t); Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau); Z_{g_{sd}}^{Sig}(t, \tau); Z^{CS}(t); V_m(t); R^{Load}(t)\} \geq P_{QoS}^{norm} \quad (2.1)$$

де: $P^{QoS}(t) = \{P_{Trt}^{QoS}(t); P_{Sig}^{QoS}(t)\}$ – показники якості обслуговування трафіка реального часу $P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{g_{sd}}^{Trt}\|$ та трафіка сигналізації $P_{Sig}^{QoS}(t) = \|P_{g_{sd}}^{Sig}\|$, виражені ймовірністю відмови встановлення наскрізного з'єднання між абонентами в складній гетерогенній електронній комунікаційній мережі ($P^{QoS}(t) \geq \forall P_{g_{sd}}^{norm}$) умова повинна виконуватись для кожного інформаційного напрямку g_{sd} , s – вузол відправник (вузол до якого підключений термінал(и) відправника(ів)), d – вузол отримувач (вузол до якого підключений термінал(и) отримувача(ів)) $s, d \in \overline{1, N}; s \neq d$;

$P_{QoS}^{norm} = \{P_{Trt}^{norm}; P_{Sig}^{norm}\}$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання для трафіка реального часу $P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ та трафіка сигналізації $P_{Sig}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$, виражені ймовірністю відмови встановлення наскрізного з'єднання між абонентами для кожного інформаційного напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

($t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$) – моменти зміни структури ЕКМ (вихід з ладу, знищення ліній зв'язку та вузлів в умовах дестабілізуючих факторів); зміна об'єму (коливання) вхідного навантаження на інформаційних напрямках (збільшення

абонентів мережі, роумінг); τ – коливання об'єму трафіка реального часу та трафіку сигналізації в залежності від часу (добі, тижня, місяця року) година найбільшого навантаження (ГНН);

$G(t) = G\{N(t), M(t)\} = \{G_{AN}(t); G_{IMS}(t); G_{TN}(t); G_{SC}(t)\}$ – структура складної гетерогенної електронної комунікаційної мережі:

$N(t)$ – кількість вузлів ЕКМ, $M(t)$ – кількість гілок ЕКМ;

$G_{AN}(t) = \parallel G_{AN_{ou}} \parallel$ – структура мереж доступу ($o, u = \overline{1, N}$);

$G_{TN}(t) = \parallel G_{TN_{yw}} \parallel$ – структура транспортної мережі ($y, w = \overline{1, N}$);

$G_{IMS}(t) = \parallel G_{IMS_{ab}} \parallel$ – структура системи сигналізації системи управління трафіком реального часу на основі концепції IMS ($a, b = \overline{1, N}$);

$G_{SC}(t) = \parallel G_{TN_{ij}} \parallel$ – структура системи моніторингу ЕКМ ($i, j, o, u, a, b, y, w \in \overline{1, N}$), SNMP-агентами підсистеми моніторингу виступають вузли мереж доступу та транспортної мережі;

$Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \parallel Z_{g_{sd}} \parallel$ – навантаження трафіку реального часу, яке надходить на обслуговування в кожний інформаційний напрямок $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ ЕКМ для обслуговування в ГНН τ ;

$Z_{g_{sd}}^{Sig}(t, \tau) = \parallel Z_{g_{sd}} \parallel$ – навантаження сигналізації (службові повідомлення для управління встановлення з'єднання) в кожний інформаційний напрямок $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ ЕКМ для обслуговування в ГНН τ ;

$Z^{CS}(t) = \parallel \lambda_{mij}^{smnp(UDP)} \parallel$ – навантаження трафіку моніторингу (допустима інтенсивність трафіку моніторингу в гілках мережі) між SNMP-агентами та NMS-менеджерами ($i, j, o, u, a, b, y, w \in \overline{1, N}$).

$V_m(t) = \parallel V_{m_{ij}}^{bit} \parallel$ – швидкість передачі гілки (тракту, тунелю, віртуального каналу) мережі, i, j – номер (індекс) гілки мережі ($i, j \in \overline{1, N}; m \in \overline{1, M}$);

$R^{Load}(t) = \parallel \mu_{g_{sd}}^v \parallel$ – сформований план розподілу навантаження (ПРН), що є матрицею сукупності незалежних шляхів передачі інформації кожному інформаційному напрямку $\mu_{g_{sd}}^v(s, i, j, \dots, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ по гілках мережі m

($m = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості ν ($\nu = \overline{1, k}; k \geq 2$) заняття шляхів встановлення з'єднання;

обмеження та допущення:

розглядається процес обслуговування трафіка реального часу (голос, відео-конференц зв'язок), а саме для забезпечення заданих показників якості обслуговування використовуються мережеві протоколи із встановленням з'єднання;

для передачі та обробки службових повідомлень управління з'єднаннями (трафік сигналізації) використовується гібридна мережа сигналізації при використанні вимог концепції IMS;

система моніторингу має ієрархічну та зонову структуру побудови (тобто NMS знаходиться на кожному рівні ЕКМ: мережа доступу, транспортна мережа);

для трафіку моніторингу використовується датаграмний режим передачі без встановлення з'єднання, тобто транспортний протокол UDP (забезпечення QoS трафіку моніторингу покладається на верхні рівні моделі OSI);

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{g_{sd}}^{Trt} \leq P_{g_{sd}}^{norm}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ P_{g_{sd}}^{Sig} \leq P_{g_{sd}}^{norm}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Z_{g_{sd}} \leq Z_{g_{sd}}^{prov}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Y(P)_{g_{sd}} = Z_{g_{sd}} \cdot (1 - P_{g_{sd}}^{Trt}), s, d = \overline{1, N}; s \neq d. \end{array} \right. ,$$

де: $P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання для трафіка реального часу в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$P_{Sig}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання для трафіка сигналізації в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$Z_{Trt}^{prov} = \|Z_{g_{sd}}^{prov}\|$ – задане значення вхідного навантаження трафіку реального часу в кожному інформаційному напрямку;

$Y(P) = \|Y(P)_{g_{sd}}\|$ – пропускна спроможність кожного інформаційного напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$.

Висновки до розділу 2

Сучасні моделі забезпечення якості обслуговування Quality of Service та технології Traffic Engineering в мережах стеку TCP/IP полягають в ефективному управлінні мережевими ресурсами та механізмами боротьби із перенавантаженнями в мережі, які виникають в результаті пульсації мультимедійного трафіку. В загальному ці моделі та технології полягають в резервуванні наявних ресурсів мережі, пріоритизації трафіку, перемаршрутизації (перерозподілу потоків трафіка) та використанні адаптивних алгоритмів управління чергами.

Хоча існуючі механізми дозволяють забезпечити необхідний рівень якості обслуговування (QoS) абоненту, однак їх застосування на практиці має певні обмеження та умови використання з урахуванням сучасного стану розвитку гетерогенних електронних комунікаційних мереж.

Відповідно, для забезпечення гарантованої якості обслуговування QoS трафіка реального часу та трафіка сигналізації найбільш доцільно використовувати технології віртуальних каналів або тунелів з врахуванням особливостей функціонування гетерогенних ЕКМ. Тобто, використовувати протоколи із встановленням з'єднання для забезпечення нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу. На теперішній час, найбільш гнучкою мережевою технологією, яка підтримує забезпечення QoS для різних класів мультимедійного трафіка є Multiprotocol label switching (MPLS) в сукупності з протоколом сигналізації Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE).

Самий високий рівень вимог до якості обслуговування використовуються для трафіку реального часу, який критичний до затримок в мережі та вимагає реалізації складних механізмів в процесі його обслуговування. Тому, для

подальшої формалізації та математичного опису процесів обслуговування введено поняття наскрізної якості обслуговування QoS, що характерно для гетерогенних ЕКМ. Це дозволяє використовувати нормовані показники якості обслуговування трафіка реального часу, а в якості математичного апарату застосовувати моделі багатопотокових систем і мереж масового обслуговування так, як в них обслуговуються трафіки різної категорії сервіса. Відповідно показником ефективності роботи системи управління трафіком реального часу виступає ймовірність встановлення наскрізного з'єднання для надання відповідного сервісу гетерогенною мережею абоненту.

В результаті проведення узагальнення процесів функціонування з'ясовано, що система управління трафіком реального має дві складові:

підсистема контролю якості обслуговування трафіку реального часу, яка збирає та оброблює необхідні мережеві параметри за всю ЕКМ і перевіряє дотримання заданих показників пропускної спроможності та нормованих значень якості обслуговування QoS трафіка реального часу;

підсистема управління встановлення з'єднаннями між абонентами, яка на основі отриманих статистичних даних формує (корегує) план розподілу навантаження із врахуванням заданих показників пропускної спроможності, якості обслуговування трафіка реального часу та завантаження елементів мережі, контролює обслуговування абонентів в реальному масштабі часу, а також реалізує функції обмеження вхідного навантаження та керування обхідними шляхами передачі при перенавантаженні в ЕКМ.

Також була розроблена узагальнена схема функціонування системи управління трафіком реального часу при застосуванні методів Traffic Engineering, яка дозволить реалізувати управління потоками трафіку реального часу та наявним мережевим ресурсом із забезпеченням заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування (QoS) для кожного інформаційного напрямку.

В свою чергу, не зважаючи на досягнуті окремі наукові результати в цьому напрямку, існуючий науково-методологічний апарат також має ряд недоліків:

не враховує втрати повідомлень, які виникають в процесі обслуговування трафіка реального часу в умовах динамічної зміни структури та обмеженого мережевого ресурсу; не пристосований до врахування вимог якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при наскрізному встановленні з'єднання між абонентами; не враховується використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках мережі та методів TE для забезпечення заданих показників QoS; має обмежені можливості щодо обґрунтування рекомендацій при проектуванні системи сигналізації на основі вимог концепції IP Multimedia Subsystem (IMS).

Для розв'язання вище приведеного протиріччя, яке склалось в теорії та на практиці виникає актуальна наукова проблема, яка полягає в розвитку науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів.

В даному розділі проведено формалізацію наукової проблеми та приведено структурно-логічну схему дисертаційного дослідження для вирішення задач управління в процесі обслуговування трафіка реального часу при забезпеченні показників пропускної спроможності та якості QoS на всіх рівнях запропонованої інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЗАДАНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ФУНКЦІОНУЮЧОЇ ЕКМ

У даному розділі здійснено удосконалення методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ, на основі розробленої аналітичної моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках. А також, при використанні квазістатичного методу формування плану розподілу навантаження із урахуванням одночасного обслуговування потоків трафіка реального часу в гілках мережі від різних інформаційних напрямків.

Прикладне використання розробленого методу полягає в тому, що він дозволяє проводити оцінку пропускної спроможності мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів при дотриманні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу. Запропонований метод відноситься до задач аналізу та вирішується на етапі планування та функціонування мережі. Тобто, при експлуатації ЕКМ або після закінчення проектування мережі з метою перевірки виконання нормованих значень показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу.

3.1. Розробка аналітичної моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ

Аналіз існуючих моделей оцінки якості обслуговування трафіка реального часу показав, що вони не в повній мірі враховують відмови в обслуговуванні в гілках ЕКМ при наскрізному з'єднанні між абонентами [56 –60], а лише дають

рекомендації максимум для двох вузлової системи [61, 62] без врахування одночасного обслуговування потоків трафіка реального часу від різних інформаційних напрямків. Для усунення даного недоліку була розроблена нова аналітична модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ.

Суть розробленої моделі полягає у формалізованому описі процесу встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках гетерогенної ЕКМ із технологією віртуальних каналів або тунелів при обслуговуванні трафіка реального часу рис. 3.1. Модель дозволяє визначити якість обслуговування для будь-якого інформаційного напрямку ЕКМ, що має декілька найкоротших та незалежних шляхів передачі (мінімум два шляхи передачі) із врахуванням суперпозиції [63 – 65] та типів ймовірнісних потоків на гілках мережі при обслуговуванні трафіка реального часу.

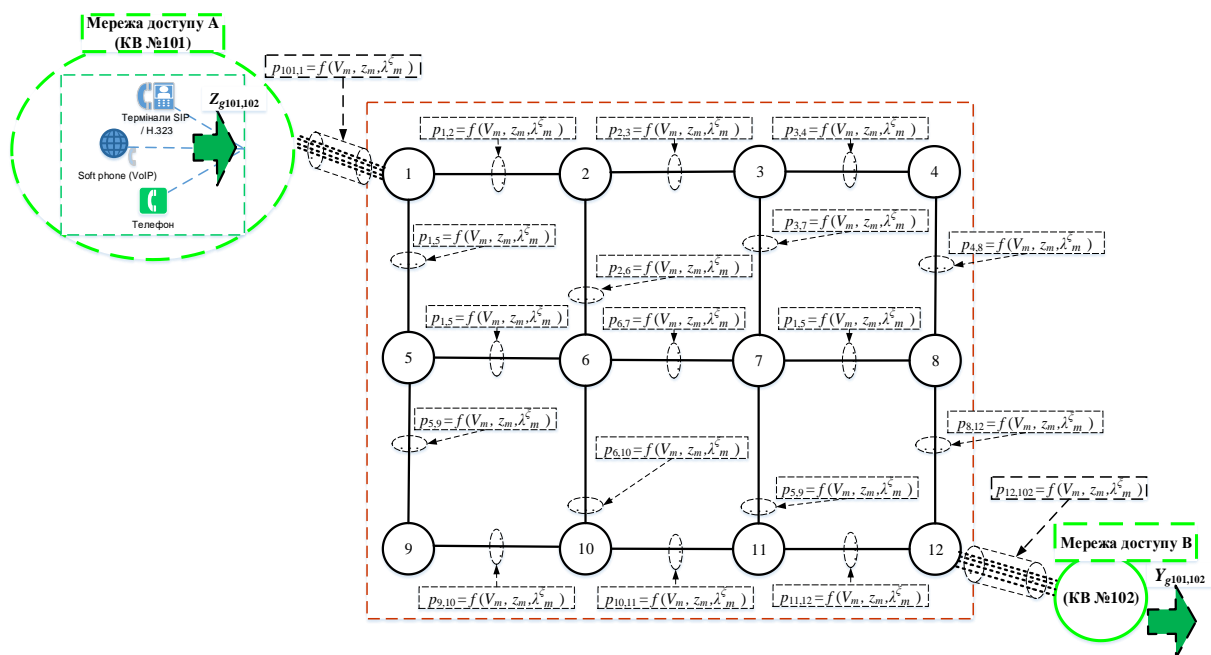


Рис. 3.1. Математичний опис інформаційного напрямку при встановленні наскрізного з'єднання між абонентами

Особливість даної моделі полягає в тому рис. 3.1., що складові ЕКМ описуються багатоканальними системами масового обслуговування (СМО).

Тобто кожна гілка мережі, являється окремою системою масового обслуговування. При чому для забезпечення заданих показників QoS трафіка реального часу в інформаційному напрямку повинні враховуватись втрати на кожній гілці мережі, які входить до складу шляху передачі в процесі обслуговування потоків інформації між абонентами.

Як наслідок, кожний інформаційний напрямок ЕКМ представляється у вигляді багатоканальної, багатозазної системи масового обслуговування. Графічно процес обслуговування трафіку реального часу в інформаційному напрямку ЕКМ можна представити у наступному вигляді рис. 3.2.

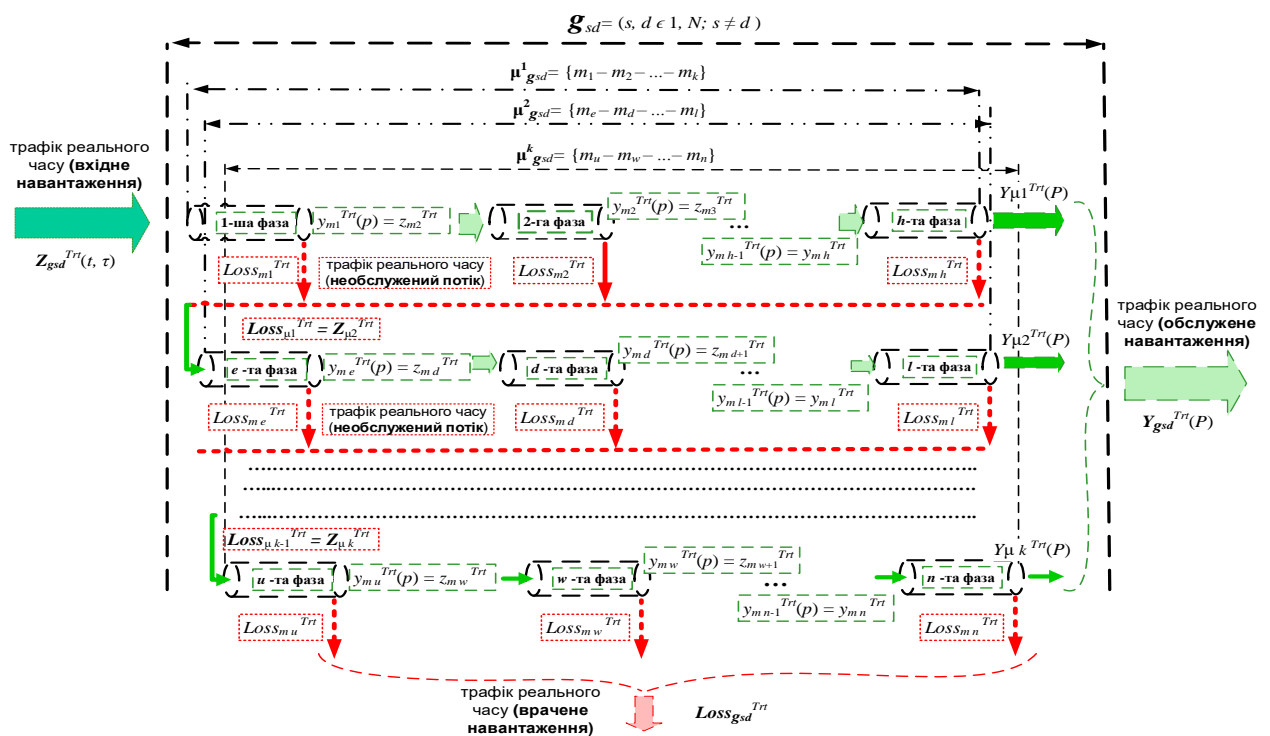


Рис. 3.2. Функціональна модель обслуговування трафіку реального часу в інформаційному напрямку ЕКМ

На рис. 3.3. приведена узагальнена модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу в різних інформаційних напрямках ЕКМ. Розроблена функціональна модель дозволяє отримати аналітичні вирази (3.1) та (3.2), які будуть використані в удосконаленому методі оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ, а також в методі визначення достатньої

кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу.

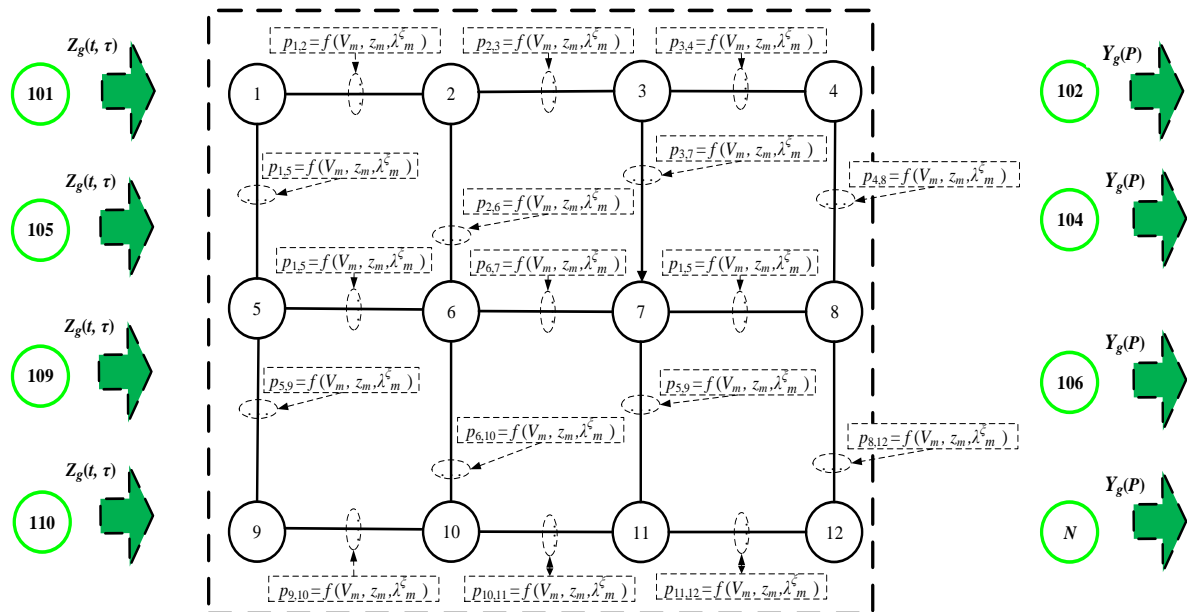


Рис. 3.3. Узагальнена модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу в інформаційних напрямках ЕКМ

При чому, система рівнянь (3.1) застосовується для визначення якості обслуговування для всіх ІН мережі при використанні технологій віртуальних каналів або тунелів та необмеженій кількості абонентів [66].

$$\left\{ \begin{array}{l}
 P_{g_{sd}}^{Trt} \leq \prod_{k=1}^v \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_\mu} \left[1 - \left(\frac{z_{m_{ij}}^{V_{m_{ij}^{vc}}}}{\sum_{a=0}^{V_{m_{ij}^{vc}} - 1} \frac{z_{m_{ij}}^{V_{m_{ij}^{vc}}}}{a!}} \right) \right] \right\}, s, d = \overline{1, N}, s \neq d; i, j \in \overline{1, N}, m \in \overline{1, M}; \\
 P_{g_{wf}}^{Trt} \leq \prod_{k=1}^v \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_\mu} \left[1 - \left(\frac{z_{m_{eh}}^{V_{m_{eh}^{vc}}}}{\sum_{a=0}^{V_{m_{eh}^{vc}} - 1} \frac{z_{m_{eh}}^{V_{m_{eh}^{vc}}}}{a!}} \right) \right] \right\}, w, f = \overline{1, N}, w \neq f; e, h \in \overline{1, N}, m \in \overline{1, M}; \\
 \dots; \\
 P_{g_{yl}}^{Trt} \leq \prod_{k=1}^v \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_\mu} \left[1 - \left(\frac{z_{m_{od}}^{V_{m_{od}^{vc}}}}{\sum_{a=0}^{V_{m_{od}^{vc}} - 1} \frac{z_{m_{od}}^{V_{m_{od}^{vc}}}}{a!}} \right) \right] \right\}, y, l = \overline{1, N}, y \neq l; o, d \in \overline{1, N}, m \in \overline{1, M};
 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де: $P_{g_{sd}}^{Trt}$, $P_{g_{wf}}^{Trt}$, $P_{g_{yl}}^{Trt}$ – ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання (якість обслуговування QoS трафіка реального часу) у відповідному

інформаційному напрямку; m_μ – кількість незалежних шляхів передачі в інформаційному напрямку; по гілках мережі t ($t = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості ν ($\nu = \overline{1, k}$) їх заняття; $z_{m_{ij}}, z_{m_{eh}}, z_{m_{od}}$ – значення функціонуєчого навантаження в гілках мережі; $V_{m_{ij}}^{vc}, V_{m_{eh}}^{vc}, V_{m_{od}}^{vc}$ – кількість віртуальних каналів або тунелів у гілках мережі.

Система рівнянь, яка приведена нижче (3.2), дозволяє врахувати якість обслуговування трафіка реального часу в кожному інформаційному напрямку при використанні режиму віртуальних каналів (тунелів) та обмеженій кількості абонентів (S – кількість джерел повідомлень):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{g_{sd}}^{Trt} \leq \prod_{k=1}^{\nu} \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_\mu} \left[1 - \left(\frac{C_S^{V_{m_{ij}}^{vc}} \cdot z_{m_{ij}}^{V_{m_{ij}}^{vc}} \cdot \left(1 - z_{m_{ij}}^{V_{m_{ij}}^{vc}} \right)^{S - V_{m_{ij}}^{vc}}}{\sum_{a=0}^{V_{m_{ij}}^{vc}} C_S^a \cdot z_{m_{ij}}^a \cdot \left(1 - z_{m_{ij}}^{V_{m_{ij}}^{vc}} \right)^{S-a}} \right) \cdot \left(1 - \frac{V_{m_{ij}}^{vc}}{S} \right) \right] \right\}; \\ P_{g_{wf}}^{Trt} \leq \prod_{k=1}^{\nu} \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_\mu} \left[1 - \left(\frac{C_S^{V_{m_{eh}}^{vc}} \cdot z_{m_{eh}}^{V_{m_{eh}}^{vc}} \cdot \left(1 - z_{m_{eh}}^{V_{m_{eh}}^{vc}} \right)^{S - V_{m_{eh}}^{vc}}}{\sum_{a=0}^{V_{m_{eh}}^{vc}} C_S^a \cdot z_{m_{eh}}^a \cdot \left(1 - z_{m_{eh}}^{V_{m_{eh}}^{vc}} \right)^{S-a}} \right) \cdot \left(1 - \frac{V_{m_{eh}}^{vc}}{S} \right) \right] \right\}; \\ \dots \\ P_{g_{yl}}^{Trt} \leq \prod_{k=1}^{\nu} \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_\mu} \left[1 - \left(\frac{C_S^{V_{m_{od}}^{vc}} \cdot z_{m_{od}}^{V_{m_{od}}^{vc}} \cdot \left(1 - z_{m_{od}}^{V_{m_{od}}^{vc}} \right)^{S - V_{m_{od}}^{vc}}}{\sum_{a=0}^{V_{m_{od}}^{vc}} C_S^a \cdot z_{m_{od}}^a \cdot \left(1 - z_{m_{od}}^{V_{m_{od}}^{vc}} \right)^{S-a}} \right) \cdot \left(1 - \frac{V_{m_{od}}^{vc}}{S} \right) \right] \right\}; \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Вхідними даними для запропонованої моделі, являються:

$$G_{MN}(t) = \|G_{MN_{ab}}\| - \text{структура ЕКМ ВП } (a, b = \overline{1, N});$$

$$V_m^{vc}(t) = \|V_{m_{ij}}^{vc}\| - \text{кількість віртуальних каналів в гілці мережі,}$$

i, j – номер (індекс) гілки мережі ($i, j \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

$$z_m^{Trt}(t, \tau) = \|z_{m_{ij}}\| - \text{навантаження трафіку реального часу, яке надходить}$$

на обслуговування в кожен гілку мережі t ; для обслуговування в ГНН τ ;

i, j, e, h, o, d, s – номер (індекс) гілки мережі ($i, j, e, h, o, d, s \in \overline{1, N}$; $t \in \overline{1, M}$);

$$\lambda^\xi(t) = \|\lambda_{m_{ij}}^\xi\| - \xi - \text{тип ймовірнісного потоку, що надходить на}$$

обслуговування на гілку мережі: (λ_{Erlang} – потік Ерланга при кількості абонентів

$U_{sub} \geq 100$ ($U_{sab} \rightarrow \infty$); λ_{Engset} – потік Енгсета при кількості абонентів $U_{sub} < 100$);

$R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ – план розподілу навантаження (ПРН), що є матрицею сукупності незалежних шляхів передачі інформації $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, o, u, \dots, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$), по гілках мережі m ($m = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості v ($v = \overline{1, k}$; $k \geq 2$) їх заняття (параметр вибору черговості – мінімальна кількість гілок в шляху передачі).

Необхідно визначити:

$p_m^{Trt}(t) = \|p_{m_{ij}}\|$ – ймовірність відмови встановлення з'єднання для трафіка реального часу кожної гілки мережі m ; i, j – номер (індекс) гілки мережі ($i, j \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

$P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{g_{sd}}^{Trt}\|$ – ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання (якість обслуговування QoS трафіка реального часу) в інформаційному напрямку g_{sd} ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$).

Формалізована постановка задачі сформульована наступним виразом (3.3):

$$P_{Trt}^{QoS}(t) = f_1\{G(t); R_{static}^{Load}(t); V_m^{vc}(t); z_m^{Trt}(t, \tau); \lambda^\xi(t); p_m^{Trt}(t)\} \quad (3.3)$$

Обмеження та допущення:

розглядається процес обслуговування трафіка реального часу (голос, відео-конференц зв'язок);

тип випадкового потоку заявок на встановлення з'єднання в залежності від кількості абонентів: Ерланга або Енгсета;

система знаходиться в стані статичної рівноваги;

система приймається із втратами;

ймовірність зайнятості віртуальних каналів гілок ЕКМ взаємнезалежні;

час встановлення з'єднання рівний нулю;

час обслуговування абонентів експоненціальний.

В момент надходження повідомлення вимагається встановлення віртуального шляху (логічного з'єднання) між джерелом та адресатом повідомлення (від абонента до абонента), при цьому для забезпечення гарантованої якості обслуговування і часу затримки мережеві ресурси (буферний простір мережевого обладнання і смуги пропускання в цифрових лініях передачі) резервуються на протязі всього часу передачі повідомлення;

план розподілу навантаження сформований (статичний детермінований метод), параметр черговості вибору шляху передачі обрано згідно структури мережі (мінімальна кількість гілок в шляху передачі).

Новизна запропонованої моделі полягає в тому, що на відміну від існуючих, враховує забезпечення показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу за інформаційними напрямками, при суперпозиції ймовірнісних потоків в гілках мережі, в процесі встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній електронній комунікаційній мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, згідно моделі Integrated Service.

Модель дозволяє визначити ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання між абонентами для трафіка реального часу в інформаційних напрямках мереж із обхідними шляхами передачі, в залежності від структури мережі, кількості незалежних шляхів передачі, інтенсивності та закону розподілу вхідних потоків, плану розподілу навантаження, кількості віртуальних каналів в гілках мережі.

3.2. Розробка методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ

Суть методу полягає у визначенні відповідності показників пропускної спроможності кожного інформаційного напрямку при забезпеченні нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу електронних

комунікаційних мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів, на етапі функціонування [66]. Дане завдання вирішується шляхом розподілення навантаження, в першу чергу, на менш завантажені гілки мережі, які задіяні в шляху передачі. Тому, в процесі розрахунку, нам потрібно скорегувати план розподілу навантаження, який забезпечує ефективне використання віртуальних каналів (тунелів) мережі, і як наслідок всього наявного мережевого ресурсу.

За показник якості обслуговування в мережах з технологією віртуальних каналів (тунелів) було прийнято ймовірність втрат встановлення наскрізного з'єднання між абонентами. Згідно міжнародних стандартів (рекомендації ІТУ-Т Е.800, ІТУ-Т У.1560, ІТУ-Т Е.520) та існуючих нормативних документів України граничний нормований рівень показника якості обслуговування трафіка реального часу (ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання в інформаційному напрямку) повинен не перевищувати: $\geq 1 \text{ ‰}$ (0,01) для міжнародних з'єднань (викликів), $\geq 5 \text{ ‰}$ (0,05) міжміські та $\geq 10 \text{ ‰}$ (0,1) місцевих з'єднань в години найбільшого навантаження. Вибір даного показника висуває вимоги перед ЕКМ з боку абонента, тобто гарантує якість обслуговування абоненту, що особливо важливо для функціонування ЕКМ в умовах дестабілізуючих факторів.

Показником ефективності обслуговування трафіка реального часу в мережі виступає пропускна спроможність – здатність електронної комунікаційної мережі забезпечувати обслуговування вхідних потоків повідомлень в інформаційних напрямках з урахуванням заданих вимог до якості обслуговування [67].

Вхідними даними методу являються:

$$G_{AN}(t) = \|G_{AN_{ou}}\| \quad - \quad \text{структура ЕКМ} \quad (o, u = \overline{1, N}),$$

N – кількість (індекс) вузлів мережі;

$Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ – навантаження трафіку реального часу, яке надходить на обслуговування в кожний інформаційний напрямок $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ мережі для обслуговування в ГНН τ ;

$V_m(t) = \|V_{m_{ou}}^{bit}\|$ – швидкість передачі гілки (тракту, тунелю) мережі, o, u – номер (індекс) гілки мережі ($o, u \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

$C_{type}(t) = \|C_{m_{ou}}\|$ – тип кодека, який використовує термінальне або мережеве обладнання i, j – номер (індекс) гілки мережі ($o, u \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

$U_{sub}(t)$ – кількість абонентів в ЕКМ;

$R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ – план розподілу навантаження (ПРН), що є матрицею сукупності незалежних шляхів передачі інформації $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, o, u, \dots, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$), по гілках мережі m ($m = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості v ($v = \overline{1, k}$; $k \geq 2$) їх заняття;

$P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення якості обслуговування QoS трафіка реального часу (ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання) в кожному інформаційному напрямку g_{sd} ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$).

Обмеження та допущення:

розглядається процес обслуговування трафіка реального часу (голос, відео-конференц зв'язок);

$$\begin{cases} Y(P)_{g_{sd}} = Z_{g_{sd}} \cdot (1 - P_{g_{sd}}^{Trt}), & s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Z_{g_{sd}} \leq Z_{g_{sd}}^{prov}, & s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ P_{g_{sd}}^{Trt} \leq P_{g_{sd}}^{norm}, & s, d = \overline{1, N}; s \neq d. \end{cases} \quad (3.4)$$

де: $Y(P) = \|Y(P)_{g_{sd}}\|$ – пропускна спроможність кожного інформаційного напрямку g_{sd} ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$); $Z_{Trt}^{prov} = \|Z_{g_{sd}}^{prov}\|$ – задане значення вхідного навантаження трафіка реального часу в кожному інформаційному напрямку g_{sd} ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$); $P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення якості обслуговування QoS трафіка реального часу (ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання) в кожному інформаційному напрямку g_{sd} ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$).

Формалізоване представлення задачі:

$$\begin{cases} Y(P) = f_2\{G_{AN}(t); Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau); U_{sub}(t); V_m(t); C_{type}(t); R_{quasi-static}^{Load}(t); P_{Trt}^{QoS}(t)\} \rightarrow \max \\ P_{Trt}^{QoS}(t) = f_1\{G_{AN}(t); R_{static}^{Load}(t); V_m^{vc}(t); Z_m^{Trt}(t, \tau); \lambda^\xi(t); p_m^{Trt}(t)\} \leq P_{Trt}^{norm} \end{cases}$$

Необхідно визначити:

$P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{g_{sd}}^{Trt}\|$ – якість обслуговування для трафіка реального часу QoS (ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання) в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$R_{quasi-static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ – план розподілу навантаження (ПРН) (квазістатичний груповий метод), що є матрицею сукупності незалежних шляхів передачі інформації $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, o, u, \dots, d = \overline{1, N}; s \neq d$), по гілках мережі m ($m = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості v ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$) їх заняття (параметр вибору черговості – мінімальна кількість гілок в шляху передачі, функціонуюче навантаження та втрати на гілках мережі);

$Y(P) = \|Y(P)_{g_{sd}}\|$ – пропускна спроможність кожного інформаційного напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$y(p)_m = \|y(p)_{m_{ou}}\|$ – пропускна спроможність гілок мережі o, u – номер (індекс) гілки мережі ($o, u \in \overline{1, N}; m \in \overline{1, M}$).

Запропонований метод складається із п'яти взаємопов'язаних етапів:

Етап 1. *Визначення сукупності незалежних шляхів передачі в інформаційних напрямках* $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$.

Алгоритм вирішення даної підзадачі наступний:

1. Якщо ЕКМ знаходиться на етапі введення в експлуатацію (планування) то проводиться розрахунок $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ на основі структури мережі при використанні матричних методів визначення найкоротших незалежних шляхів передачі (можуть бути використані інші методи визначення оптимальних маршрутів).

2. У випадку коли ЕКМ знаходиться в експлуатації використовується маршрутна інформація всього активного обладнання для формування плану розподілу навантаження для всіх ІН.

Етап 2. *Визначення кількості віртуальних каналів в гілках ЕКМ*, тобто визначається необхідна кількість віртуальних каналів $\|V_{m_{ou}}^{vc}\|$ в кожній гілці мережі в залежності від бітової швидкості трактів передачі $V_m(t)$ та необхідної смуги пропускання ΔRT для обслуговування трафіку реального часу в залежності від типу кодека $C_{type}(t)$, який використовується в термінальному (мережевому) обладнанні: $C_{type}(t) = \|C_{m_{ou}}\| \rightarrow \Delta RT = \|\Delta RT_{m_{ou}}\|$ (визначається необхідна смуга пропускання для резервування сесій трафіка реального часу); $\|V_{m_{ou}}^{bit}\| \times \|\Delta RT_{m_{ou}}\|^T \rightarrow \|V_{m_{ou}}^{vc}\|$ (визначається кількість віртуальних каналів в гілках мережі).

При чому, якщо використовуються різні типи кодеків при встановленні двосторонньої сесії, то для розрахунків приймається кодек із більшою швидкістю передачі. Це пояснюється тим, що мережеве обладнання для узгодження швидкості передачі буде автоматично переходити на більші швидкості передачі, що в свою чергу буде вимагати більшу полосу пропускання.

Етап 3. *Розподіл навантаження трафіка реального часу в інформаційних напрямках по шляхам передачі першого вибору (основний шлях) та визначення орієнтовних значень втрат в гілках ЕКМ.*

Вихідними даними для рішення цієї підзадачі являється:

$R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ – матриця незалежних шляхів передачі в інформаційних напрямках (*етап 1*);

$Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ – навантаження трафіку реального часу, яке надходить на обслуговування в ГНН;

$\|V_{m_{ou}}^{vc}\|$ – кількість віртуальних каналів в кожній гілці мережі (*етап 2*).

Результатом рішення даного етапу являється:

$z_m^* = \|z_{m_{ou}}\|$ – розподілене навантаження від інформаційних напрямків на гілки мережі без врахування втрат;

$p_m^* = \|p_{m_{ou}}\|$ – матриця орієнтовних значень ймовірності втрат на гілках ЕКМ сформована в процесі розрахунків.

Для досягнення поставленої мети нам необхідно виконати представлений алгоритм:

1. Проводиться розбиття інформаційних напрямків (ІН) на групи U_p відповідно до матриці шляхів передачі $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ (перший етап) по мінімальній кількості гілок в шляху передачі.

2. Проводиться вибірка значень навантажень із матриці навантажень $Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ (вихідні дані) відповідних інформаційних напрямків.

3. Проводиться ранжування відповідних ІН по максимальним значенням навантаження в кожній групі U_p .

4. Черговість розрахунку визначається відповідно до проведеного ранжування та в порядку створення груп U_p .

5. Вибирається інформаційний напрямок відповідно до визначеного порядку розрахунку та відповідний шлях передачі інформації з маршрутною матриці $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ (етап 1).

6. Якщо для ІН існує декілька рівнозначних шляхів передачі по кількості гілок то виконуємо п. 8. ні п.9.

7. Порівнюємо значення навантаження, які вже присвоїли до цього моменту гілкам в даних шляхах передачі на попередніх розрахунках.

8. Визначаємо шлях передачі інформації, гілки якого мали менші значення навантаження, виконуємо п. 9 для гілок даного шляху.

9. Значення навантаження $Z_{g_{sd}}$, яке надходить на обслуговування в даний інформаційний напрямок, привласнюється всім гілкам шляху першого вибору.

10. Вибирається наступний ІН, відповідно до визначеної черговості та виконуються операції в відповідності до п. 5 – 8 до тих пір, поки не буде розподілене навантаження для всіх інформаційних напрямків.

11. Визначається сумарне значення навантаження, що обслуговуються кожною гілкою, шляхом додавання приписаних їм значень навантаження, яке поступає із всіх інформаційних напрямків. Отриманий результат записується в $z_m^* = \|z_{m_{ou}}\|$.

У відповідності з рекомендаціями доцільно оперувати не математичним очікуванням z_m^* навантаження, а його розрахованим z_{m_count} значенням:

$$z_{m_count} = z_m + \eta \sqrt{z_m}, \quad (3.5)$$

де: $\eta = 0,6724$ – коефіцієнт, який враховує середні значення коливання навантаження.

За розрахованими значеннями z_m^* (або z_{m_count}) і визначеній кількості віртуальних каналів в кожній гілці мережі $\|V_{m_{ou}}^{vc}\|$ (етап 2) визначаються значення орієнтовних втрат на цих гілках. Отримані значення записуються в матрицю втрат на гілках мережі $p_m^* = \|p_{m_{ou}}\|$.

При чому в залежності від кількості абонентів в мережі в процесі розрахунків використовується формула Ерланга першого порядку при нескінченній кількості абонентів ($U_{sub} \geq 100, U_{sub} \rightarrow \infty$) або формула Енгсета при кількості абонентів $U_{sub} < 100$. Тобто використовується СМО з відмовами в залежності від типу ймовірнісного потоку.

На рисунку 3.4 представлений алгоритм порядку розрахунку згідно розглянутого етапу 3 удосконаленого методу.

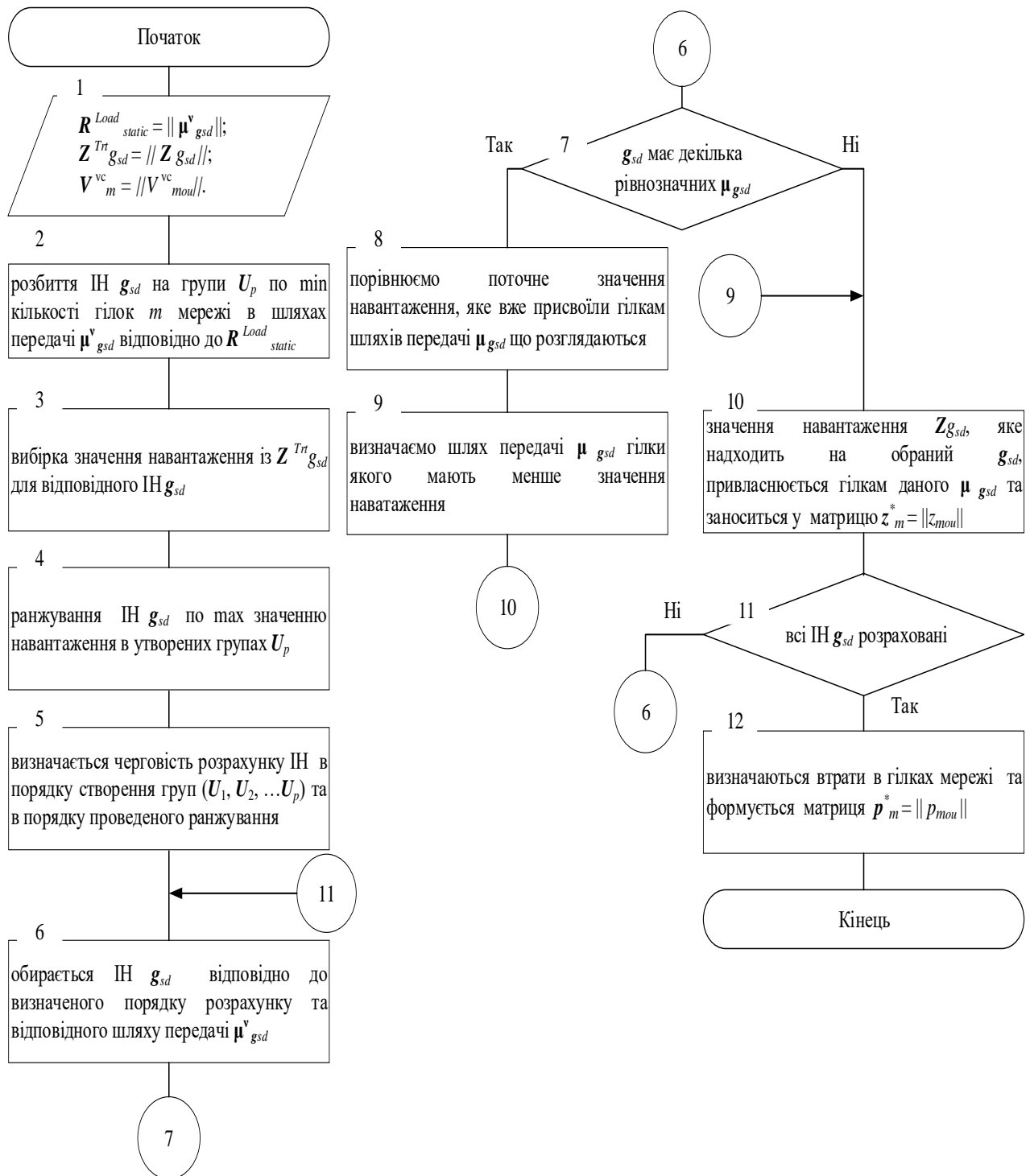


Рис. 3.4. Алгоритм розрахунку орієнтовних значень втрат на гілках ЕКМ

Етап 4. *Розрахунок ймовірності втрат в інформаційних напрямках та гілках ЕКМ.* Отримані результати на попередньому етапі: значення величини навантаження z_m^* (або z_{m_count} – враховує коефіцієнт коливання навантаження) та ймовірності втрат на гілках мережі p_m^* являються орієнтованими, так як вони

розраховані без врахування навантаження, яке створюють обхідні шляхи передачі. Тому необхідно провести корекцію значень навантаження та ймовірності втрат на гілках мережі з врахуванням цього фактору.

Відповідно, *вихідними даними для рішення цієї підзадачі являються параметри з переднього етапу та $p_m^* = \|p_{m_{ou}}\|$ – матриця орієнтовних значень ймовірності втрат в гілках ЕКМ (етап 3).*

Результатом рішення даної підзадачі являється:

$p_m = \|p_{m_{ou}}\|$ – матриця скорегованих ймовірностей втрат в гілках ЕКМ.

Алгоритм рішення даної підзадачі наступний:

1. Проводиться розбиття інформаційних напрямків на групи U_p відповідно до матриці шляхів передачі $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ (*перший етап*) по мінімальній кількості гілок в шляху передачі.

2. Проводиться вибірка значень навантажень із матриці навантажень $Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ (*вихідні дані*) відповідних інформаційних напрямків.

3. Проводиться ранжування відповідних ІН на основі значень навантажень на даних ІН (від $\max Z_{g_{sd}}$ до $\min Z_{g_{sd}}$) в кожній групі U_p та в порядку створення груп (U_1, U_2, \dots, U_p).

4. Відповідно до визначеного порядку розрахунку обирається ІН та його основний шлях передачі з $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ (*етап 1*), який є найкоротший, тобто має мінімальну кількість гілок у своєму складі.

5. Якщо для ІН g_{sd} не існує декількох рівнозначних за кількістю гілок незалежних шляхів передачі $\mu_{g_{sd}}^v \neq \mu_{g_{sd}}^{\bar{v}}$, де v ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$) кількість та черговість їх заняття, то виконуємо п. 6, якщо ні – п. 8.

6. Порівнюємо значення навантаження $z_{m_{ou}} - 1$, яке вже присвоїли до цього моменту гілкам, які ввійшли в склад даних шляхів передачі на попередніх розрахунках.

7. Визначаємо шлях передачі, гілки якого мали менші значення навантаження.

8. Визначений шлях передачі $\mu_{g_{sd}}^v$ ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$), з меншими поточними значеннями навантаження в гілках мережі, визначає черговість заняття шляхів передачі та заноситься в матрицю ПРН $R_{quasi-static}^{Load}(t)$, як шлях першого вибору (основний шлях) $\mu_{g_{sd}}^1$.

9. Першій гілці обраного шляху $\mu_{g_{sd}}^1$ приписується значення навантаження $z_{m_1}^B = Z_{g_{sd}}(Z_{g_{sd}}^{Trt})$ (вхідні дані), яке надходить для обслуговування в даний ІН; другій гілці – значення $z_{m_2}^B = z_{m_1}^B \cdot (1 - p_{m_1})$, де p_{m_1} – ймовірність орієнтовних втрат, визначена для першої гілки основного шляху (етап 2), а $z_{m_1}^B$ – розраховане значення навантаження для першої гілки. Відповідно іншим гілкам визначеного шляху передачі навантаження буде розраховано аналогічно, то $z_{m_l}^B = z_{m_{l-1}}^B \cdot (1 - p_{m_{l-1}})$, де $p_{m_{l-1}}$ – ймовірність орієнтовних втрат, визначена для $l - 1$ гілки мережі основного шляху (етап 2), а $z_{m_{l-1}}^B$ – розраховане значення навантаження для попередньої суміжної гілки даного шляху передачі.

10. Значення навантаження $z_{m_{ou}}$ гілок m_{ou} , які були визначені в процесі розрахунку для основного шляху передачі записується в відповідну матрицю $z_m = \parallel z_{m_{ou}} \parallel$.

11. Для того ж ІН (g_{sd}) вибирається найкоротший шлях другого вибору, тобто обхідний шлях передачі.

12. Якщо для g_{sd} існує декілька рівнозначних за кількістю гілок обхідних шляхів передачі: $\mu_{g_{sd}}^v \neq \mu_{g_{sd}}^v$, то виконуємо п. 15, ні – п. 13.

13. Порівнюємо значення навантаження $z_{m_{ou}} - 1$, які вже присвоїли до цього моменту гілкам, які ввійшли в склад даних шляхів передачі на попередніх розрахунках.

14. Визначаємо обхідний шлях передачі, гілки якого мали менші значення навантаження та виконуємо п. 15.

15. Визначений шлях передачі $\mu_{g_{sd}}^2$ заноситься в матрицю ПРН $R_{quasi-static}^{Load}(t) = \parallel \mu_{g_{sd}}^v \parallel$, як шлях другого вибору, тобто обхідний шлях для ІН, який аналізується.

16. Першій гілці обхідного шляху передачі приписується навантаження рівне:

$$z_{m_2}^R = (z_{g_{sd}} - z_{m_1}^B) + (z_{m_1}^B - z_{m_2}^B) + \dots + (z_{m_{l-1}}^B - z_{m_l}^B),$$

де: l ($l \in \overline{1, M}$) – кількість гілок, які входять до складу основного шляху встановлення з'єднання, що аналізується.

Тобто, це навантаження рівне необслугованому навантаженню $Loss(\mu_{g_{sd}}^1)$, що виникає в результаті втрат на гілках мережі в основному шляху передачі. Другій і наступним гілкам, які входять до складу шляху другого вибору (обхідного шляху) визначаються значення навантаження так само, як для гілок шляху першого вибору (основного шляху).

17. Отримані результати, для кожної гілки m_{ou} , записується в відповідну матрицю $z_m = \|z_{m_{ou}}\|$, або його розрахованим z_{m_count} значенням навантаженням згідно формули 3.5. Сумарне значення навантаження від кожного інформаційного напрямку являє собою сумарне функціонуюче навантаження в гілках ЕКМ m_{ou} . Отримані результати записуються у матрицю $z_{m_count} = \|z_{m_{ou}}\|$.

18. Якщо проаналізовані всі ІН то виконуємо п. 19, ні то вибираємо наступний ІН відповідно до порядку черговості п. 4.

19. За розрахованими значеннями z_m (або z_{m_count} при необхідності) та по визначеному числу віртуальних каналів в кожній гілці $\|V_{m_{ou}}^{vc}\|$ (етап 2) визначаються значення втрат на цих гілках. Отримані значення записуються в матрицю втрат на гілках мережі $p_m = \|p_{m_{ou}}\|$. Для отримання остаточних результатів із заданою точністю, виконується ітераційна процедура згідно алгоритму представленого на рисунку 3.5.

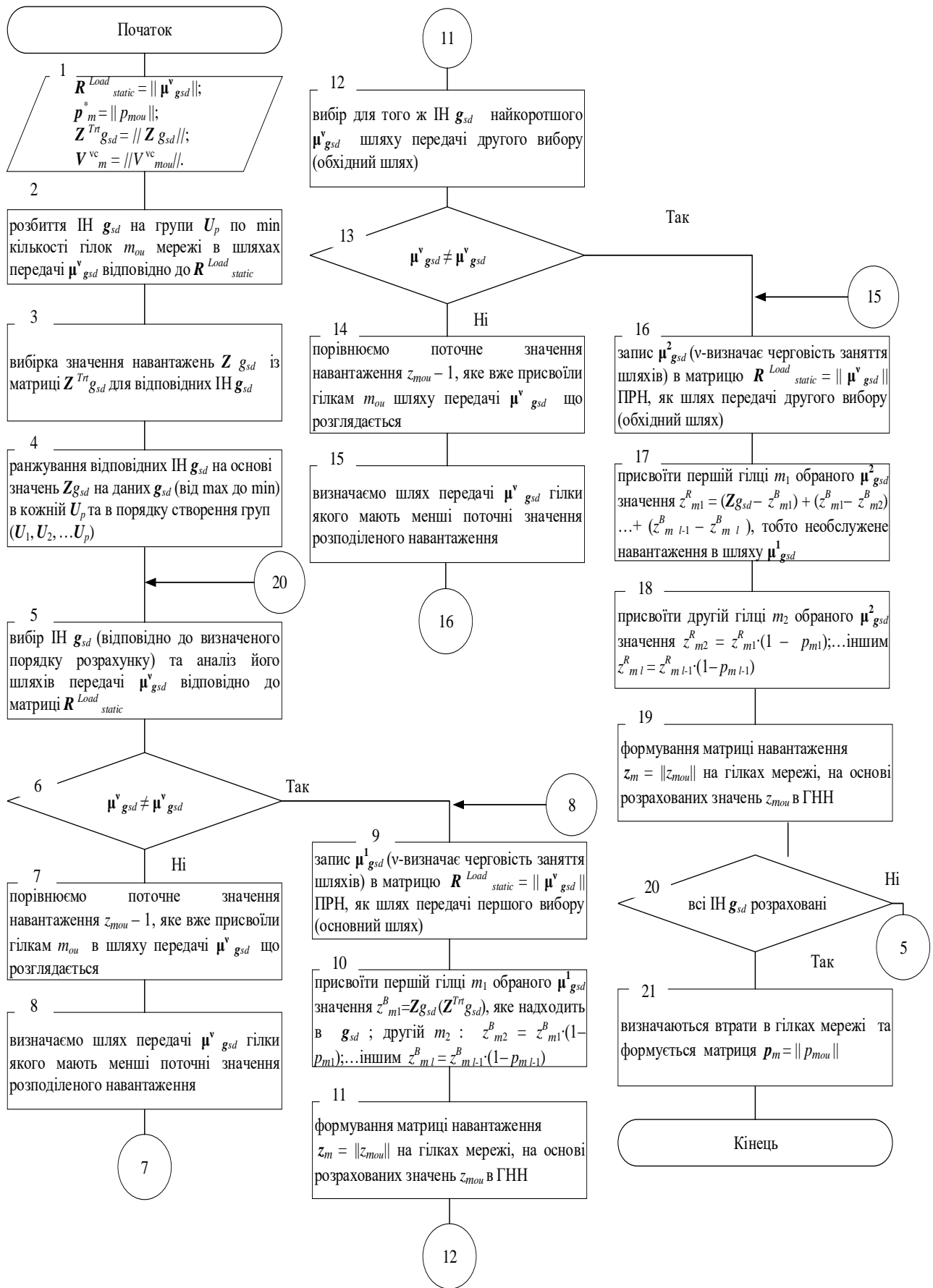


Рис. 3.5. Алгоритм корекції значень ймовірності втрат і навантаження на гілках ЕКМ

При чому, вхідними даними для подальших розрахунків являються значення ймовірності втрат на гілках ЕКМ, що були отримані на попередніх ітераціях. Кількість ітерацій може бути визначена значенням відносної похибки втрат на відповідних гілках мережі. При трьох ітераціях похибка повинна складати до 7 %, що можна використовувати для практичних розрахунків.

Етап 5. *Оцінка пропускної спроможності ЕКМ із врахуванням нормованих показників якості обслуговування QoS трафіка реального часу*

На п'ятому етапі порівнюється розраховані втрати в інформаційних напрямках $P_{Trt}^{QoS}(t)$ із нормованими значеннями ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання в кожному інформаційному напрямку $P_{Trt}^{norm} = \|P_{gsd}^{norm}\|$ (вхідні дані) та визначається пропускна спроможність всіх інформаційних напрямків ЕКМ $Y(P)$.

Тобто визначається обслужене навантаження із врахування втрат в процесі функціонування при використанні розробленої аналітичної моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі

Алгоритм рішення задачі (згідно етапу 5) наступний:

1. Розраховуємо значення втрат на інформаційних напрямках на основі рівняння (3.6) та вже пронормованих значень втрат на гілках мережі згідно матриці $p_m = \|p_{m_{ou}}\|$ (етап 4):

$$P_{gsd}^{Trt} = \prod_{k=1}^{\nu} \left\{ 1 - \prod_{m=1}^{m_{\mu}} (1 - p_{m_{ou}}) \right\}, \quad (3.6)$$

де: ν ($\nu = \overline{1, k}; k \geq 2$) – кількість та черговість заняття незалежних шляхів передачі; m_{μ} – кількість гілок мережі, які використовуються у відповідному шляху передачі m ($m = \overline{1, M}$),

$p_{m_{ou}}$ – ймовірності втрат в гілках ЕКМ, o, u – номер (індекс) гілки мережі ($o, u \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$).

Отримані значення заносим в матрицю ймовірності втрат на інформаційних напрямках.

2. Порівнюємо отримані значення втрат на всіх ІН $P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{g_{sd}}^{Trt}\|$ із нормованими значеннями $P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$. У випадку невідповідності ($P_{g_{sd}}^{Trt} > P_{g_{sd}}^{norm}$) проводяться додаткові розрахунки згідно попередніх етапів (або вказуються ІН та відповідно визначаються гілки ЕКМ на яких необхідно збільшити мережевий ресурс).

3. Визначається пропускна спроможність всіх інформаційних напрямків $Y(P) = \|Y(P)_{g_{sd}}\|$ та гілок $y(p)_m = \|y(p)_{m_{ou}}\|$ мережі згідно формули (3.4).

Новизна представленого методу полягає в тому, що на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження з урахуванням рівня навантаженості та втрат на гілках мережі, а також враховує різні типи кодеків на кінцевому обладнанні мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє проводити оцінку пропускної спроможності ЕКМ із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування QoS трафіка реального часу та визначати доступні резерви пропускної спроможності в інформаційних напрямках та у гілках мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів.

В свою, чергу, метод дозволяє підвищити пропускну спроможність ЕКМ при виконанні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу за рахунок ефективного використання мережевого ресурсу ЕКМ з обхідними шляхами передачі. Виграш за показником якості обслуговування (QoS) в інформаційному напрямку складає 30 %; за показником пропускної спроможності в середньому складає 16 – 18 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

Висновки до розділу 3

Забезпечення нормованих показників якості обслуговування, являється ключовим аспектом при передачі трафіку реального часу, що вимагає використання існуючих моделей та механізмів Quality of Service, а також врахування особливостей функціонування протоколів стеку TCP/IP при розробці науково-методологічного апарату для оцінки пропускнуєї спроможності гетерогенних електронних комунікаційних мереж.

Аналіз існуючих моделей оцінки якості обслуговування трафіка реального часу показав, що вони не в повній мірі враховують відмови в обслуговуванні в гілках ЕКМ при наскрізному з'єднанні між абонентами, а лише дають рекомендації максимум для двох вузлової системи без врахування одночасного обслуговування потоків трафіка реального часу від різних інформаційних напрямків. Для усунення даного недоліку була розроблена нова модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ. Модель дозволяє визначити якість обслуговування для будь-якого інформаційного напрямку ЕКМ, що має декілька найкоротших та незалежних шляхів передачі (мінімум два шляхи передачі) із врахуванням суперпозиції та типів ймовірнісних потоків на гілках мережі при обслуговуванні трафіка реального часу.

Особливість розробленої моделі полягає в тому, що кожна гілка мережі, являється окремою системою масового обслуговування, при чому для забезпечення заданих показників QoS трафіка реального часу в інформаційному напрямку повинні враховуватись втрати на кожній гілці мережі, яка входить до складу шляху передачі в процесі передачі потоків інформації між абонентами. Як наслідок, кожний інформаційний напрямок ЕКМ представляється у вигляді багатоканальної, багатофазної системи масового обслуговування.

За показник якості обслуговування в мережах з технологією віртуальних каналів (тунелів) було прийнято ймовірність відмови встановлення наскрізного

з'єднання між абонентами, згідно міжнародних стандартів ІТУ-Т та існуючих нормативних документів України.

В результаті дослідження, удосконалено метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ шляхом використання розробленої моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та застосування квазістатичного методу формування плану розподілу навантаження з урахуванням рівня навантаженості та втрат на гілках мережі, а також метод враховує різні типи кодеків на кінцевому обладнанні мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів.

Суть методу полягає у визначенні відповідності показників пропускної спроможності кожного інформаційного напрямку при забезпеченні нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу електронних комунікаційних мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів, на етапі функціонування.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ МЕРЕЖЕВОГО РЕСУРСУ ГІЛОК ЕЛЕКТРОННОЇ КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ ГАРАНТОВАНОЮ ЯКІСТЮ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

У даному розділі здійснено удосконалення методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, за рахунок використання декількох шляхів передачі в кожному інформаційному напрямку для розподілу навантаження трафіка реального часу.

Суть методу полягає в тому, що він визначає необхідні показники якості обслуговування трафіка реального часу в гілках ЕКМ та обґрунтовує достатній мережевий ресурс гілок мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, а також формує план розподілу навантаження, що забезпечує дотримання нормованих показників (QoS) трафіка реального часу в інформаційних напрямках, застосовується на етапі планування.

Даний метод відноситься до задач синтезу, а саме дозволяє обґрунтувати та визначити кількість мережевого ресурсу, якого буде достатньо для обслуговування навантаження трафіка реального із заданими показниками якості при використанні обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках.

Наступним доопрацюванням в методі є застосування розробленої аналітичної моделі коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі, яка дозволяє визначити черговість використання шляхів передачі в процесі формування плану розподілу навантаження.

4.1. Розробка аналітичної моделі коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок ЕКМ

В процесі обслуговування вхідного навантаження є втрати повідомлень трафіку реального часу із-за недостатньої кількості мережевого ресурсу, а необслужене навантаженням із основного шляху передачі можна передати використовуючи обхідний шлях (шлях другого вибору). В зв'язку з цим, на етапі нормування показників якості обслуговування на гілках ЕКМ при початковому формуванні плану розподілу навантаження, була використана аналітична модель оцінки якості обслуговування трафіку реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ. Це дозволяє враховувати особливості обслуговування трафіку реального часу, втрати вхідного навантаження та специфіку роботи відповідних мережевих протоколів. Тобто використання даних підходів також дозволяє реалізувати методи Traffic Engineering [68 – 70], а саме резервування мережевих ресурсів, перерозподіл та балансування навантаженням, і як наслідок, більш ефективно використовувати обладнання ЕКМ з дотриманням заданих показників якості обслуговування трафіку реального часу згідно моделі IntServ.

В процесі формування плану розподілу навантаження (ПРН), що визначає вид системи нерівностей (3.1) або (3.2), для рівнозначних за кількістю транзитів незалежних шляхів виникає ситуація, коли не можливо однозначно визначити оптимальний шлях передачі в інформаційному напрямку. Тоді рекомендується вибирати шлях передачі в інформаційному напрямку, в якості основного, вибір якого веде до підвищення загального коефіцієнта використання мережевого ресурсу (КВМР) в ЕКМ при дотриманні заданих показників QoS в інформаційних напрямках. Як показали дослідження, це дозволяє збалансувати навантаження на гілках та використовувати меншу кількість орендованого ресурсу ЕКМ при виконанні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу.

Однак, при використанні КВМР в стандартному вигляді є ряд незручностей для практичного застосування. По-перше, коефіцієнт використання мережевого ресурсу описується не диференційованими функціями. По-друге, аналітичні вирази, що описують взаємозв'язки КВМР, не дозволяють в явному вигляді записати залежність одного параметра через інші.

В зв'язку з цим, були розроблені наближені аналітичні вирази КВМР в залежності від співвідношення обсягу функціонуючого навантаження, кількості віртуальних каналів (тунелів) і ймовірності втрат заявок в гілках мережі, які відображають суть процесів, що протікають в мережі та мають високий рівень адекватності і диференціюються в діапазоні досліджуваних значень.

Коефіцієнт КВМР найбільш часто використовується в якості показників для оцінки ефективності функціонування ЕКМ. Це пов'язано з тим, що він має чисельне значення, має яскраво виражений фізичний зміст [71].

Для гілки мережі з комутацією віртуальних каналів або тунелів КВМР може бути представлений у вигляді [72]:

$$K_m = \frac{Y_m(p)}{V_{VC}} \Big|_{p_m = \text{const}}, \quad (4.1)$$

де: K_m – коефіцієнт використання мережевого ресурсу; $Y_m(p)$ – пропускна спроможність гілки мережі; V_{VC} – число віртуальних каналів (тунелів) гілки мережі; p_m – показник якості обслуговування QoS (ймовірність відмови в обслуговуванні). Пропускна спроможність гілки мережі при обслуговуванні найпростішого потоку визначається виразом (4.2):

$$Y_m(p) = Z_m \cdot (1 - p_m) = Z_m \cdot \left(1 - \frac{Z_m^{V_{VC}} / V_{VC}!}{\sum_{a=0}^{V_{VC}} Z_m^a / a!}\right), \quad (4.2)$$

де: Z_m – обсяг навантаження, яке поступає на обслуговування на гілку мережі.

Тоді аналітичний вираз для визначення КВМР, після нескладних математичних перетворень, набуде вигляду (4.3):

$$K_m = \frac{Z_m \cdot (\sum_{a=0}^{V_{VC}} Z_m^a / a! - Z_m^{V_{VC}} / V_{VC}!)}{V_{VC} \cdot (\sum_{a=0}^{V_{VC}} Z_m^a / a!)} . \quad (4.3)$$

Якщо на гілку надходить примітивний потік заявок, то пропускна здатність буде дорівнює (4.4):

$$Y_m(p) = Z_m \cdot (1 - p_m) = Z_m \cdot \left(1 - \frac{C_{S-1}^{V_{VC}} \cdot Z_m^{V_{VC}} \cdot (1 - Z_m)^{S-V_{VC}}}{\sum_{a=0}^{V_{VC}} [C_S^a \cdot Z_m^a \cdot (1 - Z_m)^{S-a}]} \right), \quad (4.4)$$

де: Z_m – величина навантаження, яка надходить на обслуговування на гілку мережі від кожного із S абонентів; $C_S^{V_{VC}} (C_S^a)$ – число сполучень „із S по V_{VC} ” („із S по a ”).

Тоді, відповідно, аналітичний вираз для визначення КВМР прийме наступний вигляд (4.5):

$$K_m = \frac{Z_m}{V_{VC}} \cdot \left(1 - \frac{C_{S-1}^{V_{VC}} \cdot Z_m^{V_{VC}} \cdot (1 - Z_m)^{S-V_{VC}}}{\sum_{a=0}^{V_{VC}} [C_S^a \cdot Z_m^a \cdot (1 - Z_m)^{S-a}]} \right). \quad (4.5)$$

Для підвищення точності практичних розрахунків зроблено припущення, що в мережі циркулює найпростіший потік заявок. Даний потік заявок найбільш складний в обслуговуванні. Тобто, ми будемо проводити розрахунок на найгірший випадок. І крім того, це дозволить спростити складність опису моделі.

У процесі виконання завдання формування оптимального плану розподілу навантаження потрібно забезпечити раціональне співвідношення між числом віртуальних каналів, навантаженням і QoS на гілках мережі при забезпеченні

заданих вимог до якості обслуговування в інформаційних напрямках [72]. Для цього необхідно проаналізувати залежності типу: $K_m = f(V_{VC})$ при $p = \text{const}$; $K_m = f(Z_m)$ при $p = \text{const}$; $K_m = f(p_m)$ при $Z_m = \text{const}$.

Проведення аналізу значно простіше і точніше, якщо дані аналітичні вирази мають похідні у всьому діапазоні досліджуваних значень, а залежність одного параметра від іншого може бути представлена в явному вигляді. Вирази (4.3) і (4.5) не відповідають цим вимогам і їх використання при практичних розрахунках має значні труднощі.

Тому пропонується апроксимація виразу (4.3) за допомогою емпіричних функцій, що диференціюються. Для цієї мети пропонується використовувати математичний апарат чисельного аналізу [73 – 76], який забезпечує високу ступінь адекватності отриманих результатів.

Побудова емпіричних формул складається з двох етапів:

1. Визначення загального вигляду формули.
2. Розрахунок найкращих параметрів аналітичного виразу.

Для заданої системи значень $(K_m, p_m)|V_{VC} = \text{const}$, $(K_m, V_{VC})|p = \text{const}$, $(K_m, Z_m)|p = \text{const}$ та $(K_m, p_m)|V = \text{const}$ була обрана аналітична залежність (4.6):

$$y = \tilde{f}(x; a, b, c), \quad (4.6)$$

де: a, b та c – деякі константи.

В результаті проведеного аналізу було з'ясовано, що найбільша адекватність досягається при використанні функцій вигляду (4.7):

$$K = ax^b + c. \quad (4.7)$$

Звідси слідує, що $k - c = ax^b$. Після логарифмування цей вираз прийме вигляд:

$$\lg|k - c| = \lg|a| + b \cdot \lg x, \quad |k - c| \neq 0, |a| \neq 0.$$

Звідси, враховуючи, що $\lg|k - c| = K$ та $\lg x = X$ отримуємо залежність наступного вигляду (4.8):

$$K = b \cdot X + \lg a. \quad (4.8)$$

Визначення параметрів формули (4.8) починаємо з знаходження значення c . Для цього складаємо середнє геометричне $x_s = \sqrt{x_1 \cdot x_n}$, де x_1 та x_n крайні значення змінної. Потім, використовуючи метод лінійної інтерполяції, для x_s знайдемо значення (4.9):

$$k_s = k_i + \frac{k_{i+1} - k_i}{x_{i+1} - x_i} \cdot (\overline{x_s} - x_i), \quad (4.9)$$

де: x_i та x_{i+1} – проміжні значення, між якими знаходиться $\overline{x_s}$: $x_i < \overline{x_s} < x_{i+1}$.

Допускаючи, що точки $M_1(x_1, k_1)$, $M_s(x_s, k_s)$, $M_n(x_n, k_n)$ розміщені на кривій (4.9), отримуємо три рівності:

$$k_1 = c + ax_1^b,$$

$$k_s = c + ax_s^b,$$

$$k_n = c + ax_n^b.$$

Зводячи $\overline{x_s} = \sqrt{x_1 \cdot x_n}$ в ступінь b і множачи на a отримаємо $ax_s^b = \sqrt{ax_1^b \cdot ax_n^b}$, або $k_s - c = \sqrt{(k_1 - c) \cdot (k_n - c)}$. Розв'язуючи це рівняння відносно c , знаходимо (4.10):

$$c = \frac{k_1 \cdot k_n - k_s^2}{k_1 + k_n - 2 \cdot k_s}. \quad (4.10)$$

Так, як після логарифмування емпірична формула (4.8) має лінійний вигляд, то нормальну систему рівнянь (4.13) можна записати у вигляді (4.14):

$$\begin{cases} n \cdot \lg a + [X] \cdot b = [K]; \\ [X] \cdot \lg a + [X^2] \cdot b = [X \cdot K]. \end{cases} \quad (4.14)$$

де: n – кількість точок, які ми аналізуємо;

$$[X] = \sum_{i=1}^n \lg x_i; [X^2] = \sum_{i=1}^n (\lg x_i)^2; [K] = \sum_{i=1}^n \lg |k_i - c|;$$

$$[XK] = \sum_{i=1}^n (\lg x_i) \cdot (\lg |k_i - c|), (i = 0, 1, 2, \dots, n).$$

Рішення системи нормальних лінійних рівнянь (4.14), із симетричною квадратною матрицею коефіцієнтів, було проведено методом Крамера. Тобто систему лінійних рівнянь записуємо за допомогою визначників (4.15):

$$\begin{cases} \alpha \cdot \Delta = \Delta_\alpha; \\ \beta \cdot \Delta = \Delta_\beta, \end{cases} \quad (4.15)$$

$$\text{де: } \Delta = \begin{vmatrix} n & [X] \\ [X] & [X^2] \end{vmatrix} - \text{визначник системи (4.15); } \Delta_\alpha = \begin{vmatrix} [K] & [X] \\ [XK] & [X^2] \end{vmatrix};$$

$$\Delta_\beta = \begin{vmatrix} n & [K] \\ [X] & [XK] \end{vmatrix}.$$

При чому $\Delta \neq 0$ система нормальних лінійних рівнянь має єдиний розв'язок:

$$\alpha = \frac{\Delta_\alpha}{\Delta}; \beta = \frac{\Delta_\beta}{\Delta}, \quad (4.16)$$

де: $\alpha = \lg a$, $\beta = b$ – шукані постійні емпіричної аналітичної залежності (4.7).

При остаточному виборі емпіричної залежності повинна виконуватися умова (4.17):

$$\begin{cases} a \cdot (-1), \text{ якщо } c > k_i, |k_i - c| \neq 0; \\ a \cdot (+1), \text{ якщо } k_i > c, |k_i - c| \neq 0. \end{cases} \quad (4.17)$$

На основі розглянутого математичного апарату були визначені основні емпіричні залежності коефіцієнта використання мережевого ресурсу від співвідношення величини навантаження, втрат і числа віртуальних каналів (тунелів) в гілках телекомунікаційної мережі: $K_m = f(V_{VC_i})$ при $p_m = \text{const}$; $K_m = f(Z_{m_i})$ при $p_m = \text{const}$; $K_m = f(p_{m_i})$ при $V_{VC} = \text{const}$; $K_m = f(p_{m_i})$ при $Z_m = \text{const}$.

Отримані емпіричні формули і їх середньоквадратичне відхилення, а саме: $S = \sum_{i=1}^n (\tilde{k}_i - k_i)^2$ приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Середньоквадратичне відхилення емпіричних формул від реальних значень

const	\tilde{K}_m	S
$p_m = 0,001$	$1,2359 \cdot V_{VC}^{0,1241} - 1,3399$	0,00158
$p_m = 0,005$	$-8,3753 \cdot V_{VC}^{-0,0274} + 8,2477$	0,00150
$p_m = 0,01$	$-2,7669 \cdot V_{VC}^{-0,0983} + 2,6440$	0,00092
$p_m = 0,02$	$-1,8264 \cdot V_{VC}^{-0,1769} + 1,7115$	0,00072
$p_m = 0,05$	$-1,3804 \cdot V_{VC}^{-0,2872} + 1,3013$	0,00045
$p_m = 0,001$	$1,6368 \cdot Z_m^{0,736} + 1,4640$	0,00023
$p_m = 0,005$	$3,1652 \cdot Z_m^{0,0420} - 2,9549$	0,00041
$p_m = 0,01$	$-6,2994 \cdot Z_m^{-0,0244} + 6,5212$	0,00031
$p_m = 0,03$	$-2,2772 \cdot Z_m^{-0,0749} + 2,5429$	0,00012
$p_m = 0,05$	$-1,5542 \cdot Z_m^{-0,1199} + 1,8407$	0,00019
$V_{VC} = 3$	$0,9419 \cdot p_m^{0,4079} + 0,0068$	0,00001
$V_{VC} = 5$	$0,9497 \cdot p_m^{0,0268} + 0,0268$	0,00001
$V_{VC} = 8$	$0,07 \cdot \ln(p_m) + 0,733$	0,00098
$V_{VC} = 25$	$0,053 \cdot \ln(p_m) + 0,8952$	0,00228
$Z_m = 5$	$0,6039 \cdot p_m^{0,2337} + 0,2550$	0,00001
$Z_m = 8$	$0,6934 \cdot p_m^{0,2724} + 0,3336$	0,00015
$Z_m = 10$	$0,8670 \cdot p_m^{0,3362} + 0,3838$	0,00025
$Z_m = 20$	$0,6124 \cdot p_m^{0,2100} + 0,4361$	0,00002

Для наочності і зручності аналізу отриманих емпіричних залежностей представлені на рис. 4.1, рис. 4.2.

Далі проводилося узагальнення отриманої аналітичної моделі за рахунок згладжування отриманих статистичних даних.

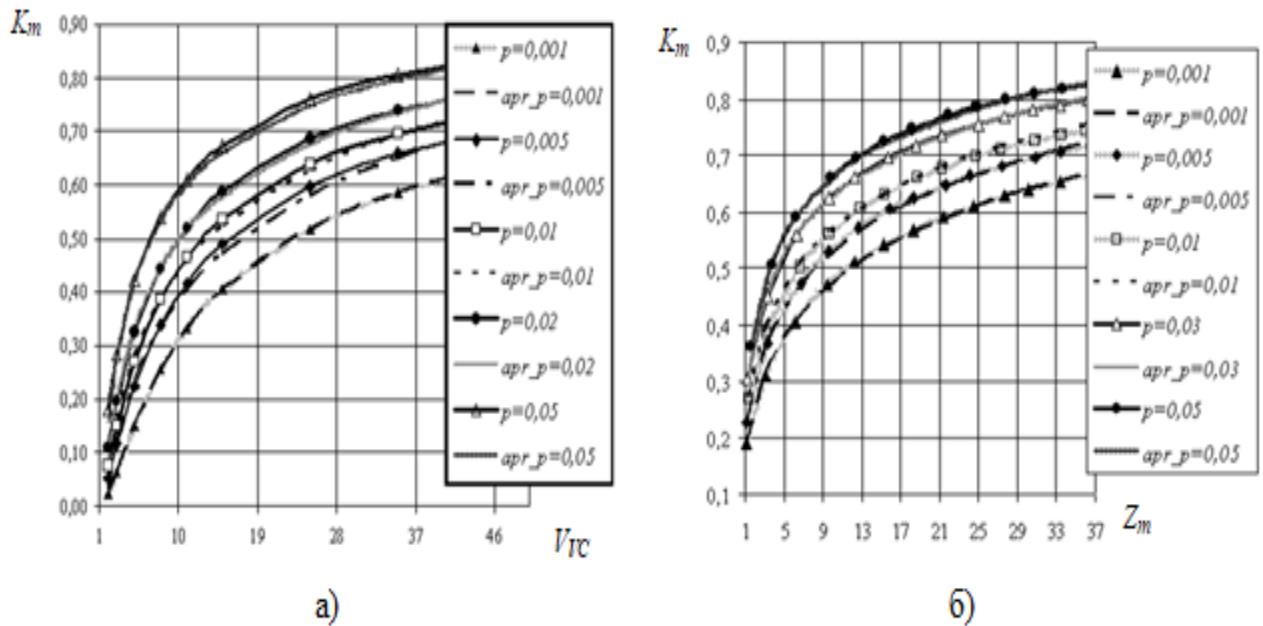


Рис. 4.1. Результати апроксимації залежностей:

а) K_m від V_{VC} при $p_m = \text{const}$; б) K_m від Z_m при $p_m = \text{const}$

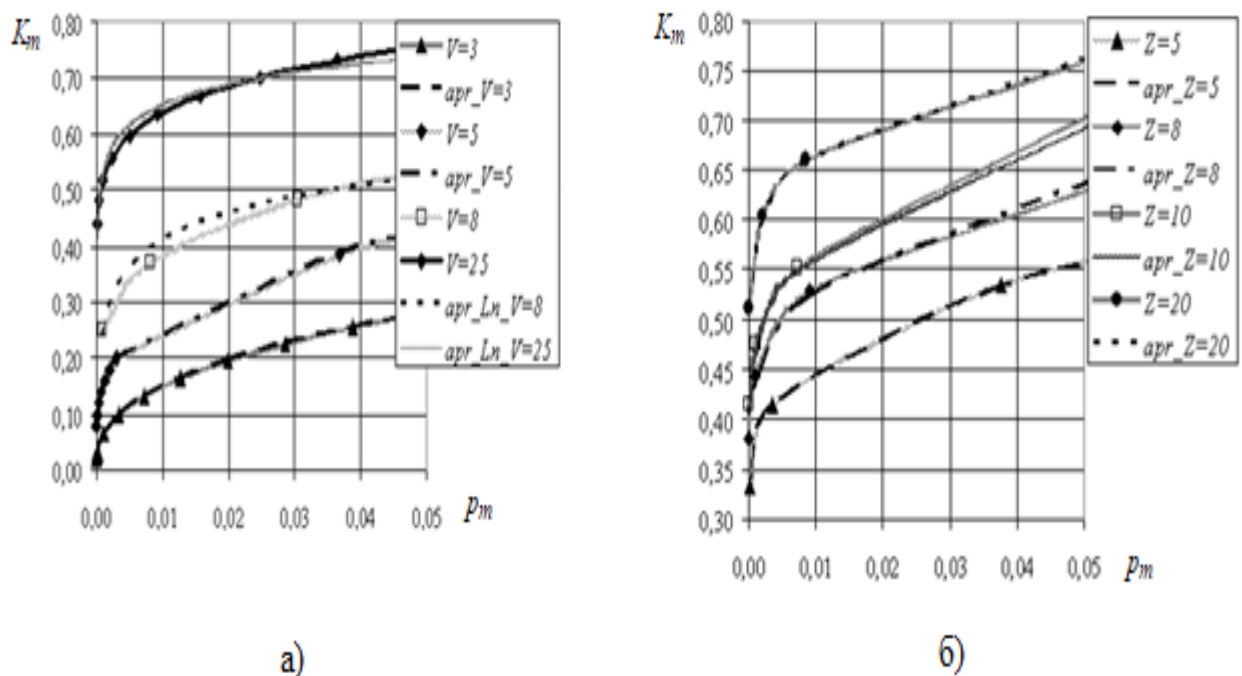


Рис. 4.2. Результати апроксимації залежностей:

а) K_m від p_m при $V_{VC} = \text{const}$; б) K_m від p_m при $Z_m = \text{const}$

Оцінка адекватності отриманих результатів може бути проведена за допомогою математичного апарату лінійного регресивного аналізу.

Для цього проведемо статистичний аналіз оцінок лінійної моделі, скориставшись методом найменших квадратів. Для цього необхідно представити результати спостережень в такій формі [79, 80]:

$$y_i = \beta_0 \cdot a_0 \cdot (x_i) + \beta_1 \cdot a_1 \cdot (x_i) + \dots + \beta_{k-1} \cdot a_{k-1} \cdot (x_i) + \varepsilon_i,$$

де: ε_i – випадкові помилки спостереження.

Припустимо, що помилки спостережень мають нульові математичні очікування і не корелюють, тобто виконуються умови:

$$M[\varepsilon_i] = 0,$$

$$k_{ij} = \begin{cases} \sigma_\varepsilon^2, & i = j; \\ 0, & i \neq j, \end{cases}$$

де: k_{ij} – коваріація випадкових величин ε_i та ε_j , $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Необхідно відзначити, що в МНК оцінки не залежать від обсягу вибірки n (за умови $n \geq k$, де k – число оцінюваних параметрів), якщо помилки спостережень не корелюються ε_i , $i, j = 1, 2, \dots, n$ і мають нормальний розподіл $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$, то оцінки, отримані за МНК, збігаються з оцінками, які були розраховані на основі методу максимальної правдоподібності [81].

Нехай $\tilde{\beta}_0, \tilde{\beta}_1, \dots, \tilde{\beta}_{k-1}$ – оцінки параметрів лінійної моделі. Розрахуємо залишкову суму квадратів Q_e :

$$Q_e(\tilde{\beta}_0, \tilde{\beta}_1, \dots, \tilde{\beta}_{k-1}) = \sum [y_i - \tilde{\beta}_0 \cdot a_0(x_i) - \tilde{\beta}_1 \cdot a_1(x_i) - \dots - \tilde{\beta}_{k-1} \cdot a_{k-1}(x_i)]^2,$$

або в матричному обчисленні:

$$Q_e = (Y - A\tilde{\beta})^T \cdot (Y - A\tilde{\beta}) = Y^T \cdot Y - \tilde{\beta}^T \cdot A^T \cdot Y.$$

Зручніше використовувати в такому вигляді:

$$\|Q_e\| = \|Y^T \cdot Y - \tilde{\beta}^T \cdot A^T \cdot Y\|. \quad (4.18)$$

Незміщена оцінка дисперсії помилок визначається за формулою:

$$\tilde{\sigma}_\varepsilon^2 = s_\varepsilon^2 = \frac{Q_e}{n - k}. \quad (4.19)$$

А оцінка коваріаційної матриці дорівнює:

$$K_m = s_\varepsilon^2 (A^T \cdot A)^{-1}. \quad (4.20)$$

Якщо допустити, що помилки спостережень корелюється і мають нормальний розподіл, то для цього випадку оцінки параметрів представленої аналітичної моделі β_j , $j = 0, 1, \dots, k - 1$, також мають нормальний розподіл.

Межі довірчих інтервалів в цьому випадку визначаються наступним чином:

$$\tilde{\beta}_j \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n - k) \cdot s_\varepsilon \cdot \sqrt{a_{jj}}, \quad (4.21)$$

де: a_{jj} – елемент матриці $(A^T \cdot A)^{-1}$, а α – заданий рівень значущості.

Знайдемо довірчі інтервали для параметрів отриманих аналітичних залежностей. Отримані результати зведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка параметрів емпіричних формул при рівні значущості $\alpha = 0,05$

\widetilde{K}_m	$a \in$	$b \in$
$1,2359 \cdot V_{VC}^{0,1241} - 1,3399$	(1,2433; 1,2297)	(0,1262; 0,1220)
$-8,3753 \cdot V_{VC}^{-0,0274} + 8,2477$	(-9,1911; -7,6319)	(0,0086; - 0,0634)
$-2,7669 \cdot V_{VC}^{-0,0983} + 2,6440$	(-2,7905; -2,7398)	(-0,0948; - 0,1018)
$-1,8264 \cdot V_{VC}^{-0,1769} + 1,7115$	(-1,8501; - 1,8030)	(-0,1719; - 0,1819)
$-1,3804 \cdot V_{VC}^{-0,2872} + 1,3013$	(-1,3897; -1,3712)	(-0,2846; - 0,2898)
$1,6368 \cdot Z_m^{0,736} + 1,4640$	(1,6580; 1,6174)	(0,0780; 0,0692)
$3,1652 \cdot Z_m^{0,0420} - 2,9549$	(3,2324; 3,0993)	(0,0496; 0,0344)
$-6,2994 \cdot Z_m^{-0,0244} + 6,5212$	(-6,4833; - 6,1208)	(-0,0143; -0,0345)
$-2,2772 \cdot Z_m^{-0,0749} + 2,5429$	(-2,2989; - 2,2557)	(-0,0716; - 0,0782)
$-1,5542 \cdot Z_m^{-0,1199} + 1,8407$	(-1,5632; -1,5452)	(-0,1179; -0,1219)
$0,9419 \cdot p_m^{0,4079} + 0,0068$	(1,0218; 0,8682)	(0,4203; 0,3955)
$0,9497 \cdot p_m^{0,0268} + 0,0268$	(1,0119; 0,8914)	(0,3028; 0,2844)
$0,07 \cdot \ln(p_m) + 0,733$	(0,0821; 0,0678)	
$0,053 \cdot \ln(p_m) + 0,8952$	(0,0632; 0,0442)	
$0,6039 \cdot p_m^{0,2337} + 0,2550$	(0,8288; 0,4779)	(0,2753; 0,1921)
$0,6934 \cdot p_m^{0,2724} + 0,3336$	(1,0497; 0,5103)	(0,3189; 0,2259)
$0,8670 \cdot p_m^{0,3362} + 0,3838$	(1,2287; 0,6117)	(0,3937; 0,2604)
$0,6124 \cdot p_m^{0,2100} + 0,4361$	(0,6932; 0,5409)	(0,2296; 0,1904)

Для практичних розрахунків достатньо прийняти рівень значущості $\alpha = 0,05$ та використовувати розподіл Стюдента.

Для вирішення завдань оцінки якості функціонування електронних комунікаційних мереж, а саме оцінки пропускної здатності, представляє інтерес швидкість зміни КВМР. Це досить наочно демонструє перша похідна від знайденої емпіричної функції [82, 83]:

$$\widetilde{K}_m^I = a \cdot b \cdot x^{b-1}. \quad (4.22)$$

Використовуючи залежності виду (4.22) при необхідних значеннях аргументів були отримані графіки залежностей:

$$\widetilde{K}_m^I = f(V_{VC_i}) \text{ при } p_m = \text{const}; \quad \widetilde{K}_m^I = f(Z_{m_i}) \text{ при } p_m = \text{const};$$

$$\widetilde{K}_m^I = f(p_{m_i}) \text{ при } V_{VC} = \text{const}; \quad \widetilde{K}_m^I = f(p_{m_i}) \text{ при } Z_m = \text{const},$$

які представлені нижче у графічному вигляді на рисунках 4.3, 4.4.

Аналіз зміни (приросту) КВМР зручно провести по першій похідній отриманих функцій. Дані залежності в відносних одиницях представлені на рисунку 4.3 та рисунку 4.4.

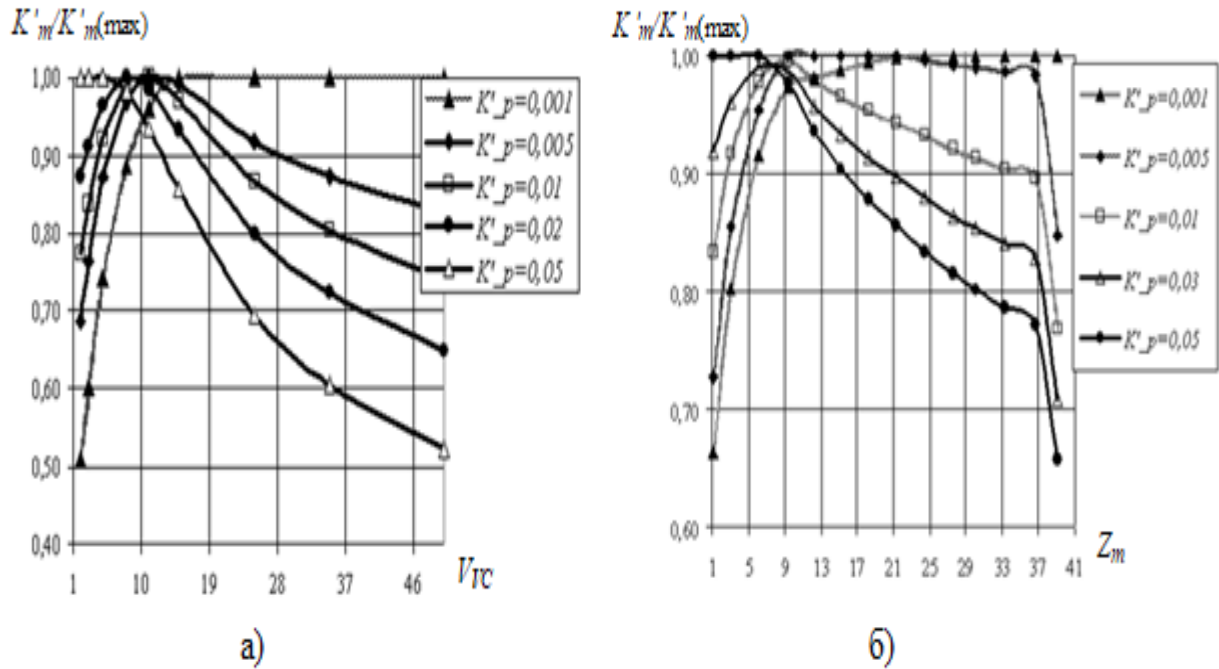


Рис. 4.3. Графіки залежностей: а) $K'_m/K'_m(\max)$ від V_{VC} при $p_m = \text{const}$; б) $K'_m/K'_m(\max)$ від Z_m при $p_m = \text{const}$

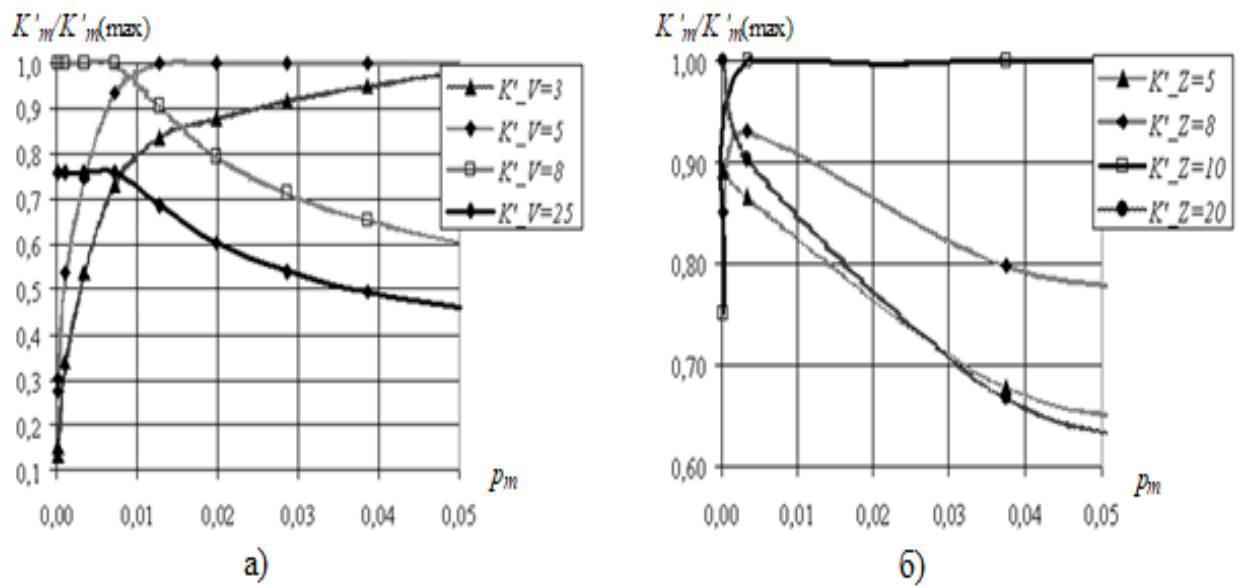


Рис. 4.4. Графіки залежностей: а) $K'_m/K'_m(\max)$ від p_m при $V_{VC} = \text{const}$; б) $K'_m/K'_m(\max)$ від p_m при $Z_m = \text{const}$

Аналізуючи отримані залежності на рисунках 4.3, 4.4 можна побачити, що при збільшенні навантаження швидкість наростання коефіцієнта використання мережевих ресурсів спостерігається на гілках мережі з малим навантаженням і невеликим числом віртуальних каналів (тунелів). При середньому ($Z_m = 15 - 35$ Ерл.) і великому ($Z_m > 35$ Ерл.) навантаженні на гілках мережі швидкість зміни КВМР на гілках мережі приблизно однакова.

Це дає можливість сформулювати практичні рекомендації щодо формування плану розподілу навантаження [84]. У випадку рівності довжини обхідних шляхів в інформаційному напрямку і виникненні невизначеності (при визначенні порядку їх заняття) слід дотримуватися наступного алгоритму розв'язання задачі:

якщо в мережі інтенсивність навантаження в інформаційних напрямках невелика, то необхідно прагнути до рівномірного розподілу навантаження по гілкам мережі;

якщо в мережі інтенсивність навантаження в інформаційних напрямках середня або висока, то необхідно прагнути до досягнення рівності ймовірності втрат на гілках мережі.

В результаті дослідження була виконана апроксимація моделі КВМР наближеними диференційованими функціями на основі математичного апарату регресійного аналізу. Отримані наближені аналітичні вирази коефіцієнта використання мережевого ресурсу в залежності від співвідношення величини навантаження, числа віртуальних каналів або тунелів і необхідної якості обслуговування на гілках мережі. Дані залежності відображають суть процесів обслуговування заявок в ЕКМ, мають достатньо високий рівень адекватності і диференціюються в діапазоні досліджуваних значень параметрів функціонування мережі.

На основі отриманих аналітичних залежностей розроблені практичні рекомендації щодо алгоритму формування плану розподілу навантаження, який забезпечує більш ефективне використання наявного мережевого ресурсу у гілках ЕКМ, при забезпеченні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка

реального часу. Крім того, отримані аналітичні залежності КВМР дають можливість усунути невизначеності при рішення системи нелінійних рівнянь, яка описує вимоги до QoS в інформаційних напрямках.

4.2. Розробка методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу

Суть методу полягає в тому, що він визначає необхідні показники якості обслуговування трафіка реального часу в гілках ЕКМ та обґрунтовує достатній мережевий ресурс гілок мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, а також формує план розподілу навантаження, що забезпечує дотримання нормованих показників (QoS) трафіка реального часу в інформаційних напрямках, застосовується на етапі планування.

В попередніх розділах (п. 3.1, п. 4.1) було розглянуто аналітична модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ та модель коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок ЕКМ. Дані моделі ввійшли до складу представленого методу та дозволили його модифікувати.

Розглянемо більш детально загальну постановку та кожен етап *удосконаленого методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу*. Задача визначення достатнього мережевого ресурсу гілок ЕКМ, може бути сформульована таким чином.

Вхідні дані:

$$G_{TN}(t) = \left\| G_{TN_{yw}} \right\| \quad - \quad \text{структура ЕКМ} \quad (y, w = \overline{1, N})$$

або $G(t) = G\{N(t), M(t)\} - N(t)$ кількість вузлів мережі, $M(t)$ – кількість гілок мережі;

$Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ – навантаження трафіку реального часу, яке надходить на обслуговування в кожний інформаційний напрямок $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ від абонентів ЕКМ для обслуговування в ГНН τ ;

$U_{sub}(t)$ – кількість абонентів в ЕКМ.

$C_{type}(t) = \|C_{m_{yw}}\|$ – тип кодека, який буде використовувати термінальне або мережеве обладнання y, w – номер (індекс) гілки ЕКМ ($y, w \in \overline{1, N}; m \in \overline{1, M}$);

$P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання QoS для трафіку реального часу в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$.

Обмеження та допущення:

розглядається процес обслуговування трафіку реального часу (голос, відео-конференц зв'язок);

обмеження на мережевий ресурс в гілках ЕКМ $V_m(t) = \|V_{m_{yw}}^{bit}\|$ немає;

$$\begin{cases} P_{g_{sd}}^{Trt} \leq P_{g_{sd}}^{norm}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Z_{g_{sd}} \leq Z_{g_{sd}}^{prov}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Y(P)_{g_{sd}} = Z_{g_{sd}} \cdot (1 - P_{g_{sd}}^{Trt}), s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Y(P)_{g_{sd}} \geq Y(P)_{g_{sd}}^{prov}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d. \end{cases}$$

де: $P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{g_{sd}}^{Trt}\|$ – якість обслуговування QoS трафіку реального часу (ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання) в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$Z_{Trt}^{prov} = \|Z_{g_{sd}}^{prov}\|$ – задане значення вхідного навантаження трафіку реального часу в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$Y(P) = \|Y(P)_{g_{sd}}\|$ – пропускна спроможність кожного інформаційного напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$Y(P)_{Trt}^{prov} = \|Y(P)_{g_{sd}}^{prov}\|$ – задана пропускна спроможність кожного інформаційного напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$.

Формалізована постановка задачі представлена наступним виразом:

$$\begin{cases} V_m(t) = f_3\{G_{TN}(t); Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau); U_{sub}(t); C_{type}(t); R_{quasi-static}^{Load}(t); P_{Trt}^{QoS}(t)\} \rightarrow \min \\ P_{Trt}^{QoS}(t) = f_1\{G_{TN}(t); R_{static}^{Load}(t); V_m^{vc}(t); z_m^{Trt}(t, \tau); \lambda^\xi(t); p_m^{Trt}(t)\} \leq P_{Trt}^{norm} \end{cases}$$

Необхідно визначити:

$V_m(t) = \|V_{m_{yw}}^{bit}\|$ – необхідна швидкість передачі гілки (тракту, тунелю)

мережі, y, w – номер (індекс) гілки ЕКМ ($y, w \in \overline{1, N}; m \in \overline{1, M}$).

$R_{quasi-static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ – план розподілу навантаження (ПРН) (квазістатичний груповий метод), що є матрицею сукупності незалежних шляхів передачі інформації $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, y, w, \dots, d = \overline{1, N}; s \neq d$), по гілках мережі m ($m = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості v ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$) їх заняття (параметр вибору черговості – мінімальна кількість гілок в шляху передачі, коефіцієнт використання мережевого ресурсу гілок мережі).

Необхідно відмітити, що від раціональності сформованого ПРН багато в чому залежить ефективність функціонування електронної комунікаційної мережі в цілому.

В свою чергу метод складається з наступних етапів, які являються окремими самостійними підзадачами:

Етап 1. *Визначення сукупності незалежних шляхів передачі в інформаційних напрямках* ($R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$)

На цьому етапі визначаємо сукупність шляхів передачі в інформаційних напрямках ЕКМ. При чому, кількість шляхів в кожному інформаційному напрямку не менше двох (основний і обхідний).

Так як ми вирішуємо задачу синтезу, а саме ЕКМ знаходиться на етапі планування (або різки зміни при функціонуванні мережі) то розрахунок

проводиться на основі структури мережі на основі матричних методів для визначення найкоротших незалежних шляхів передачі (метод Шимбела або послідовного зведення в ступінь модифікованої матриці суміжності).

Вихідними даними для рішення цієї підзадачі являється:

$$G_{TN}(t) = \left\| G_{TN_{yw}} \right\| - \text{структура ЕКМ } (y, w = \overline{1, N}).$$

Результатом рішення даної підзадачі являється:

$$R_{static}^{Load}(t) = \left\| \mu_{g_{sd}}^v \right\| - \text{матриця сукупності незалежних шляхів передачі } \mu_{g_{sd}}^v (s, y, w, \dots, d = \overline{1, N}; s \neq d), \text{ по гілках мережі } m (m = \overline{1, M}).$$

Етап 2. *Нормування (прогнозування) показників якості обслуговування на гілках ЕКМ.*

Вирішення даного етапу запропонованого метода, досить складне і трудомістке завдання, так як більшість інформаційних напрямків в ЕКМ являються взаємозалежними.

Тобто, в процесі обслуговування трафіка реального часу одна і та ж гілка мережі може використовуватися декількома інформаційними напрямками. Тому, нормування втрат на гілках важливо проводити з врахуванням найбільш жорстких вимог до якості обслуговування.

Вихідними даними для рішення цієї підзадачі являється:

$$R_{static}^{Load}(t) = \left\| \mu_{g_{sd}}^v \right\| - \text{матриця сукупності незалежних шляхів передачі інформації } \mu_{g_{sd}}^v (s, y, w, \dots, d = \overline{1, N}; s \neq d), \text{ по гілках мережі } m (m = \overline{1, M}) \text{ (етап 1);}$$

$P_{Trt}^{norm} = \left\| P_{g_{sd}}^{norm} \right\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання QoS для трафіка реального часу в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ (вихідні дані).

Результатом рішення даної підзадачі являється:

$$p_m = \left\| p_{m_{ij}} \right\| - \text{нормоване (зпрогнозоване) значення втрат на гілках ЕКМ.}$$

Відповідно, на даному етапі використовуємо розроблену аналітичну модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними

Це пояснюється тим, що в процесі розрахунків виникають невизначеності, а саме в процесі вибору черговості розрахунку інформаційних напрямків. Це пов'язано з тим, що в електронних комунікаційних мережах, які мають декілька шляхів передачі інформації в інформаційних напрямках, якість обслуговування на будь-якій гілці залежить від якості обслуговування на всій решті гілок мережі. Як наслідок, в результаті розрахунку якість обслуговування у ряді інформаційних напрямків не відповідає нормі. Помилка виявляється лише на кінцевих етапах розрахунку і виникає необхідність починати розрахунок спочатку. В результаті знижується швидкість і точність розрахунку.

В існуючих методах запропоновані евристичні алгоритми рішення цієї задачі із достатньою для практики точністю. Суть даних методів, на етапі нормування якості обслуговування на гілках мережі, полягає в наступному:

1. Вибирається нерівність, що відповідає інформаційному напрямку, найкоротший шлях μ_{gsd}^1 якого має максимальну довжину (за кількістю транзитних вузлів).

2. Якщо таких напрямків декілька, то вибирають той, в якого шлях другого вибору μ_{gsd}^2 довший або за іншою формальною ознакою.

3. Для отримання однозначного рішення переходять від нерівності до рівняння:

$$P_{gsd}^{norm} = \prod_{k=1}^{\nu} [1 - \prod_{m=1}^{m_{\mu}} (1 - p_{m_{ij}})] \quad (4.23)$$

4. Допускають рівність втрат на всіх гілках інформаційного напрямку за умови виконання вимог за якістю обслуговування. В цьому випадку рівняння (4.23) може бути перетворено в рівняння:

$$P_{gsd}^{norm} = [1 - (1 - p_{m_1})^{m_1}] \quad (4.24)$$

5. Всім гілкам інформаційного напрямку, які входять до обраного шляху передачі m_{ij} привласнюється середнє значення ймовірності втрат, отримане в результаті рішення першого рівняння (4.24).

6. Аналогічним чином вирішують друге і наступні рівняння до тих пір, поки всім гілкам мережі не будуть привласнені розраховані для них значення ймовірності втрат. Результати розрахунку зводяться в матрицю $p_m = \parallel p_{m_{ij}} \parallel$.

7. Проводиться перевірочний розрахунок значень ймовірності втрат в інформаційних напрямках. Перевіряється, чи задовольняють розраховані значення $P_{g_{sd}}$ вимогам, що висуваються $P_{g_{sd}}^{norm}$ (одержані показники якості обслуговування повинні бути не гірші або кращі нормованих показників). З цією метою визначається різниця між нормованими та дійсними значеннями втрат на всіх інформаційних напрямках за формулою:

$$\Delta_{sd} = P_{g_{sd}}^{norm} - P_{g_{sd}} \quad (4.25)$$

8. Дані значення повинні бути $\Delta_{sd} \geq 0$. Якщо в будь-якому інформаційному напрямку $\Delta_{sd} < 0$, то це означає, що в процесі розрахунку були порушені умови щодо якості обслуговування трафіка реального часу та переходять до п. 1. Тобто всі розрахунки повторюються з початку.

Фізичний зміст, перших етапів розглянутого вище алгоритму – це визначення інформаційних напрямків з найбільш жорсткими вимогами щодо якості обслуговування. Однак, алгоритм припускається похибки в процесі вибору інформаційного напрямку із найбільш жорсткими вимогами до якості обслуговування на поточному етапі обчислень.

В зв'язку з цим, був розроблений удосконалений метод, який на етапі нормування гілок мережі, усуває невизначеності черговості вибору аналізу інформаційного напрямку за рахунок того що:

1. Знаходиться сукупність всіх шляхів встановлення з'єднання для всіх інформаційних напрямках та визначається кількість гілок, що входять до складу кожного шляху встановлення з'єднання.

2. Записуємо рівняння втрат для кожного інформаційного напрямку та знаходимо усереднений показник якості обслуговування на гілках мережі p_{mavar} , в залежності від заданої якості обслуговування p_{gsd}^{norm} та кількості гілок для кожного шляху. Дана операція виконується для можливості рекомендацій по черговості вибору інформаційних напрямків [89, 90] та дозволяє точніше здійснювати вибір інформаційного напрямку з найбільш жорсткими вимогами до якості обслуговування.

Для цього, вираз (4.23), залежність якості обслуговування в інформаційних напрямках від величини втрат на гілках, було перетворено до виду:

$$p_{gsd}^{norm} = [1 - (1 - p_{mavar})^x] \cdot [1 - (1 - p_{mavar})^y] \quad (4.26)$$

де: x ($x \in m = \overline{1, l}$) – кількість гілок в першому шляху передачі μ_{gsd}^1 ;
 y ($y \in m = \overline{1, l}$) – кількість гілок в другому шляху передачі μ_{gsd}^2 ;
 p_{mavar} – усереднений показник якості обслуговування на гілках мережі.

3. Проводиться ранжування інформаційних напрямків в залежності від по показника p_{mavar} . (від $\min p_{mavar}$. до $\max p_{mavar}$.).

4. Розраховуються інформаційні напрямки з найбільш жорсткими вимогами до якості обслуговування, в порядку ранжування, використовуючи рівняння (4.23). При цьому всім гілкам m_{ij} інформаційного напрямку зв'язку g_{sd} привласнюється значення ймовірності втрат, отримане в результаті рішення рівняння (4.26), тобто $p_{mavar} = p_{mij}$. Визначені втрати p_{mij} на гілках використовуються при подальшому розрахунку.

5. Якщо при нормуванні втрат в гілці мережі, виходячи з рівняння втрат для інформаційного напрямку (4.23), невідома, тобто нерозрахована, тільки одна

гілка $p_{m_{ij}}$, то необхідно для всіх ще нерозрахованих інформаційних напрямків провести повторну перевірку вимог до середніх втрат на гілках (тільки по не розрахованих ще гілках мережі).

б. Розрахунки проводяться до тих пір, поки не будуть пронормовані, визначені, всі гілки мережі. Результати розрахунку зводяться у відповідну матрицю $p_m = \parallel p_{m_{ij}} \parallel$.

Таким чином, коли при нормуванні (прогнозуванні) ймовірність втрат в гілках ЕКМ, в інформаційному напрямку є невідома тільки одна гілка, то необхідно для всіх ще не розрахованих інформаційних напрямків провести повторну перевірку вимог до середніх втрат в гілках (тільки по не розрахованих ще гілках).

Тобто, провести повторний розрахунок середніх втрат на гілках та ранжування відповідно до критерію мінімальних втрат. Даний підхід визначає черговість розрахунку ІН, для нормування гілок мережі, та дозволяє зменшити число необхідних ітерацій і, як наслідок, час отримання необхідного результату. Орієнтовна оцінка виграшу часу, за рахунок скорочення ітераційних процедур в залежності від розмірності мережі, складає 20 %.

Етап. 3. *Формування плану розподілу навантаження в ЕКМ*
 $(R_{quasi-static}^{Load}(t) = \parallel \mu_{gsd}^v \parallel)$

На даному етапі здійснюється рівномірний розподіл (балансування) навантаження від всіх ІН на гілки мережі, що входять до складу основного і обхідного шляхів передачі та визначаються пропускні спроможності гілок мережі.

Однак, в процесі розрахунків виникають невизначеності щодо порядку вибору рівнозначних (за кількістю транзитів) шляхів в ІН, тому на даному етапі була використана аналітична модель коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок ЕКМ, яка дозволяє на основі квазістатичного групового методу скорегувати ПРН.

Етап 4. *Визначення достатньої кількості віртуальних каналів та швидкості передачі в гілках ЕКМ*

Спочатку визначається кількість віртуальних каналів $\|V_{m_{yw}}^{vc}\|$ в кожній гілці ЕКМ. А потім визначається необхідна канална швидкість в гілках мережі для передачі трафіку реального часу в залежності від кількості віртуальних каналів або тунелів в кожній гілці мережі та типу кодека, який використовується в мережевому обладнанні.

Вихідними даними для рішення цієї підзадачі являється:

$y(p)_m = \|y(p)_{m_{ou}}\|$ – пропускна спроможність гілок ЕКМ
 y, w – номер (індекс) гілки мережі ($o, u \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$), (етап 3);

$C_{type}(t) = \|C_{m_{yw}}\|$ – тип кодека, який буде використовувати термінальне або мережеве обладнання y, w – номер (індекс) гілки ЕКМ
 $(y, w \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$), (вихідні дані);

Результатом рішення даного етапу являється:

$\|V_{m_{yw}}^{vc}\|$ – кількість віртуальних каналів в кожній гілці ЕКМ, яка визначається після формування плану розподілу навантаження;

$V_m(t) = \|V_{m_{yw}}^{bit}\|$ – необхідна швидкість передачі гілки (тракту, тунелю) мережі, y, w – номер (індекс) гілки ЕКМ ($y, w \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$).

Алгоритм вирішення даної підзадачі наступний:

1. На основі значень пропускної спроможності гілок ЕКМ $y(p)_m$ (етап 3) та нормованих значень втрат на гілках $p_m = \|p_{m_{ij}}\|$ (етап 2) розраховують кількість віртуальних каналів (тунелів) в гілках мережі $\|V_{m_{yw}}^{vc}\|$.

2. Визначається необхідна бітова швидкість для передачі однієї сесії телефонної розмови (відеоконференції) ΔRT : приймається швидкість загального цифрового каналу (64 Кбіт/с), або типу від кодеку (HR – 5,6 Кбіт/с, FR – 13 5,6 Кбіт/с, EMR – 12,2 Кбіт/с). При чому, якщо використовуються різні типи кодеків при встановленні двосторонньої сесії, то для розрахунків приймається

кодек із більшою швидкістю передачі [91, 92]. Це пояснюється тим, що мережеве обладнання для узгодження швидкості передачі буде автоматично переходити на більші швидкості передачі, що в свою чергу буде вимагати більшу полосу пропускання. А саме: $C_{type}(t) = \lVert C_{m_{yw}} \rVert \rightarrow \Delta RT = \lVert \Delta RT_{m_{yw}} \rVert$ (визначається необхідна смуга пропускання для резервування сесій трафіку реального часу).

3. Розраховуємо необхідну каналну швидкість $\lVert V_{m_{yw}}^{bit} \rVert$ в гілках ЕКМ для передачі трафіку реального часу:

$$\lVert V_{m_{yw}}^{vc} \rVert \times \lVert \Delta RT_{m_{yw}} \rVert^T \rightarrow \lVert V_{m_{yw}}^{bit} \rVert.$$

Тобто в результаті ми отримуємо результуючу матрицю $V_m(t)$, яка дозволяє замовити достатній мережевий ресурс для обслуговування трафіку реального часу з дотриманням заданих (нормованих) показників якості обслуговування.

Більш детально порядок використання удосконаленого методу на етапі *нормування (прогнозування) показників якості обслуговування на гілках ЕКМ* розглянуто на прикладі, при наступних початкових даних:

ЕКМ, з підтримкою технології віртуальних каналів або тунелів, задана структурою (рис. 4.5);

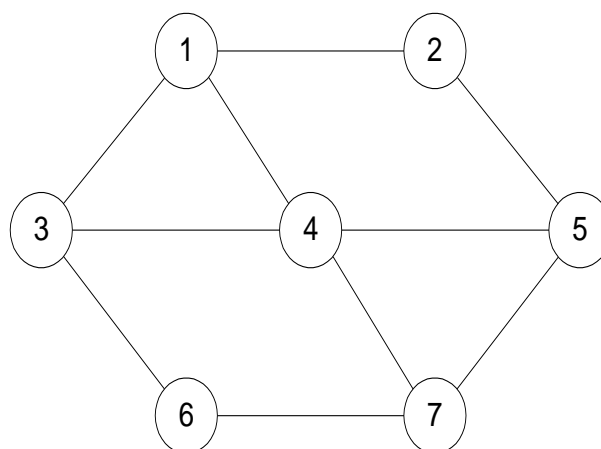


Рис. 4.5. Варіант структури ЕКМ

для кожного інформаційного напрямку дані допустимі значення втрат інформації P_{gsd}^{norm} таблиця 4.3 (**колонка 4**);

віртуальні канали в гілках мережі однонаправлені, кожна гілка має віртуальні канали або тунелі в обох напрямках. В цьому випадку кількість інформаційних напрямків в ЕКМ $J_g = N \cdot (N - 1) = 42$ тому, що мережа складається із семи комунікаційних вузлів з активним обладнання мережі; визначена $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{gsd}^v\|$ матриця сукупності незалежних шляхів передачі μ_{gsd}^v ($s, y, w, \dots, d = \overline{1, N}; s \neq d$), по гілках мережі m ($m = \overline{1, M}$), згідно етапу 1.

Проведемо розрахунок згідно вище приведеної удосконаленого методу:

1. Визначаємо сукупність двох найкоротших та незалежних шляхів передачі для кожного інформаційного напрямку (**колонка 2**) та кількості гілок (**колонка 3**), що входять до їх складу (згідно структури мережі та матриці шляхів передачі).

2. Знаходимо середні втрати в гілках мережі $p_{m_{avar}}$. (**колонка 5**) для всіх інформаційних напрямків, за допомогою рівняння (4.26).

3. Проводимо ранжування (**колонка 5**) показника $p_{m_{avar}}$ (від $\min p_{m_{avar}}$ до $\max p_{m_{avar}}$).

4. Визначаємо черговість порядку розрахунку інформаційних напрямків, при використанні критерію мінімальних втрат в гілках ($\min p_{m_{ij}}$), що відповідає списку ранжування $p_{m_{avar}}$ (**колонка 6**) та проводимо нормування гілок мережі згідно з рівнянням (4.23). При чому нерозрахованим гілкам мережі $p_{m_{ij}}$ прирівнюється $p_{m_{avar}}$, а потім пронормовані (прийняті) значення втрат в гілках використовуються в подальших розрахунках.

Виконуючи розрахунок втрат в гілках мережі $p_{m_{ij}}$ в черговості згідно таблиця 4.3 (**колонка 6**), і пропускаючи інформаційні напрямки, в яких значення допустимих втрат на всіх гілках відомі, знайдемо наступні значення:

$$p_{m_{25}} = p_{m_{57}} = p_{m_{76}} = p_{m_{21}} = p_{m_{13}} = p_{m_{36}} = 0,0241;$$

$$p_{m_{52}} = p_{m_{54}} = p_{m_{41}} = p_{m_{12}} = p_{m_{63}} = p_{m_{67}} = p_{m_{74}} = p_{m_{43}} = 0,026;$$

$$p_{m_{14}} = p_{m_{47}} = 0,0279.$$

Після розрахунків знайдено шістнадцять гілок відповідно до рівнянь втрат (4.23) та розглянуто сім ІН. На восьмому кроці виникла ситуація коли нерозрахована (непронормована) тільки одна гілка $p_{m_{75}}$. Якщо залишити старе ранжування та продовжити розрахунок, то отримаємо ще чотири нерозраховані ймовірності втрат на гілках ($p_{m_{75}} = 0,05$; $p_{m_{45}} = 0,0261$; $p_{m_{31}} = 0,0522$; $p_{m_{34}} = 0,0578$).

Для перевірки виконання умови забезпечення якості обслуговування розраховуємо загальні втрати інформаційних напрямків за формулою (4.23) та заносимо в таблицю 4.3 (колонка 7). Ці значення відповідно до умов (4.25) $P_{g_{sd}} \leq P_{g_{sd}}^{norm}$, $s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$ не повинні перевищувати заданих (нормованих) величин.

Виконаємо перевірочний розрахунок відповідно до заданих та знайдених ймовірностей втрат на ІН, за формулою (4.25) значення Δ_{sd} представлені в табл. 4.3 (колонка 8). Для напрямків g_{71} , g_{75} значення Δ_{sd} від'ємні, тобто при отриманих значеннях втрат на гілках для цих інформаційних напрямків умови забезпечення якості обслуговування не виконуються.

Дана ситуація пов'язана з тим, якщо при нормуванні втрат в гілці, виходячи з рівняння втрат (4.23), в інформаційному напрямку невідома тільки одна гілка, то це приводить до ослаблення вимог по втратах в даній гілці. Надалі дана обставина негативно позначається при розрахунку чергових інформаційних напрямків, де задіяна дана гілка. Це пояснюється тим, що значення втрат на гілках, які були отримані при виконанні перших кроків розрахунку, в наступних рівняннях комбінуються різним чином, тобто прийняті значення втрат на гілках використовуються для подальших розрахунків.

Таблиця 4.3 – проміжні результати розрахунку згідно етапу 2

ІН g_{sd}	Матриця шляхів передачі $\ \mu_{g_{sd}}^v\ $	Кількість гілок $\mu_{g_{sd}}^v$	$P_{g_{sd}}^{norm}$	p_{mavar}	Черговість розрахунку	Розраховані значення $P_{g_{sd}}$	$\Delta_{ij} =$ $P_{g_{sd}}^{norm} - P_{g_{sd}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
2-6	25-57-76 / 21-13-36	3/3	0,005	0,0241	1	0,004980	0,000019
7-6	76 / 74-43-36	1/3	0,002	0,0261	4	0,001792	0,000207
6-3	63 / 67-74-43	1/3	0,002	0,0261	3	0,001991	0,000009
5-2	52 / 54-41-12	1/3	0,002	0,0261	2	0,001991	0,000009
1-7	14-47 / 13-36-67	2/3	0,004	0,0263	5	0,003988	0,000012
5-3	54-43 / 52-21-13	2/3	0,004	0,0263	6	0,003734	0,000266
1-6	13-36 / 14-47-76	2/3	0,005	0,0295	7	0,003705	0,001295
7-1	74-41 / 75-52-21	2/3	0,005	0,0295	8	0,005002	-0,000002
4-3	43 / 41-13	1/2	0,002	0,0319	9	0,001294	0,000706
4-5	45 / 47-75	1/2	0,002	0,0319	10	0,0001997	0,000003
4-7	47 / 45-57	1/2	0,002	0,0319	11	0,001383	0,000616
5-4	54 / 57-74	1/2	0,002	0,0319	12	0,0001294	0,000706
6-2	63-31-12 / 67-75-52	3/3	0,010	0,0345	13	0,009996	0,000003
2-4	21-14 / 25-54	2/2	0,005	0,0360	14	0,002544	0,002455
1-2	12 / 14-45-52	1/3	0,004	0,0372	15	0,002035	0,001964
3-5	34-45 / 36-67-75	2/3	0,008	0,0376	16	0,00800	0,00000
7-5	75 / 74-45	1/2	0,003	0,0391	17	0,002576	-0,000575
2-5	25 / 21-14-45	1/3	0,005	0,0417	18	0,001834	0,003166
6-7	67 / 63-34-47	1/3	0,005	0,0417	19	0,002819	0,002181
2-3	21-13 / 25-54-43	2/3	0,010	0,0421	20	0,003542	0,006548
2-7	25-57 / 21-14-47	2/3	0,010	0,0421	21	0,003705	0,006295
3-2	31-12 / 34-45-52	2/3	0,010	0,0421	22	0,008182	0,001818
5-6	57-76 / 54-43-36	2/3	0,010	0,0421	23	0,003542	0,06458
6-1	63-31 / 67-74-41	2/3	0,010	0,0421	24	0,005868	0,004131
6-5	67-75 / 63-34-45	2/3	0,010	0,0421	25	0,007954	0,002046
7-2	75-52 / 74-41-12	2/3	0,010	0,0421	26	0,005705	0,004295
1-3	13 / 14-43	1/2	0,005	0,0506	27	0,001284	0,003716
5-7	57 / 54-47	1/2	0,005	0,0506	28	0,001284	0,003716
1-5	14-45 / 12-25	2/2	0,010	0,0513	29	0,002641	0,007359
3-7	36-67 / 34-47	2/2	0,010	0,0513	30	0,004168	0,005831
4-2	41-12 / 45-52	2/2	0,010	0,0513	31	0,002654	0,007345
4-6	47-76 / 43-36	2/2	0,010	0,0513	32	0,002544	0,007445
5-1	52-21 / 54-41	2/2	0,010	0,0513	33	0,002554	0,007446
6-4	63-34 / 67-74	2/2	0,010	0,0513	34	0,004245	0,005755
7-3	74-43 / 76-63	2/2	0,010	0,0513	35	0,002554	0,007446
2-1	21 / 25-54-41	1/3	0,010	0,0595	36	0,001792	0,008207
3-6	36 / 34-47-76	1/3	0,010	0,0595	37	0,001834	0,008166
1-4	14 / 13-34	1/2	0,007	0,0601	38	0,002246	0,004753
3-1	31 / 34-41	1/2	0,010	0,072	39	0,004301	0,005699
3-4	34 / 31-14	1/2	0,010	0,072	40	0,004546	0,005454
4-1	41 / 43-31	1/2	0,010	0,072	41	0,002008	0,005454
7-4	74 / 75-54	1/2	0,010	0,072	42	0,001952	0,008047

В результаті порядок розрахунку визначений в таблиці 4.3. (колонка б), вже не відповідає критерію мінімальних вимог по втратах на інформаційних напрямках. Тому гілки $p_{m_{75}}$, $p_{m_{45}}$, $p_{m_{31}}$, $p_{m_{34}}$ пронормовані невірно, бо Δ_{71} та Δ_{75} мають від’ємні значення.

При виникненні подібного роду невизначеностей, а саме вибору порядку розрахунку інформаційного напрямку, було запропоноване евристичне правило, що дозволяє усунути дану проблему.

А саме, при прогнозуванні втрат на гілках мережі коли в інформаційному напрямку невідома тільки одна гілка, то необхідно для всіх ще не розрахованих ІН провести повторну перевірку вимог до середніх втрат на гілках (тільки по не розрахованих ІН на поточному розрахунку гілках). Тобто провести повторний розрахунок середніх втрат на гілках та ранжування відповідно до критерію мінімальних втрат.

Для даного прикладу результат такого повторного ранжирування приведений в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. – проміжні результати повторного розрахунку згідно етапу 2

Старе ранж.	Нове ранж.	ІН g_{sd}	$p_{g_{sd}}^{norm}$	Матриця шляхів передачі $\ \mu_{g_{sd}}^v\ $	$p_{m_{avar}}$ (для невідомих ліній)
1	2	3	4	5	6
8	12	7-1	0,005	74-41 / 75-52-21	0,049958 (75)
9	18	4-3	0,002	43 / 41-13	всі відомі
10	8	4-5	0,002	45 / 47-75	0,033219 (45, 75)
11	11	4-7	0,002	47 / 45-57	0,04877 (45)
12	19	5-4	0,002	54 / 57-74	всі відомі
13	9	7-5	0,002	75 / 74-45	0,033855 (45, 75)
14	13	6-2	0,010	63-31-12 / 67-75-52	0,051115 (31, 75)
15	20	2-4	0,005	21-14 / 25-54	всі відомі
16	15	1-2	0,004	12 / 14-45-52	0,1056 (45)
17	10	3-5	0,008	31 -45 / 36-67-75	0,044524 (31, 45, 75)
18	16	2-5	0,005	25 / 21-14-45	0,12085 (45)
19	17	6-7	0,005	67 / 63-34-47	0,1461 (34)
20	21	2-3	0,010	21-13 / 25-54-43	всі відомі
21	22	2-7	0,010	25-57 / 21-14-47	всі відомі
22	14	3-2	0,010	31-12 / 34-45-52	0,053604 (31, 34, 45)

Інформаційні напрямки в таблиці 4.4 обмежені 22, оскільки до цього кроку розрахунку значення втрат на всіх гілках будуть вже відомі. В результаті аналізу напрямків 4-5 і 7-5 будуть визначені значення втрат на гілках:

$$p_{m_{45}} = p_{m_{75}} = 0,0332.$$

У інформаційному напрямку g_{35} знову виникає ситуація коли невідомо значення втрат тільки однієї гілки. Оскільки далі ще є напрямки з великим числом невідомих гілок, то знову проводимо повторне ранжирування інформаційних напрямів від 10 і далі з урахуванням вже відомих значень втрат на гілках. Результат зводимо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5. – результати повторного ранжування згідно етапу 2

Старе ранж.	Нове ранж.	ІН g_{sd}	$p_{g_{sd}}^{norm}$	Матриця шляхів передачі $\ \mu_{g_{sd}}^v\ $	$p_{m_{avar}}$ (для невідомих ліній)
1	2	3	4	5	6
10	11	3-5	0,008	31 -45 / 36-67-75	0,06766 (31)
11	14	4-7	0,002	47 / 45-57	всі відомі
12	15	7-1	0,005	74-41 / 75-52-21	всі відомі
13	12	6-2	0,01	63-31-12 / 67-75-52	0,0727 (31)
14	10	3-2	0,010	31-12 / 34-45-52	0,061475 (31, 34)
15	13	6-7	0,005	67 / 63-34-47	0,1461 (34)
16	16	1-2	0,004	12 / 14-45-52	всі відомі
17	17	2-5	0,005	25 / 21-14-45	всі відомі

В результаті аналізу напрямку 3-2 будуть визначені значення втрат на гілках: $p_{m_{31}} = p_{m_{34}} = 0,0614$.

Значення якості обслуговування набуто для всіх гілок ЕКМ. Тобто пронормовані всі двадцять гілок мережі:

$$p_{m_{25}} = p_{m_{57}} = p_{m_{76}} = p_{m_{21}} = p_{m_{13}} = p_{m_{36}} = 0,024;$$

$$p_{m_{52}} = p_{m_{54}} = p_{m_{41}} = p_{m_{12}} = p_{m_{63}} = p_{m_{67}} = p_{m_{74}} = p_{m_{43}} = 0,026;$$

$$p_{m_{14}} = p_{m_{47}} = 0,0279 ;$$

$$p_{m_{45}} = p_{m_{75}} = 0,0332 ;$$

$$p_{m_{31}} = p_{m_{34}} = 0,0614.$$

Розрахунок закінчено, тобто всі значення втрат на гілках транспортної мережі ВП пронормовано.

Новизна методу полягає в тому, що на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження, за найкоротшими та незалежними шляхами передачі для кожного інформаційного напрямку, в залежності від рівня навантаженості та коефіцієнту використання ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів.

Метод дозволяє провести визначення достатнього мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі при використанні обхідних шляхів передачі із технологією віртуальних каналів або тунелів для обслуговування трафіку реального часу із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) по всім інформаційним напрямкам мережі. А саме, методика дозволяє визначити достатній мережевий ресурс в гілках ЕКМ, який забезпечить нормовану якість обслуговування трафіка реального часу в інформаційних напрямках за рахунок використання не менше двох незалежних шляхів передачі з урахуванням завантаженості гілок мережі в процесі формування плану розподілу навантаження.

Виграш за показником якості обслуговування в інформаційному напрямку складає 35 %; виграш за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; виграш за показником пропускної спроможності 19 – 20 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

Висновки до розділу 4

Одне з достатньо складних завдань синтезу ЕКМ – визначення достатнього мережевого ресурсу гілок мережі, що забезпечують обслуговування вхідного навантаження із заданою якістю обслуговування. Існуючі методи рішення задач синтезу електронних комунікаційних мереж дозволяють проводити розрахунки для більшості типів мереж із стандартним набором початкових даних. Проте, при проектуванні електронних комунікаційних мереж із великим числом інформаційних напрямків, що мають декілька рівнозначних за числом транзитів найкоротших шляхів передачі інформації, мають місце невизначеності. А саме, на етапі нормування якості обслуговування на гілках мережі, необхідно визначити черговість розрахунку інформаційних напрямків. Ці невизначеності можуть привести до вибору помилкового порядку вирішення задачі. При цьому помилка, як правило, виявляється тільки на кінцевому етапі розрахунку. Це призводить до збільшення часу розрахунку і непродуктивного використання обчислювальних ресурсів.

У даній роботі пропонується модифікація методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу. Запропонована модифікація на основі евристичних правил дозволяє усунути невизначеності в ході рішення задачі нормування якості обслуговування на гілках мережі. Окрім цього удосконалений метод дозволяє підвищити швидкість і точність рішення такого роду завдань.

Удосконалений метод визначає необхідні показники якості обслуговування трафіка реального часу в гілках ЕКМ та обґрунтовує достатній мережевий ресурс гілок мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, а також формує план розподілу навантаження, що забезпечує дотримання граничних нормованих показників (QoS) трафіка реального часу в інформаційних напрямках.

Новизна методу полягає в тому, що на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження, за найкоротшими та незалежними шляхами передачі для кожного інформаційного напрямку, в залежності від рівня навантаженості та коефіцієнту використання ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ ГЕТЕРОГЕННОЇ ЕКМ

В даному розділі розроблено науково-методологічний апарат, що дозволяє обґрунтувати вимоги до елементів системи сигналізації згідно концепції IMS та системи моніторингу складної гетерогенної ЕКМ. Проведено аналіз особливостей роботи протоколів Voice over IP для різних систем сигналізації при обслуговуванні трафіку реального часу та шляхи їх інтеграції згідно вимог концепції IMS. Проаналізовано архітектуру ядра IMS, склад та взаємодію основних елементів при обслуговуванні трафіка реального часу, а також інтерфейси їх взаємодії.

Також в даному розділі представлено розроблений метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі та модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

5.1. Аналіз стеку протоколів VoIP при обслуговуванні трафіку реального часу та шляхи їх інтеграції в ядро IMS

Відповідно до сучасних технологій Voice Over IP (VoIP) та концепції побудови системи управління IMS сигнальний трафік та медіа-потіки відокремлені між собою. Тобто, медіа-потіки циркулюють на рівні транспортної мережі, а обробка сигналізації та управління винесені на вищі рівні [93 – 96]. При чому, функціональні блоки управління можуть бути територіально рознесені. Необхідно відміти, що існуючі системи сигналізації різнотипні та працюють на різних протоколах сигналізації в процесі управління трафіком реального часу.

У зв'язку з цим, необхідно враховувати технологічні рішення VoIP-мереж, які були розгорнуті раніше та успішно використовуються різними виробниками мережевого обладнання. А саме, це VoIP-мережі на основі [97 – 100]:

- стеку протоколів H.323;
- мережі на основі SIP протоколу;
- мережі на основі MGCP;
- та мережі H.248/MEGACO.

Розглянемо кожен технологію більш детально.

Структура *мережі H.323* (рис. 5.1) складається з чотирьох основних функціональних компонентів [101 – 102].

Призначення елементів мережі:

1. Термінал (Terminal H.323) – абонентський пристрій, який здатний забезпечувати зв'язок (голосове, відео та і т. д.) з іншими терміналами, шлюзами або пристроями багатокористувацьких конференцій.

2. Шлюз (Gateway H.323) – центральний елемент сьогоденної VoIP. Даний пристрій забезпечує взаємодію елементів телефонної мережі загального користування із IP-мережею. При цьому надана підтримка різних протоколів та інтерфейсів мережевих елементів обох типів.

3. Контролер зони H.323 (Gatekeeper H.323) – керуючий елемент, „інтелект” мережі H.323. Він забезпечує її масштабування, централізацію функцій управління та налаштувань, а також передачу телефонних префіксів та ідентифікаторів (H.323 ID) в IP-адреси шлюзів або терміналів H.323. Крім того, Gatekeeper H.323 відповідає за управління доступом (контролю доступом) при реєстрації шлюзів і терміналів, авторизації дзвінків, керуванням пропускнуою спроможністю та маршрутизацією викликів. Gatekeeper управляє підпорядкованою йому частиною мережі (зони) через RAS – протокол взаємодії кінцевого обладнання (або шлюза) із Gatekeeper. Передбачено об'єднання Gatekeepers у групи, керувати якими можна за допомогою виділеного контролера зони H.323 – Directory Gatekeeper.

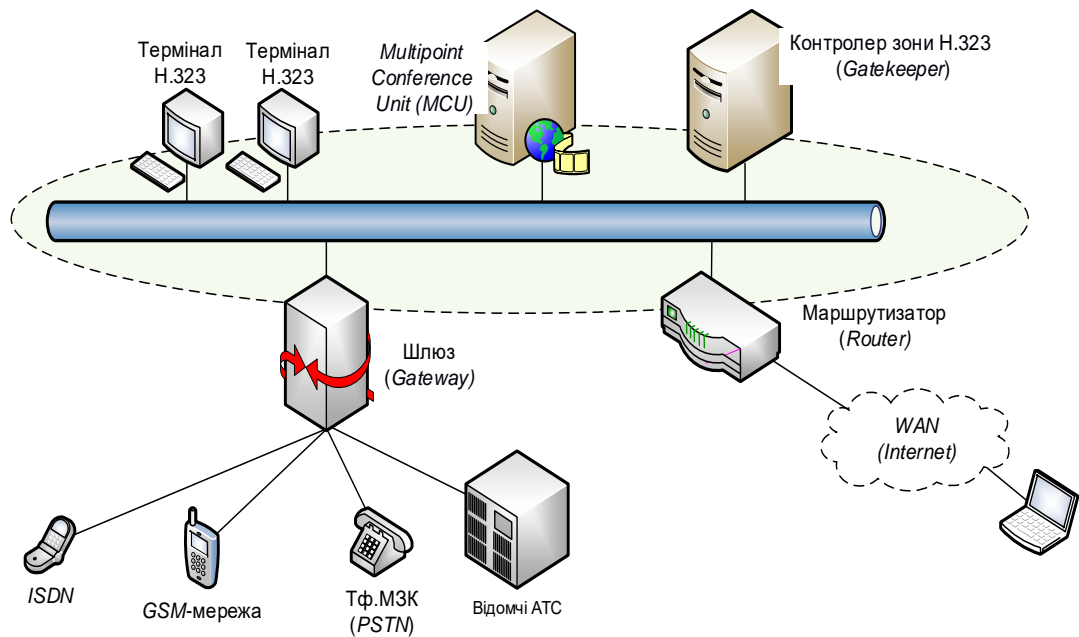


Рис. 5.1. Архітектура мережі H.323

4. Пристрій багатокористувацьких конференцій (H.323 Multipoint Conference Unit, MCU) – управляє проведенням багатокористувацьких конференцій, узгоджує параметри з'єднання всіх учасників в режимі централізованої, децентралізованої або комбінованої конференції. Можливо переключення або змішування медіа-потоків.

В найбільш загальній формі сценарій з'єднання по протоколу H.323 виглядає, як послідовність наступних кроків (рис. 5.2).

Спочатку для встановлення зв'язку термінал знаходить доступний Gatekeeper і реєструється на ньому за протоколом RAS. Потім відбувається встановлення сигнального каналу по протоколам RAS і H.225. На наступному етапі виконується узгодження параметрів обладнання, обміну інформацією про його функціональні можливості та відкриття логічних каналів за протоколом H.245. Тільки після цього відбувається передача медіа-трафіку за протоколами RTP / RTCP, а по закінченню – завершення з'єднання в оберненому порядку.

В свою чергу, основними протоколами, які використовуються VoIP мережами для передачі корисних даних трафіку реального часу, є: Transport Protocol for Real-Time (RTP) та RTP Control Protocol (RTCP).

Протокол RTP призначений для доставки даних в реальному масштабі часу (наприклад, аудіо- або відео). При цьому визначається тип поля даних, проводиться нумерація посилок, привласнення тимчасових міток і моніторинг доставки. Слід мати на увазі, що сам по собі RTP не забезпечує своєчасної доставки і не надає будь-яких гарантій рівня сервісу (QoS). Цей протокол не може гарантувати також коректного порядку доставки даних. На практиці протокол RTP використовується спільно з протоколом RTCP. RTCP служить для моніторингу QoS і передачі інформації про учасників обміну в ході сесії.

H.323 є історично першим та найбільш поширеним в даний час набором рекомендацій, що був введений Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ).

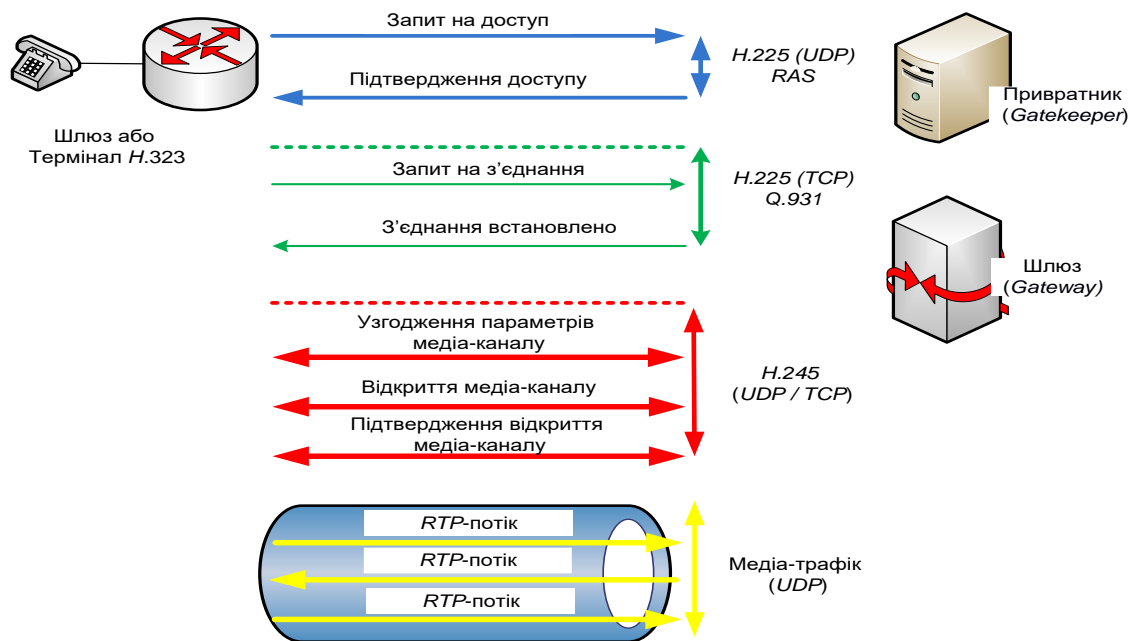


Рис. 5.2. Сценарій з'єднання по протоколу H.323.

Протокол *Session Initiation Protocol (SIP)* – наступний після H.323 по розповсюдженості протоколів VoIP [103 – 105]. Представлений в рекомендаціях RFC 2543. SIP регламентує встановлення і завершення мультимедійних сесій, а також сеансів зв'язку по обміну відео-матеріалами та текстом, сумісною роботою над додатками і.т.д. SIP розроблявся по аналогії HTTP і SMTP (клієнт-серверний протокол). Робота складається із послідовності запитів та

відповідей на них. Всі SIP-заголовки передаються в форматі ASCII-тексту. SIP дозволяє використовувати логічне адресацію (URL) на базі протоколу TCP або UDP (наприклад: sip:igor@comptek.ua).

Для реалізації додаткових можливостей SIP використовує:

Session Description Protocol (SDP, RFC 2327) протокол узгодження параметрів сеансу зв'язку (види кодеків, номери UDP-портів і т. д.). SDP забезпечує зміну параметрів сеансу зв'язку „на ходу”, під час сеансу. Перенос повідомлень SDP базується на протоколі оголошення сесії Session Announcement Protocol (SAP, RFC 2974).

SIP for Instant Messaging and Presence Levering Extension (SIMPLE) – розширення SIP для надання інформації про події (presence) і для розсилання „миттєвих” повідомлень (instant messaging).

Також необхідно відмітити що:

SIP-T (Trunk) – протокол переносу повідомлень SS7 (ЗКС 7) між контролерами сигналізації;

Signaling Transport (SIGTRAN) – протокол перенесення повідомлень сигналів SS7 через IP-мережу.

Архітектура SIP (рис. 5.3) складається з наступних компонентів:

1. Клієнт SIP User Agent (SIP) – може бути представлений як програмно-апаратним пристроєм (IP-телефон, шлюз або інший термінал користувача), так і програмним додатком для ПК, планшету і т. д. Як правило, SIP-клієнт містить клієнтську User Agent Client (UAC) та серверну частину User Agent Server (UAS). Основні функції даного компоненту – ініціювання та завершення викликів.

2. Проксі-сервер SIP – управляє маршрутизацією викликів і роботою додатків. Проксі-сервер SIP не може ініціювати або термінувати виклики.

3. Redirect-сервер SIP – перенаправляє дзвінки відповідно до заданих умов.

4. Сервер реєстрації SIP (registrar/location) – здійснює реєстрацію користувачів та веде базу відповідності імен користувачів їх адресам, номерам телефонів тощо.

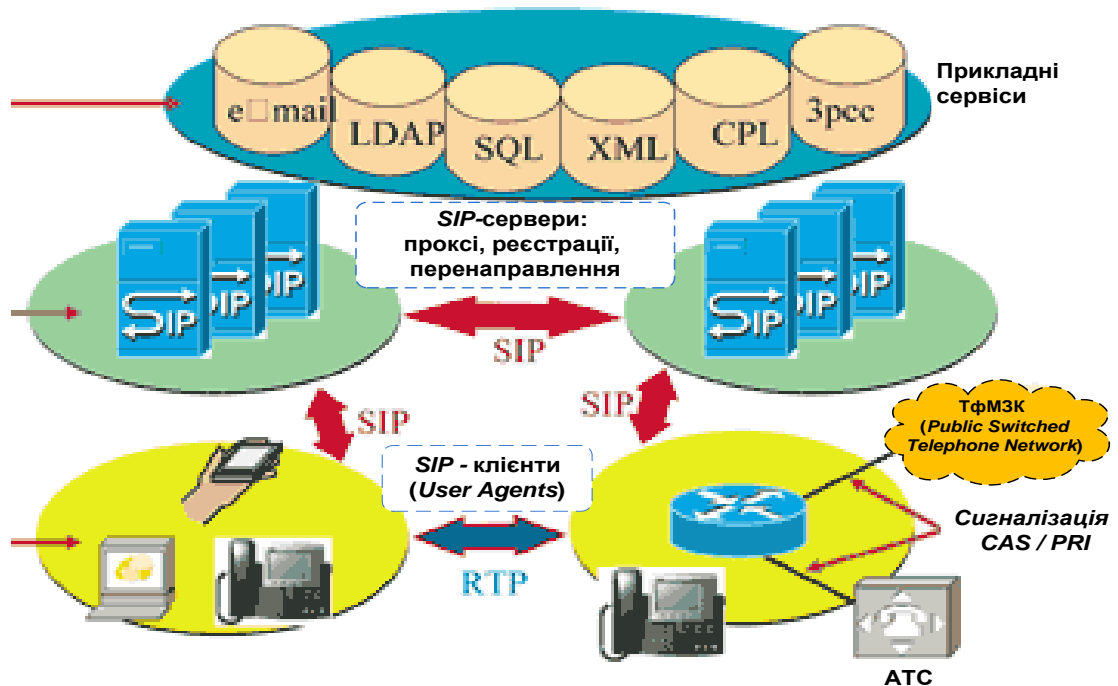


Рис. 5.3. Архітектура мережі SIP

Ще один важливий компонент реальних SIP-мереж, хоча він формально не входить в SIP-архітектуру, це – Back-to-Back User Agent (B2BUA). B2BUA своєрідний сервер, який представляє собою два з'єднаних між собою SIP-клієнта і тому здатний ініціювати та завершувати виклики.

В найбільш в загальній формі сценарій підключення по протоколу SIP, із участю проксі-сервера, показаний на рисунку 5.4.

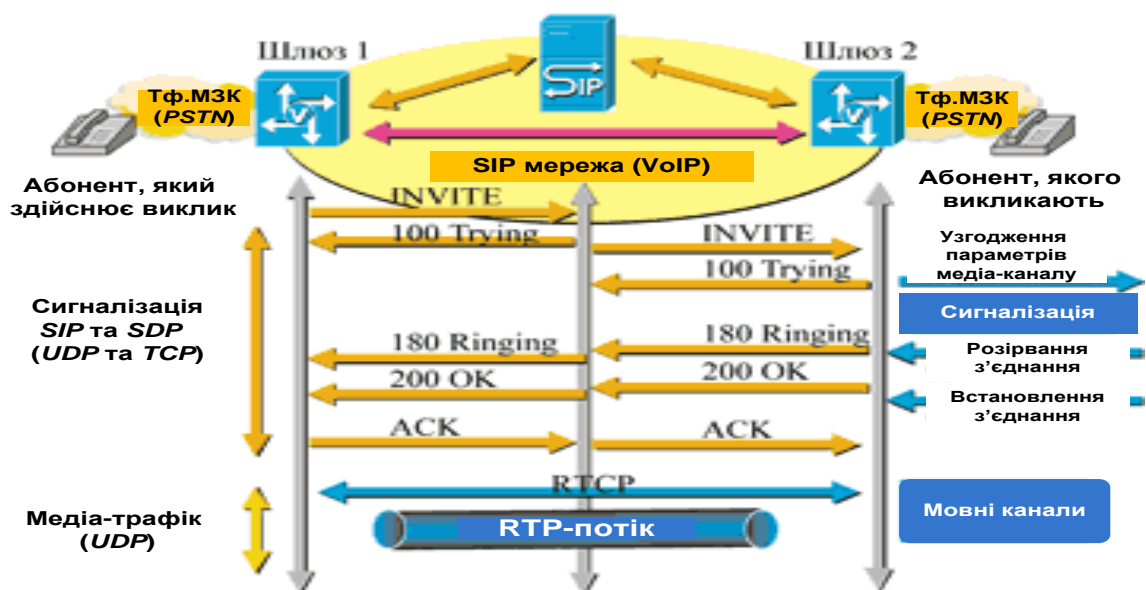


Рис. 5.4. Сценарій з'єднання по протоколу SIP

Абонент надсилає на проксі-сервер запит на підключення, використовуючи повідомлення INVITE (запрошення на обслуговування). Проксі-сервер повертає повідомлення Trying і передає повідомлення INVITE абоненту, якого викликають. У випадку доступності терміналу абонента, якого викликають сторона відповідає повідомленням Ringing, яке проксі-сервер пересилає стороні що здійснює виклик. Після того, як абонент до якого здійснювався дзвінок знімає трубку, стороні виклику відправляється повідомлення OK, яке транслюється проксі-сервером. Абоненту до якого здійснювався дзвінок повертається підтвердження повідомлення ACK. З цього моменту зв'язок вважається встановленою і починається обмін медіа-трафіком за протоколами RTP / RTCP. Сторона, яка бажає завершити з'єднання, відправляє повідомлення BYE, і після отримання повідомлення-підтвердження OK з'єднання розривається. Цей сценарій дуже простий, у нього не беруть участь ніякі інші сервери (Redirection, Registrar, Location), але він дає представлення про схему взаємодії основних функціональних елементів SIP-мережі.

Протокол *Media Gateway Control Protocol (MGCP)* запропоновано робочою групою MEGACO комітету IETF. Основна ідея MGCP полягає в тому, що керування сигналізацією концентрується в центральному керуючому пристрої і повністю відокремлено від управління медіа-потокami. Ці потоки обробляються шлюзом або абонентськими терміналами, які виконують команди, що надходять від керуючого пристрою [106, 107]. В архітектурі протоколу MGCP-мережі можна виділити два основних функціональних компоненти:

1. Транспортний шлюз (Media Gateway, MG) або IP-телефон – який виконує функції перетворення мовної інформації, що надходить з боку телефонної мережі загального користування (ТМЗК/PSTN) з постійною швидкістю, у формат придатний для передачі по IP-мережам: кодування та упакування мовної інформації в пакети RTP / UDP / IP, а також зворотне перетворення.

2. Пристрій управління викликами: може називатись контролером сигналізації (Call Agent, CA); контролером шлюзу (Media Gateway Controller, MGC); або програмно-апаратним контролером (Softswitch, SS).

Іноді контролер сигналізації представляє у вигляді двох компонентів: власний контролер (Call Agent), що виконує функції управління шлюзами; шлюз сигналізації (Signaling Gateway), який забезпечує доставку сигнальної інформації, що надходить зі сторони ТМЗК, до пристрою керування шлюзом і перенесення сигнальної інформації в зворотному напрямку. На рисунку 5.5 показана архітектура та основні компоненти мережі MGCP.

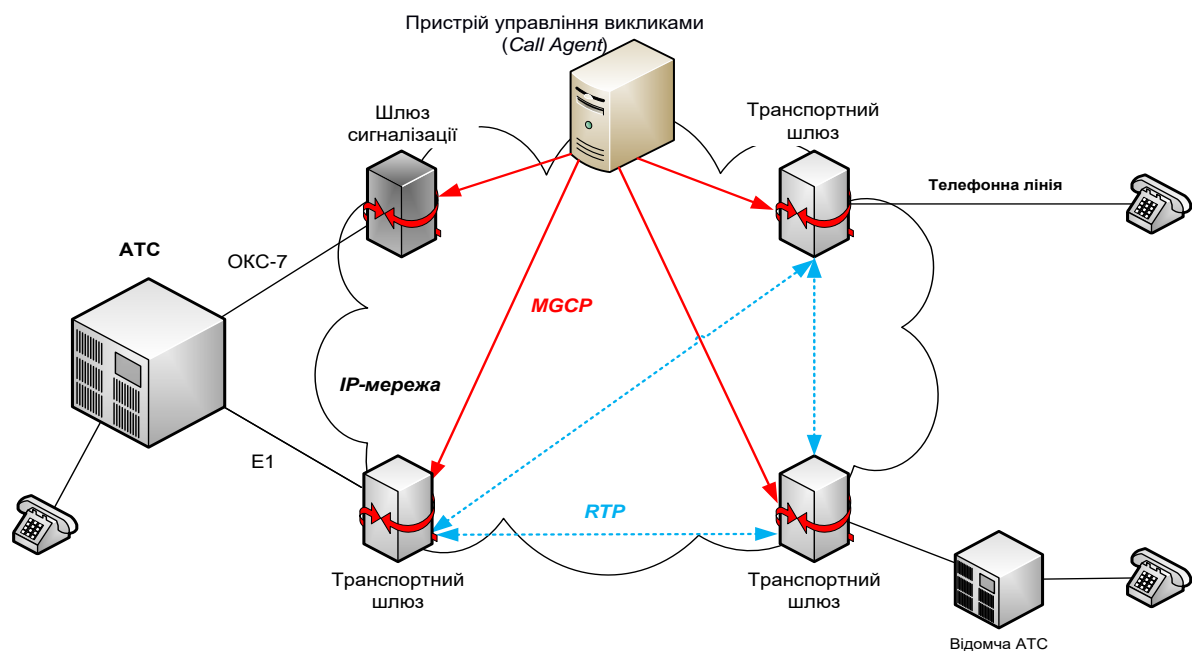


Рис. 5.5. Архітектура мережі MGCP

Функціональне призначення кожного шлюзу визначається набором команд, які він „розуміє”. Маніпулюючи наборами команд, можна реалізувати спеціалізовані шлюзи:

транкінговий (Trunking Gateway, TGW) – шлюз між ТМЗК і IP-мережами, орієнтований на обмін мовними повідомленнями;

Voice over ATM Gateway – шлюз між ТМЗК/PSTN та АТМ-мережею, який також підключається до телефонної мережі із використанням великої кількості цифрових трактів;

абонентський (Residential Gateways, RGW) – шлюз, що підключає до IP-мереж аналогові, кабельні модеми, лінії xDSL та широкополосні пристрої бездротового доступу;

шлюз доступу (Access Gateway, AGW) – шлюз підключення до мережі IP-телефонії відомчої АТС через аналоговий або цифровий інтерфейс;

Business Gateway – шлюз підключення до мережі IP-телефонії відомчої АТС через цифровий інтерфейс;

Network Access Server – сервер доступу до IP-мережі для передачі даних.

Контролер сигналізації СА сприймає мережу як набір двох логічних елементів – пристроїв (endpoints) і з'єднань (connections) між ними. Пристрої можуть бути фізичними (наприклад: IP-телефони, або лінії на шлюзах) або віртуальними (наприклад, номери програмних портів серверів голосових повідомлень). З'єднання можуть бути орієнтовані на передачу голосу або даних. Управління елементами та організація зв'язків між пристроями здійснюється шляхом посилки команд у вигляді текстових (ASCII) повідомлень за протоколом UDP – при цьому може використовуватися протокол SDP.

Найпростіший сценарій встановлення з'єднання в MGCP-мережі. Користувач телефону, який підключений до MGCP-шлюзу, знімає трубку. Шлюз повідомляє контролера (Call Agent) про цю подію. Call Agent дає команду шлюзу включити в телефонну лінію сигнал готовності (dial-ton). Тепер користувач чує в трубку безперервний гудок. Далі відбувається набір телефонного номера, що являється також послідовністю подій для контролера. Аналізуючи ці події, Call Agent встановлює зв'язок з іншим абонентом в IP-мережі або телефонній мережі.

Протокол *MEGACO/H.248* звичайно є подальшим еволюційним розвитком протоколу MGCP, якому притаманні основні концептуальні властивості його попередника [108, 109]. А саме, в основу протоколу MEGACO/H.248 входить

принцип декомпозиції функцій шлюзу. Тобто шлюз розділяється на окремі функціональні блоки (транспортний шлюз, MG; шлюз сигналізації, SG; пристрій управління шлюзом „контролер”, MGC).

Необхідно відмітити, що весь „інтелект” архітектури знаходиться в пристрої керування шлюзом MGC. Один контролер може управляти одночасно кількома транспортними шлюзами рисунок 5.6.

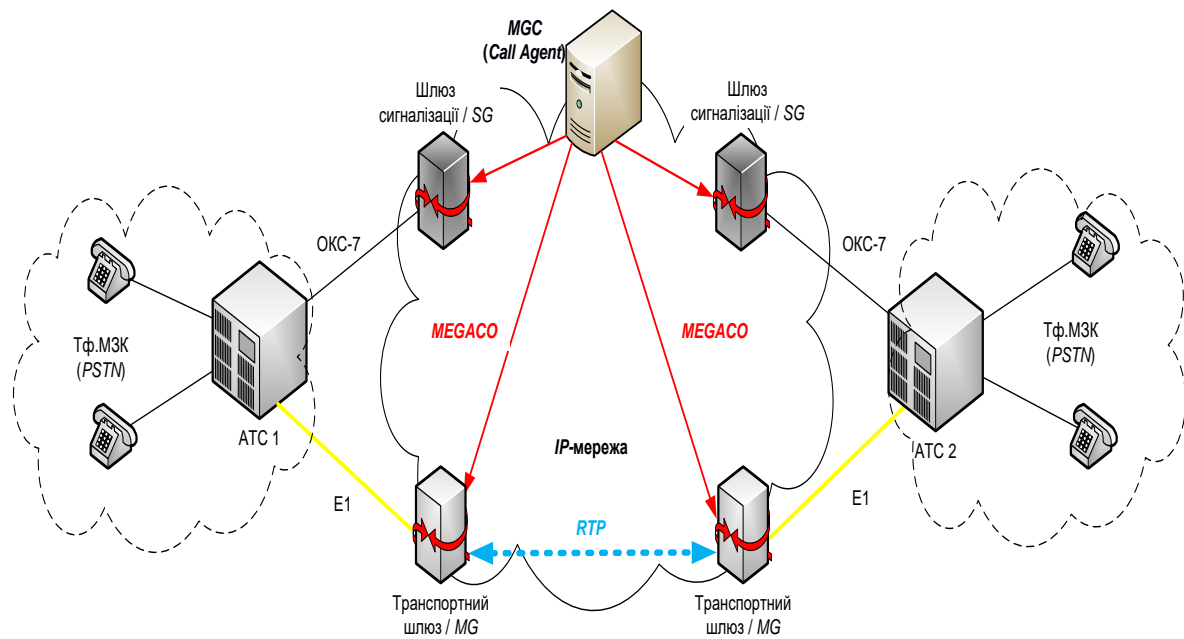


Рис. 5.6. Архітектура мережі із використанням протоколу MEGACO

Однак, залежно від масштабів (або розширення) мережі, тобто може використовуватись одночасно декілька MGC, для нормальної роботи всієї мережі необхідно організувати узгодження дій цих контролерів. Для цього можна використовувати, наприклад, протоколи H.323, SIP, ISUP / IP.

Не виключається варіант, коли розподілений шлюз може підключатися до телефонної мережі за допомогою виділених сигнальних каналів. У такому випадку інформація користувача разом з сигналізацією надходить в транспортний шлюз, який передає потрібні відомості на пристрій управління. Цей підхід цікавий тим, що в процесі обслуговування виклику не використовується шлюз сигналізації.

Для переносу сигнальних повідомлень MEGACO/H.248 можуть використовуватися наступні транспортні протоколи: UDP, TCP, Stream Control Transport Protocol (SCTP), а також технологія ATM. Підтримка протоколу UDP є обов'язковою вимогою для контролера шлюзів MGC. Протокол TCP повинен підтримуватись, як контролером, так і шлюзом. Підтримка протоколу SCTP і технологій ATM для обох пристроїв необов'язкова. Повідомлення протоколу MEGACO/H.248 можуть кодуватися двома способами. Комітет IETF запропонував текстовий спосіб кодування сигнальної інформації, а для опису сеансів зв'язку – протокол SDP. MCE-T передбачив спосіб подання сигнальної інформації засобами абстрактної синтезу – ASN.1, а для опису сеансів зв'язку рекомендує спеціальний інструмент „Tag - length - value” (TLV). Контролер MGC повинен підтримувати два способи кодування, а шлюз MG – один із них.

Протокол MEGACO є „внутрішнім” протоколом, який працює між функціональними блоками розподіленого шлюзу, а саме, між MGC і MG. Принцип дії цього протоколу – master/slave, тобто головний / підлеглий. Пристрій управління MGC являється головним, а транспортний шлюз MG – підлеглим, який виконує команди, що надходять від „головного” контролера.

Архітектура системи управління трафіком реального часу на базі концепції IMS

Рішення проблеми конвергенції електронних комунікаційних мереж різних технологій, забезпечення їх сумісності на рівні управління, сигналізації і транспортних потоків пов'язано з приведенням мереж у відповідність до вимог архітектури IP Multimedia Subsystem [110 – 112]. IMS – це концепція переходу до мереж „all-IP” для обслуговування мультимедійного трафіку. Принцип, на якому будується архітектура IMS, полягає в тому, щоб надання будь-якої послуги не залежало від комунікаційного середовища. За винятком обмежень, що накладаються вимогам до пропускної спроможності і якості обслуговування.

При переході до мереж „all-IP” найбільш складними є два завдання:

1. Забезпечення взаємодії сучасних мереж і мереж старого парку на рівні сигналізації. А це, як правило, забезпечення взаємодії сигналізації ЗКС 7 та протоколу SIP.

2. Забезпечення взаємодії мереж з комутацією цифрових каналів і мереж з комутацією пакетів. А це, як правило, забезпечення взаємодії трафіку реального часу цифрових потоків E1 з пакетними даними протоколу IP.

Аналіз останніх публікацій показав [113, 114], що при вирішенні цих завдань необхідно забезпечити виконання вимог щодо пропускнуої здатності телекомунікаційної складової ядра архітектури IMS, як для обслуговування сигнального трафіку, так і для обслуговування трафіку реального часу, які створюються користувачами мережі. Однак, запропоновані підходи не в повній мірі враховують специфіку роботи мережевих протоколів при організації наскрізних з'єднань через конвергентні мережі та їх вплив на основні функціональні елементи ядра телекомунікаційної складової архітектури IMS.

Тому завдання, яке виклинає на даному етапі дослідження є визначення переліку основних функціональних елементів, які беруть участь в процесі вирішення завдань управління та розробка методу, що дозволяє розрахувати обсяг вхідного трафіку від різнорідних мереж та його величину після перетворення до стандартного вигляду відповідно до вимог архітектури IMS.

Розглянемо принципи побудови, архітектуру та основні компоненти IMS згідно існуючих стандартів [115].

У складі IP Multimedia Subsystem виділяється три рівні: транспортний рівень, рівень управління та рівень послуг (рис. 5.7).

На транспортному рівні вирішуються такі основні завдання:

1. Забезпечення доступу користувачів до транспортної мережі.
2. Створення середовища передачі сигналів.
3. Формування каналів і трактів для передавання інформації.
4. Комутація і розподіл інформації.

Для вирішення цих завдань на транспортному рівні є наступні основні елементи: Media Gate Way (MGW); Interconnect Border Gateway Function (I-BGF);

Gateway GPRS Support Node (GGSN); Radio Access Network (RAN); Packet Data Gateway (PDG); Wireless Access Gateway (WAG); A-BGF / BAS; DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer).

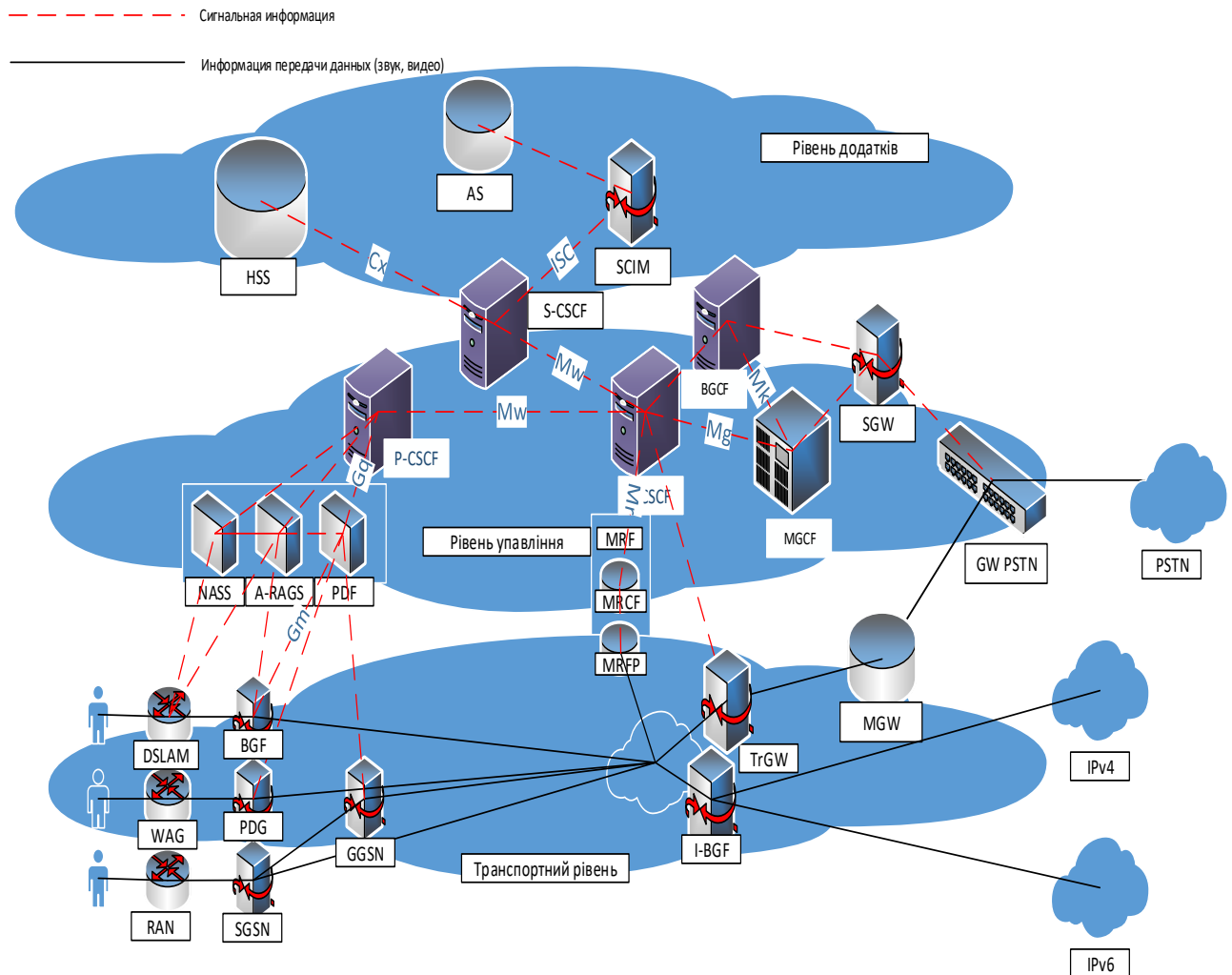


Рис. 5.7. Архітектура IP Multimedia Subsystem

Розглянемо призначення і функції основних елементів [116]:

1. Media GateWay (MGW) – транспортний шлюз який призначений для перетворення потоків E1-E4 мереж з комутацією каналів (PSTN) в потоки RTP пакетів IP мереж і навпаки.

2. Interconnect Border Gateway Function (I-BGF) – прикордонний шлюз, що забезпечує взаємодію мереж IPv4 і IPv6.

3. Radio Access Network (RAN) – обладнання мережі радіодоступу. Забезпечує взаємодію мобільних абонентів зі стаціонарним компонентом стільникових мереж;

4. Gateway GPRS Support Node (GGSN) – шлюз взаємодії мереж бездротового доступу з архітектурою IMS. Забезпечує узгодження параметрів з'єднання мобільних користувачів з архітектурою IMS, як по сигналізації, так і по транспортному потоку.

3. Wireless Access Gateway (WAG) – шлюз (точка) бездротового доступу. Забезпечує доступ призначеного для користувача устаткування WIFI до стаціонарної мережі.

4. Packet Data Gateway (PDG) – пакетний шлюз. Забезпечує взаємодію устаткування бездротового доступу WIFI з пакетною мережею.

5. Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) – обладнання широкопasmового доступу. Призначено для з'єднання абонентського обладнання провайдерів послуг Інтернет і IPTV.

6. BGF – шлюз, що забезпечує узгодження мереж широкопasmового доступу з обладнанням архітектури IMS по сигналізації і виду транспортного потоку.

7. TrGW – забезпечує узгодження домену комутації каналів (PSTN) і мережею IMS по системі викликів.

8. Media Resource Function (MRF) – джерело медіаінформації у власній мережі, що дозволяє відтворювати різні оголошення, змішувати медіапотоки, транскодувати бітові потоки кодеків, отримувати статистичні дані та аналізувати медіаінформацію. Функція MRF ділиться на дві частини: Media Resource Function Controller (MRFC) і Media Resource Function Processor (MRFP). MRFC знаходиться на сигнальному рівні і взаємодіє з S-CSCF по протоколу SIP. Використовуючи отримані інструкції, MRFC управляє по протоколу Megaco / H.248 процесором MRFP, що знаходиться на рівні передачі даних, а той виконує всі маніпуляції з медіа-інформацією.

На рівні управління вирішуються завдання щодо узгодження мереж сигналізації, розподілу інформації та організації взаємодії електронних комунікаційних мереж з різними технологіями [117]. Він забезпечує вирішення таких основних завдань:

1. Використання в якості основного протоколу сигналізації протоколу SIP.
2. Приведення мереж різних технологій до єдиного транспортного протоколу IP.
3. Використання єдиного сценарію обслуговування користувачів, як в стаціонарних, так і мобільних мережах.
4. Створення профілю користувачів в домашній базі даних Home Subscriber Server (HSS) і імпортування цих даних в гостьові бази при переміщенні абонентів інші домени.
5. Створення єдиних принципів авторизації, ідентифікації і тарифікації для мереж різних технологій.
6. Забезпечення доступу до будь-якого сервісу, незалежно від його місця знаходження.

Для вирішення цих завдань на рівні управління є наступні основні елементи: Call Session Control Function (CSCF), Proxy Call Session Control Function (P-CSCF), Interrogating CSCF (I-CSCF), Serving-CSCF (S-CSCF), Breakout Gateway Control Function (BGCF), Media Gateways Control Function (MGCF), Signaling Gateway (SGW), The Resource and Access Control (RACS), Policy Decision Function (PDF), Network Attachment Subsystem (NASS).

Розглянемо призначення і функції основних елементів рівня управління.

Блок функцій Call Session Control Function (CSCF) здійснює виконання завдань управління в архітектурі IMS. Ці завдання розподіляються між трьома функціональними блоками:

1. Перший функціональний блок – це Proxy-CSCF (P-CSCF). Він призначений для взаємодії з усіма видами терміналів кінцевих користувачів, створення і запису профілю користувачів в домашній базі даних HSS.

2. Другий функціональний блок – це Interrogating CSCF (I-CSCF). Він призначений для взаємодії з іншими доменами IMS. Наприклад, однією з його основних завдань є визначення місця розташування абонента, якщо його HSS знаходиться в іншому домені IMS.

3. Третій функціональний блок – це Serving-CSCF (S-CSCF). Він призначений для обробки всіх сигнальних SIP-повідомлень, а також для забезпечення доступу абонентів до серверів додатків відповідно до профілю обслуговування, який міститься в домашньому сервері абонента HSS.

Ці три функціональних блоки P-CSCF, I-CSCF, S-CSCF працюють спільно при обслуговуванні кожної запиту, що надходить на обслуговування.

Інші елементи вирішують наступні часткові задачі:

Home Subscriber Server (HSS) сервер домашньої бази даних, призначений для зберігання інформації про профілі користувачів;

Breakout Gateway Control Function (BGCF) – цей елемент є шлюзом взаємодії з пересилання викликів між доменом комутації каналів і архітектурою IMS;

Media Gateways Control Function (MGCF) – це елемент управління медіа шлюзами, який забезпечує взаємодію сигналізації SIP із сигналізацією H.248 / MEGACO;

Signaling Gateway (SGW) – сигнальний шлюз, який призначений для перетворення ЗКС-7 сигналізації PSTN в SIP – сигналізацію;

Resource and Access Control (RACS) – елемент, який реалізує функцію управління доступом і входом абонентів в архітектуру IMS;

Policy Decision Function (PDF) – елемент, який реалізує функцію відкриття сеансу зв'язку або заборони взаємодії між терміналами абонентів;

Network Attachment Subsystem (NASS) – підсистема динамічного призначення IP-адрес.

Рівень додатків забезпечує надання різних послуг користувачам мережі. Послуги, як правило, розгорнуті на базі серверів. Суть процесу надання послуги

полягає в отриманні запиту від користувача на послугу і підключення його до необхідного сервера, який реалізує дану послугу.

Для вирішення цих завдань на рівні додатків є наступні основні елементи: Service Capability Interaction Manager (SCIM), SIP Application Server (SIP AS) і інші. Розглянемо призначення і функції основних елементів:

Service Capability Interaction Manager (SCIM) – елемент, що забезпечує взаємодію рівня додатків і ядра IMS;

SIP Application Server (SIP AS) – сервер додатків, що забезпечує надання послуг на базі протоколу SIP.

Передбачається, що всі нові види послуг в IMS будуть розміщуватися саме в сервері SIP AS.

Також розглянемо основні типи інтерфейсів. Для взаємодії елементів архітектури IMS, використовують наступну термінологію для опису інтерфейсів [118, 119]:

інтерфейс «Сх» забезпечує взаємодію домашньої бази даних HSS з SIP-сервером S-CSCF;

інтерфейс «Gm» забезпечує взаємодію VoIP-шлюзу з SIP-сервером P-CSCF;

інтерфейс «Gq» забезпечує взаємодію SIP-сервер P-CSCF з функцією вибору політики сеансу PDF;

інтерфейс «ISC» забезпечує взаємодію SIP-сервера S-CSCF з сервером додатків AS;

інтерфейс «Mg» забезпечує взаємодію SIP-сервера I-CSCF з функцією управління медіа шлюзами MGCF;

інтерфейс «Mj» забезпечує взаємодію функцією граничного шлюзу BGCF із функцією управління медіа шлюзами MGCF;

інтерфейс «Mk» забезпечує взаємодію з функцією управління шлюзами MGCF, BGCF із телефонною мережею з комутацією каналів в домені інший мережі IMS;

інтерфейс «Mp» забезпечує взаємодію контролера медіа сервера MRFC з процесором медіа сервера MRFP;

інтерфейс «Mr» забезпечує взаємодію SIP-сервера S-CSCF з MRFC;

інтерфейс «Mw» забезпечує взаємодію SIP-серверів P-CSCF, I-CSCF і S-CSCF;

інтерфейс «Ut» забезпечує взаємодію шлюзу доступу AGCF з сервером додатків AS.

Необхідно відмітити, що для автентифікації, авторизації та обліку в домені IMS використовуються протоколи DIAMETER і RADIUS. Протокол DIAMETER є покращеною версією протоколу RADIUS. Він забезпечує автентифікацію, авторизацію і облік (Authentication, Authorization and Accounting, AAA) в IMS і NGN. Також він забезпечує підключення і управління сесією, автентифікацію користувача, можливість ведення обліку сесій користувачів.

Для з'ясування особливостей міжмережевої взаємодії абонентів в гібридних мережах, розглянемо основні сценарії встановлення з'єднання при використанні сегментів мереж із різними технологіями, які інтегруються в IMS-домені.

На рисунку 5.8 представлено основні фази обміну сигнальними повідомленнями між абонентами мобільного зв'язку [120 – 122].

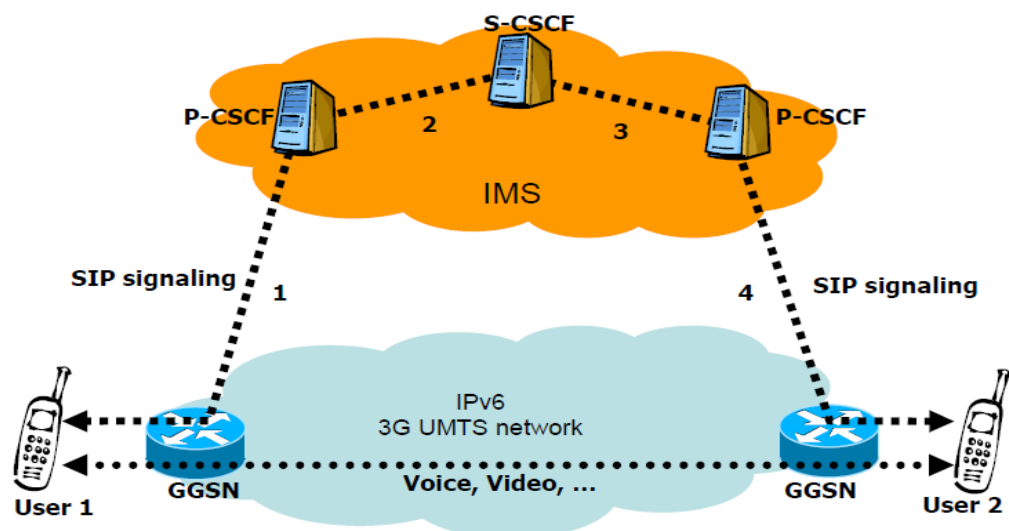


Рис. 5.8. Основний шлях SIP-сигналізації для безроумінгових абонентів в одному домені IMS

Отже, при встановленні з'єднання між абонентами використовується протокол сигналізації SIP. Контактними точками IMS для агентів SIP-користувачів (SIP-UA) є Proxies-CSCF (P-CSCF), а Serving-CSCF (S-CSCF) є SIP-сервером, який встановлює та контролює сеанси зв'язку. Необхідно відмітити, що у випадку, якщо абоненти належать до інших доменів IMS (або існує декілька Serving-CSCF в одному домені) для знаходження необхідного Serving-CSCF використовується ще один SIP-сервер для опитування Interrogating CSCF (I-CSCF). Для передачі голосових та відео- потоків в IP-мережах, звичайно, використовується протокол передачі трафіку реального часу (RTP) і протокол управління та контролю передачею трафіку реальному часу (RTCP).

В свою чергу GGSN (GPRS Gateway Service Node) є шлюз (маршрутизатор) між мережею (її частиною) для передачі даних GPRS і зовнішніми інформаційними магістралями пакетної передачі даних Packet Data Networks (PDNs): Internet, корпоративними мережами Intranet, іншими GPRS-системами. Отже основна задача GGSN – це маршрутизація даних між GPRS Core network і зовнішніми IP-мережами.

У випадку конвергенції фіксованих та мобільних мереж принцип обміну сигнальними повідомленнями та організація медіа-потоків показано на рисунку 5.9.

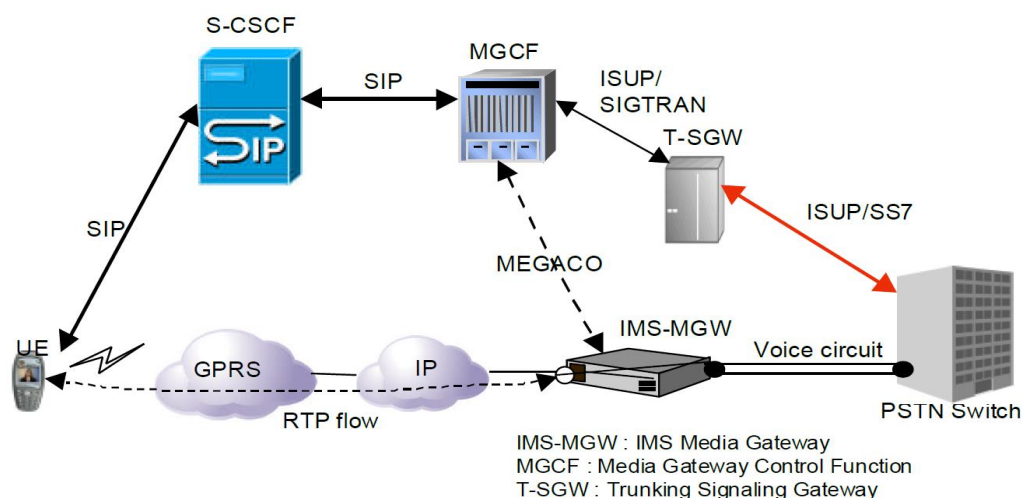


Рис. 5.9. Взаємодія між PSTN та IMS

На даному рисунку показано, що в процесі встановлення з'єднання окрім SIP використовуються наступні протоколи сигналізації: ISUP/SIGTRAN, ISUP/SS7 (ЗКС 7) та MEGACO. Це вказує на те, що необхідно враховувати перетворення повідомлень сигналізації та збільшення службового трафіку в мережі.

Тобто, сучасні різноманітні сегменти VoIP мереж використовують широкий спектр протоколів сигналізації, однак найбільш доцільно використовувати протокол SIP в якості базового для реалізації переходу „all IP сервіси” на всіх рівнях гетерогенної ЕКМ [123].

При проектуванні та розгортанні ядра IMS необхідно визначити необхідний мережевий ресурс (продуктивність мережевого обладнання), щодо обслуговування медіа-потоків та сигналізації. При вирішенні цих завдань необхідно враховувати порядок взаємодії пограничного різноманітного мережевого обладнання із функціональними блоками ядра IMS для різних сценаріїв встановлення з'єднання між клієнтами гетерогенних ЕКМ.

Звичайно, найбільш складні перетворення медіа-потоків та додаткова обробка сигналізації відбувається на границі конвергентної мережі та IMS-домену. На рисунку 5.10. представлена узагальнена структура ядра IMS при її взаємодії із різноманітними VoIP мережами.

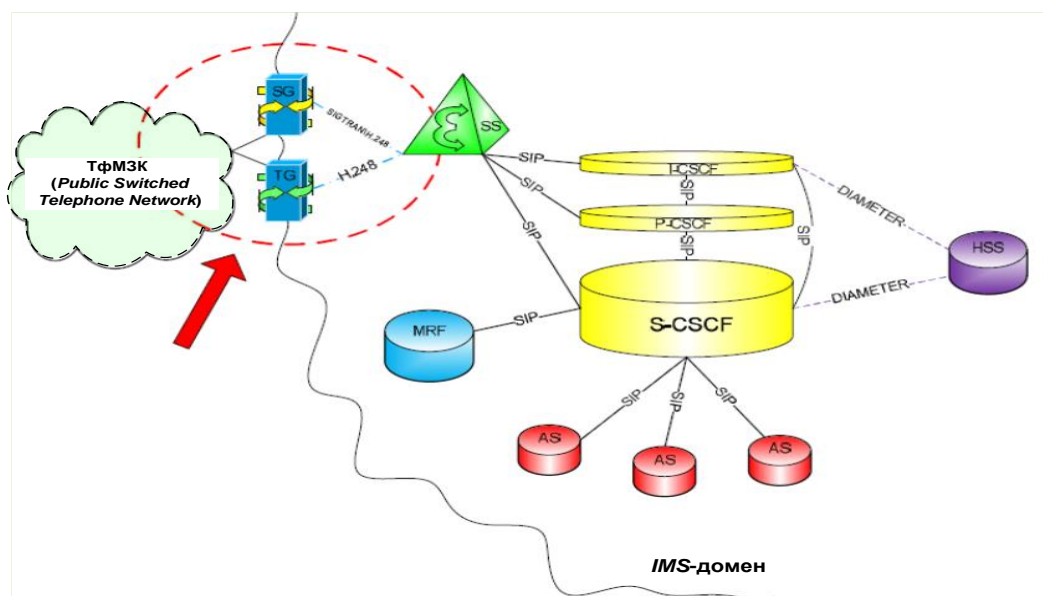


Рис 5.10. Узагальнена структура ядра мережі IMS

На основі вище приведенного, для визначення необхідного об'єму мережевого ресурсу ядра IMS потрібно враховувати: додатковий об'єму трафіку сигналізації при транскодування повідомлень різних типів сигналізації на границі домену IMS та обмін повідомлень сигналізації в самому домені, а також об'єм медіа-потоків в залежності від: структури мережі; стеку VoIP протоколів, що використовуються в сегментах мережі; кількості абонентів та типів терміналів абонентів.

5.2. Розробка методу проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі

Відповідно до сучасних технологій VoIP та передачі відео-конференц зв'язку, що інтегруються на рівні управління IMS, трафік сигналізації та голосові (або відео) потоки відокремлені між собою. Тобто голосові (відео) потоки циркулюють на рівні гетерогенних електронних комунікаційних мереж, а обробка повідомлень сигналізації винесена на рівень управління. При чому, програмно-функціональні блоки системи сигналізації можуть бути територіально рознесені.

Найбільш складні перетворення голосових (відео) потоків та додаткова обробка трафіку сигналізації відбувається на границі гетерогенної ЕКМ та IMS-домену [124, 125]. В свою чергу, від оптимальності конфігурування підсистеми моніторингу залежить як час реакції СУ при обслуговуванні трафіка реального часу у випадку збоїв функціонування, так і час відновлення ЕКМ у випадку перенавантаження.

На рис. 5.11 представлено основні компоненти системи сигналізації та моніторингу та їх взаємозв'язок із рівнями інформаційно-комунікаційної системи.

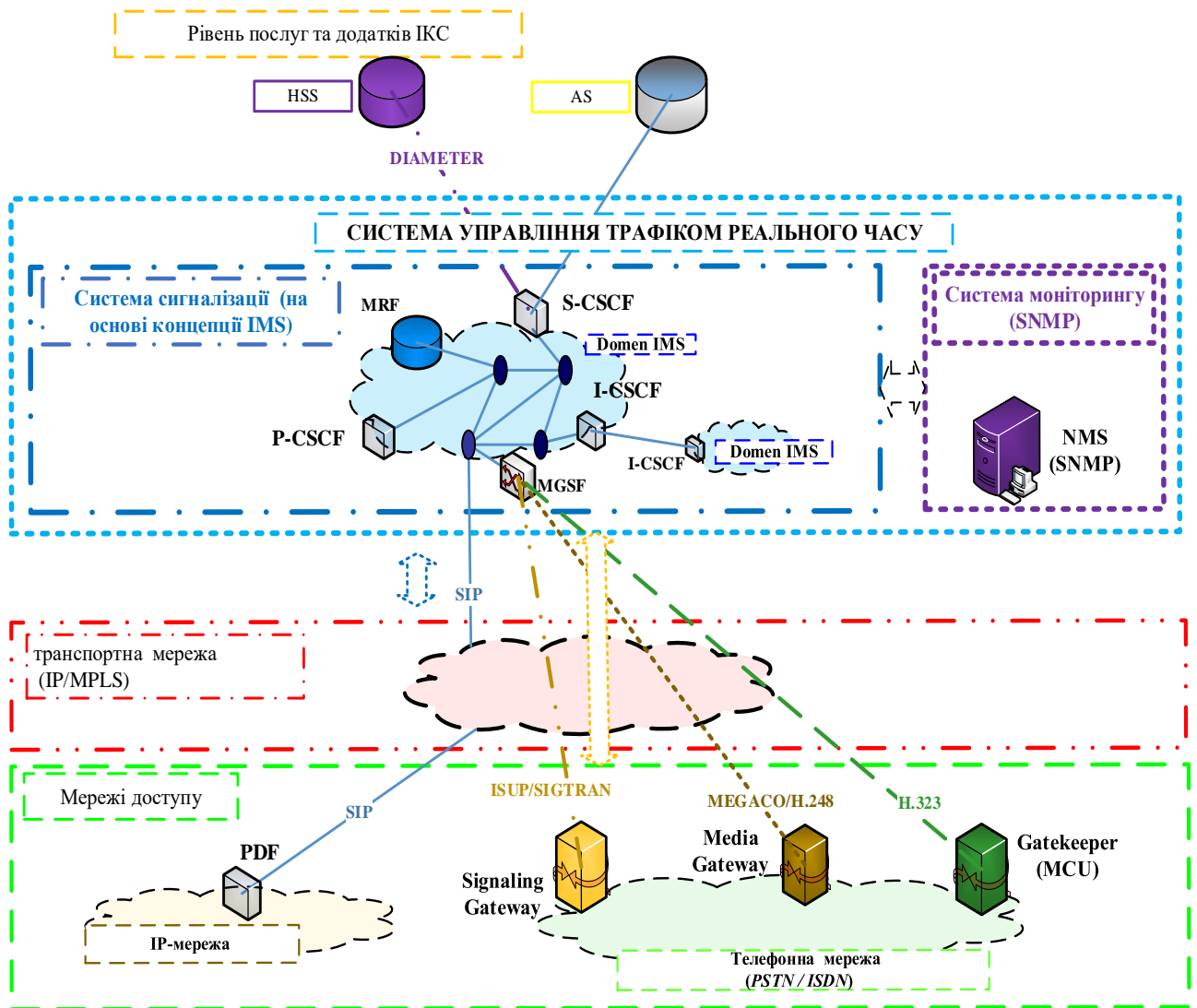


Рис. 5.11. Варіант побудови системи управління трафіком реального часу та мережі сигналізації згідно вимог концепції IMS

Особливість методу проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі полягає в тому [126], що було використано принцип декомпозиції ядра IMS при конвергенції різномірних ЕКМ та систем сигналізації. Це дозволило розбити ядро IMS на сегменти із різними мережевими технологіями для врахування додаткового обсягу трафіку сигналізації при перетворенні різних типів сигналізації до стандартизованого вигляду (рис. 5.12).

Даний метод дозволяє розрахувати потоки сигналізації в ядрі IMS (гібридній мережі сигналізації), а потім сформулювати вимоги до продуктивності та кількості необхідних програмних функціональних блоків.

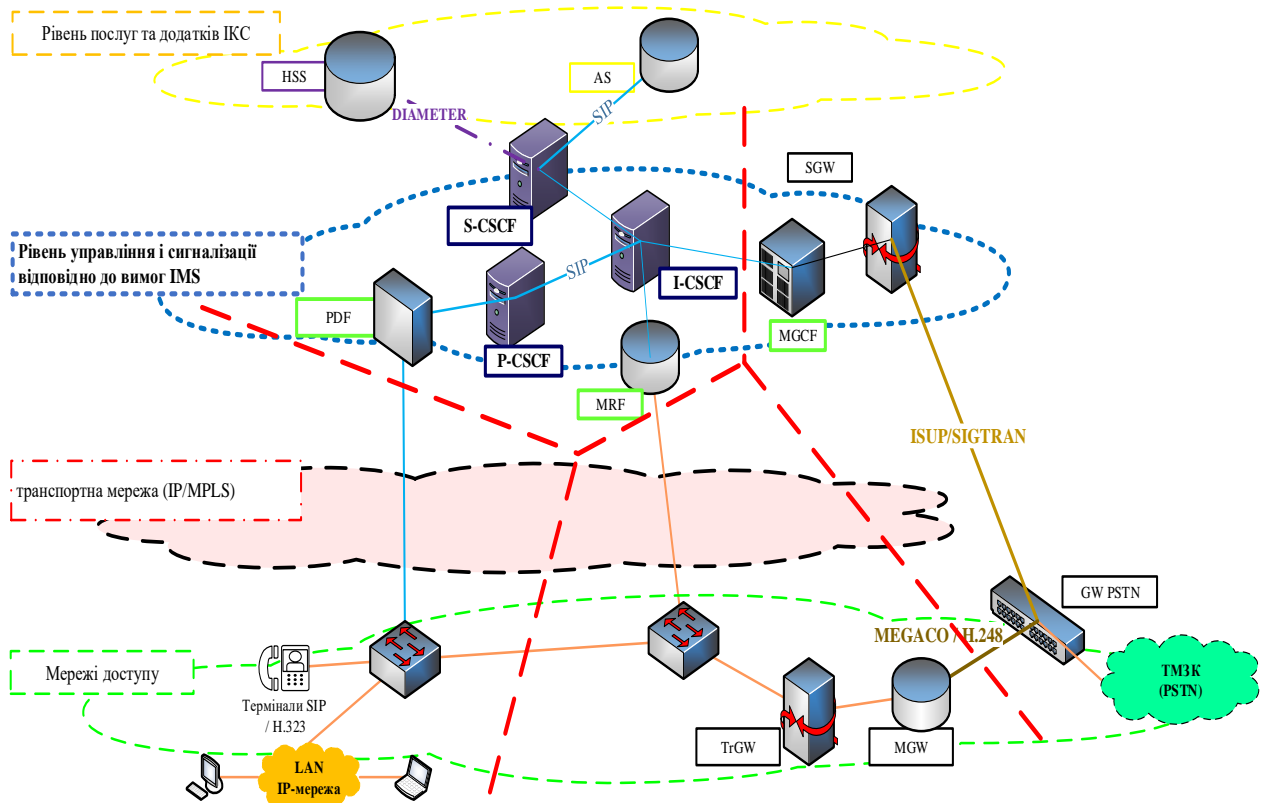


Рис. 5.12. Узагальнена схема декомпозиції ядра ІМС

На рис. 5.13 представлені основні елементи ядра ІМС та порядок обміну повідомленнями сигналізації (управління) в процесі функціонування.

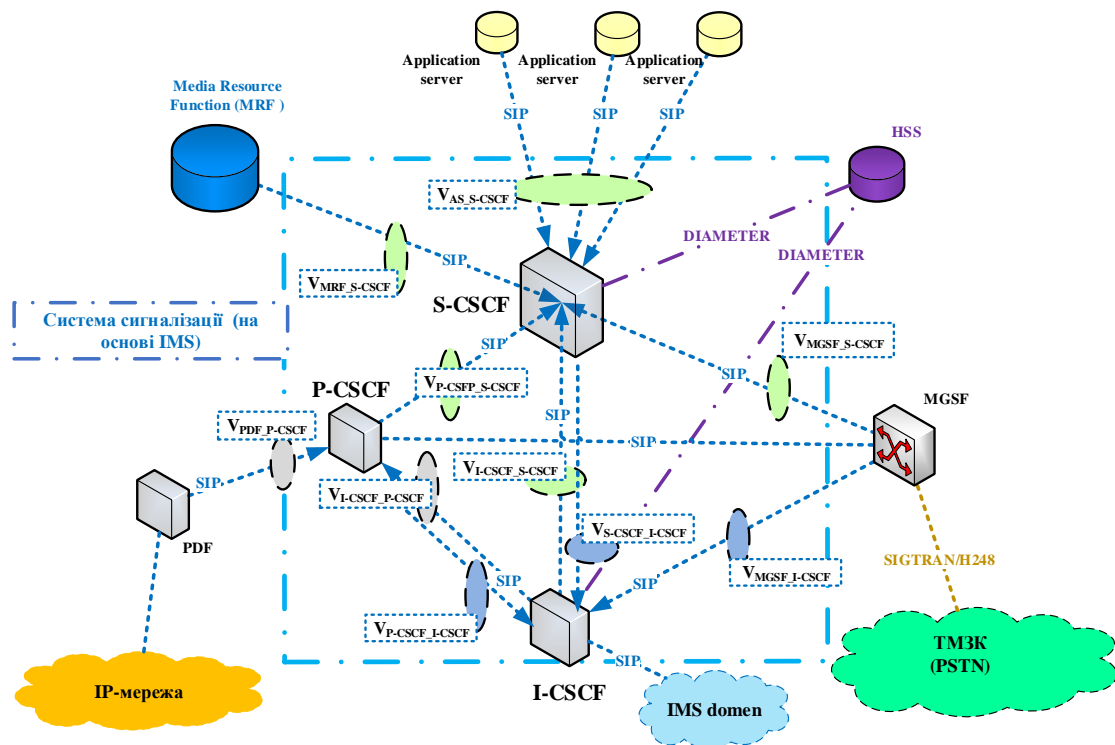


Рис. 5.13. Обмін службовими повідомленнями в системі сигналізації ядра ІМС

Суть розробленого нового методу передбачає визначення обсягу службових повідомлень та достатній мережевий ресурс для ядра підсистеми сигналізації IMS із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) службового трафіку в залежності від структури гетерогенної ЕКМ, різних типів протоколів сигналізації, рівня вхідного трафіка та кількості абонентів, застосовується на етапі проектування [127].

Вхідні дані:

$G_{IMS}(t) = \|G_{IMS_{ab}}\|$ – структура системи сигналізації, ядро ($a, b = \overline{1, N}$);

$U_{sub}(t)$ – кількість абонентів із однотипними протоколами сигналізації;

$Sig_{type}(t)$ – тип протоколу сигналізації;

$P_{Sig}^{norm}(t) = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови

встановлення наскрізного з'єднання для трафіка сигналізації в кожному інформаційному напрямку;

k_{sig} – коефіцієнт використання мережевого ресурсу при траскодуванні сигналізації

Обмеження та допущення:

для передачі та обробки службових повідомлень управління з'єднаннями використовується гібридна мережа сигналізації.

$$\begin{cases} P_{g_{sd}}^{Sig} \leq P_{g_{sd}}^{norm}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d; \\ Z_{g_{sd}}^{Sig} \leq Z_{g_{sd}}^{prov}, s, d = \overline{1, N}; s \neq d. \end{cases}$$

$P_{Sig}^{norm.} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ – нормоване значення ймовірності відмови встановлення з'єднання для трафіка сигналізації в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$Z_{Sig}^{prov} = \|Z_{g_{sd}}^{prov}\|$ – задане значення вхідного навантаження трафіку сигналізації в кожному інформаційному напрямку.

Формалізована постановка задачі:

$$\begin{cases} Z_{g_{sd}}^{Sig}(t, \tau) = f_4\{G_{IMS}(t); U_{sub}(t); Sig_{type}(t); k_{sig}; V_{S-CSCF}^{bit}; V_{P-CSCF}^{bit}; V_{I-CSCF}^{bit}\} \\ V_m^{Sig}(t) = f_5\{G_{IMS}(t); Z_{g_{sd}}^{Sig}(t, \tau); P_{Sig}^{norm}(t)\} \rightarrow \min \end{cases}$$

Необхідно визначити:

$Z_{g_{sd}}^{Sig}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ – навантаження сигналізації (службові повідомлення для забезпечення встановлення з'єднання) в кожному інформаційному напрямку $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ в електронно комунікаційної мережі для обслуговування в ГНН τ ;

V_{S-CSCF}^{bit} – необхідна швидкість передачі для обслуговування трафіка сигналізації при функціонуванні програмно-функціональних блоків Serving Call Session Control Function (S-CSCF);

V_{P-CSCF}^{bit} – необхідна швидкість передачі для обслуговування трафіка сигналізації при функціонуванні програмно-функціональних блоків Proxy Call Session Control Function (P-CSCF);

V_{I-CSCF}^{bit} – необхідна швидкість передачі для обслуговування трафіка сигналізації при функціонуванні програмно-функціональних блоків Interrogating Call Session Control Function (I-CSCF);

$V_m^{Sig}(t) = \|V_{m_{ab}}^{Sig}\|$ – необхідний мережевий ресурс для обслуговування трафіку сигналізації (продуктивність гілок мережі управління (сигналізації) трафіка сигналізації).

Проаналізуємо основні завдання, які вирішуються блоком функцій CSCF (Call Session Control Function) в процесі обслуговування трафіка сигналізації, і дамо пропозиції щодо методу розрахунку необхідного мережевого ресурсу в ядрі архітектури IMS. З цією метою введемо позначення і визначимо параметри кожного з трьох функціональних блоків, S-CSCF (Serving-CSCF), P-CSCF (Proxy Call Session Control Function), I-CSCF (Interrogating CSCF), які складають основу блоку функцій CSCF. Блок функцій S-CSCF є SIP-сервер, що

керує сеансами абонентів. Для цього він отримує від інших мережевих елементів всю інформацію про підключення і необхідні послуги (рис. 5.13).

Введемо наступні позначення:

позначимо середнє число SIP-повідомлень при обслуговуванні одного виклику між: MGCF і S-CSCF – N_{SIP1} ; MRF і S-CSCF – N_{SIP2} ; AS і S-CSCF – N_{SIP3} ; I-CSCF і S-CSCF – N_{SIP4} ; L_{SIP} – середня довжина SIP-повідомлення в байтах; $X\%$ – відсоток викликів, що вимагає звернення до сервера Media Resource Function (MRF); $Y\%$ – відсоток викликів, що вимагає звернення до серверів додатків AS; V_{MGCF_S-CSCF} – необхідна швидкість передачі між MGCF і S-CSCF, яка потрібна для обміну SIP-повідомленнями під час встановлення з'єднання; V_{AS_S-CSCF} – необхідна швидкість передачі між серверами додатків (AS) і S-CSCF, яка потрібна для обміну SIP-повідомленнями під час встановлення з'єднання; V_{MRF_S-CSCF} – необхідна швидкість передачі між MRF і S-CSCF, яка потрібна для обміну SIP-повідомленнями в процесі встановлення з'єднання; V_{I-CSCF_S-CSCF} – необхідна швидкість передачі між I-CSCF і S-CSCF, яка потрібна для обміну SIP-повідомленнями під час встановлення з'єднання.

Тоді необхідна швидкість передачі для обслуговування трафіка сигналізації при взаємодії програмно-функціонального блоку S-CSCF з іншими елементами IMS архітектури, дорівнює:

$$\begin{aligned}
 V_{S-CSCF}^{bit} &= V_{MGCF_S-CSCF} + V_{AS_S-CSCF} + V_{MRF_S-CSCF} + V_{I-CSCF_S-CSCF} \cdot \\
 V_{MGCF_S-CSCF} &= k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP1} \cdot P_{SX}) \cdot V_{bit} \ , \\
 V_{AS_S-CSCF} &= k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP2} \cdot P_{SX} \cdot X\%) \cdot V_{bit} \ , \\
 V_{MRF_S-CSCF} &= k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP3} \cdot P_{SX} \cdot Y\%) \cdot V_{bit} \ , \\
 V_{I-CSCF_S-CSCF} &= k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP4} \cdot P_{SX}) \cdot V_{bit} \ ,
 \end{aligned}$$

де: P_{SX} – загальна інтенсивність потоку запитів на встановлення з'єднання в ГНН, що надходять на обладнання MGCF; k_{sig} – коефіцієнт використання мережевого

ресурсу при передачі трафіку сигналізації (відношення часу обслуговування при обслуговуванні повідомлення до часу на передачу сигнальних повідомлень).

В свою чергу P_{SX} розраховується за наступною формулою:

$$P_{SX} = k_{PSTN} \cdot P_{PSTN} \cdot U_{PSTN},$$

де: k_{PSTN} – поправочний коефіцієнт для розрахунку навантаження в ТМЗК (PSTN). P_{PSTN} – інтенсивність потоку викликів (середнє число викликів від одного джерела в ГНН), U_{PSTN} – кількість абонентів в ТМЗК (PSTN).

Функціональний елемент I-CSCF, так само як і S-CSCF, бере участь в обслуговуванні службових повідомлень від різнорідних систем сигналізації таких як ЗК-7 (SS7). Оцінимо необхідну швидкість передачі для взаємодії I-CSCF з елементами мережі.

Позначимо середнє число SIP-повідомлень при обслуговуванні одного виклику між: MGCF і I-CSCF – N_{SIP5} ; P-CSCF і PDF – N_{SIP6} ; P-CSCF і I-CSCF – N_{SIP7} та введемо наступні позначення: V_{MGCF_I-CSCF} – необхідна швидкість передачі між MGCF і I-CSCF, яка потрібна для обміну SIP-повідомленнями під час встановлення з'єднання; V_{P-CSCF_I-CSCF} – необхідна швидкість передачі між P-CSCF і I-CSCF, яка потрібна для обміну SIP-повідомленнями.

Тоді необхідна швидкість передачі для обслуговування трафіка сигналізації програмно-функціональним блоком I-CSCF буде дорівнювати:

$$V_{I-CSCF}^{bit} = V_{MGCF_I-CSCF} + V_{P-CSCF_I-CSCF} + V_{P-CSCF}^{bit}.$$

Значення V_{I-CSCF_S-CSCF} було визначено раніше, а V_{MGCF_I-CSCF} обчислюється таким чином:

$$V_{MGCF_I-CSCF} = k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP5} \cdot P_{SX}) \cdot V_{bit}.$$

Також визначимо необхідну швидкість передачі для обслуговування трафіка сигналізації програмно-функціональним блоком P-CSCF з боку мережі SIP (H.323) при взаємодії з I-CSCF та PDF.

$$V_{P-CSCF}^{bit} = V_{PDF_P-CSCF} + V_{P-CSCF_I-CSCF} .$$

Значення V_{PDF_P-CSCF} обчислюється за наступними формулами:

$$V_{PDF_P-CSCF} = k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP6} \cdot P_{SX_SH}) \cdot V_{bit} ,$$

де: P_{SX_SH} – інтенсивність потоку запитів на встановлення з'єднання в ГНН, що надходять на обладнання P-CSCF, яка розраховується по формулі:

$$P_{SX_SH} = k_{SH} \cdot P_{SH} \cdot U_{LAN} + k_{SH} \cdot P_{SH} \cdot U_{LAN} ,$$

де: k_{SH} – поправочний коефіцієнт для розрахунку навантаження в мережі SIP (H.323); P_{SH} – інтенсивність потоку запитів на встановлення з'єднання в ГНН, що надходять від терміналів SIP (H.323); U_{LAN} – кількість абонентів в мережі SIP; U_{SH} – кількість абонентів в мережі H.323.

Значення V_{P-CSCF_I-CSCF} обчислюється за наступною формулою:

$$V_{P-CSCF_I-CSCF} = k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP7} \cdot P_{SX_SH}) \cdot V_{bit} .$$

Таким чином, використовуючи даний метод можна визначити обсяг навантаження трафіка сигналізації, яка функціонує між елементами архітектури IMS $Z_{gsd}^{SIG}(t, \tau)$. Далі, використовуючи показники якості обслуговування для трафіка сигналізації $P_{Sig}^{norm}(t)$, визначається достатній ресурс гілок мережі сигналізації ядра IMS $V_m^{Sig}(t)$.

Новизна методу полягає в декомпозиції функцій ядра підсистеми сигналізації IMS при інтеграції різнорідних мереж сигналізації, що дозволяє розрахувати обсяг службового трафіку при його транскодуванні до стандартизованого вигляду, а також забезпечити нормовані рівні показників якості обслуговування трафіку сигналізації в залежності від структури гетерогенної ЕКМ, різних типів протоколів сигналізації, вхідного навантаження та кількості абонентів.

Метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс для трафіку сигналізації в ядрі IMS гетерогенної ЕКМ та провести обґрунтування необхідної продуктивності та кількості програмно-функціональних блоків системи сигналізації.

Виграш, при впровадженні рівня IMS, за показником середнього часу відклику системи (RTT) складає 15 % в порівнянні із класичною IP мережею, а доменна структура IMS дозволяє отримати виграш в середньому на 19 %.

5.3. Розробка моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ

Оптимальність конфігурування системи управління ЕКМ та елементів збору статистичних даних, а також можливість адаптації на різкі випадкові зміни в мережі, в основному визначають позитивний ефект від впровадження самої системи управління. В свою чергу додаткове навантаження від службового трафіку при значній кількості помилок і втрат пакетів може призвести до перенавантажень на мережі та до збоїв функціонування активного обладнання.

Ефективне функціонування сучасних гетерогенних мереж та надання комунікаційних послуг абонентам не можливе без сучасних систем моніторингу, які розгортаються в цілях системи управління. Це обумовлено тим, що виробники мережевого обладнання хоча і враховують можливість інсталяції елементів системи моніторингу та розгортання її в подальшому, однак із-за широкого спектру версій сучасних протоколів управління мережею,

конфігурування проводиться опираючись виключно на практичний досвід спеціалістів в даній області. Дана обставина призводить до негативних наслідків тому, що при достатньо великій розмірності мережі не оптимально сконфігуровані елементи системи моніторингу будуть призводити до „лавинного” зростання службового трафіку і відповідно зниження або не виконання вимог щодо якості обслуговування (Quality of Service – QoS).

Дану проблему звичайно можна вирішити шляхом створення окремої мережі моніторингу в цілях системи управління, але це призводить до збільшення матеріально-технічних витрат та ускладнення технічної реалізації. Також необхідно відмітити, що при використанні даної концепції побудови на перше місце також постає питання оптимальності налаштування та організації порядку взаємодії між системою управління та елементами мережі над якими проводиться управління.

В свою чергу найбільш перспективними на теперішній час є системи управління та моніторингу, які мають клієнт-серверну архітектуру та комбінований підхід організації управління [128, 129]. Насамперед, це обумовлено тим що дані технології є кросплатформеними та мають можливість масштабування, що являється основним при побудові систем моніторингу конвергентних розподілених електронних комунікаційних мереж.

Одним із протоколів управління мережею, який набув широкого розповсюдження та постійно вдосконалюється є Simple Network Management Protocol (SNMP). Однак питання, ефективності розподілу службового трафіку між системою управління (Network management station – NMS) та SNMP-агентами, його вплив на продуктивність роботи всієї мережі, а також розрахунок необхідної пропускної спроможності для передачі службових повідомлень потребують вивчення та є актуальними [130, 131].

Аналіз останніх публікацій показав, що існують наступні моделі оцінки часу обслуговування трафіку моніторингу [132, 133]: самоподібні потокові моделі; моделі на основі оптимізації граф-дерева; моделі на основі рекурентних

потоків; імітаційні моделі для визначення значень основних показників роботи досліджуваної системи або процесів.

Однак дані моделі, не в повній мірі відображають фізичні процеси що протікають в мережі при передачі корисної та службової інформації та неадаптовані для їх практичного використання.

В зв'язку з вище приведеним в даній роботі пропонується розробка аналітичної моделі щодо визначення оптимального часу опитування елементами системи управління агентів системи моніторингу в залежності від структури мережі, кількості агентів та елементів системи управління та їх розміщення.

Для визначення ключових моментів, при розробці математичного апарату для оцінки часу обслуговування службового трафіку, розглянемо особливості функціонування існуючих протоколів управління мережею.

В залежності від версії протоколу SNMP система управління NMS рис. 5.14, яка відповідає за моніторинг параметрів якості функціонування (QoS) та управління активним мережевим обладнанням та інших допоміжних пристроїв (маршрутизатори, комутатори, сервери, робочі станції користувачів, принтери, джерела безперебійного живлення і т.д.) має наступні ключові функції [134 – 136]:

підтримка та ведення загальної ієрархічної бази об'єктів управління Management Information Base (MIB) де описані основні характеристики об'єктів управління;

відправлення запитів щодо опитування SNMP-агентів (GetRequest – запит на отримання одного або декількох значень характеристик об'єктів управління; GetNextRequest – запит на отримання наступного значення згідно ідентифікатора об'єкта управління (IOD); GetBulkRequest – запит на отримання частини бази (таблиці) MIB SNMP-агента;

відправлення запитів для зміни значень об'єктів управління SNMP-агента SetRequest – запит на проведення зміни (зміна конфігурації пристрою) або створення нових об'єктів управління в MIB SNMP-агента;

отримання та аналіз відповідей на запити (GetRequest, GetNextRequest, GetBulkRequest) від SNMP-агентів;

відстеження та аналіз асинхронних повідомлень від SNMP-агентів (Trap – переривання або пастка) у випадку збоїв в роботі пристрою (або про відновлення працездатності після збоїв).

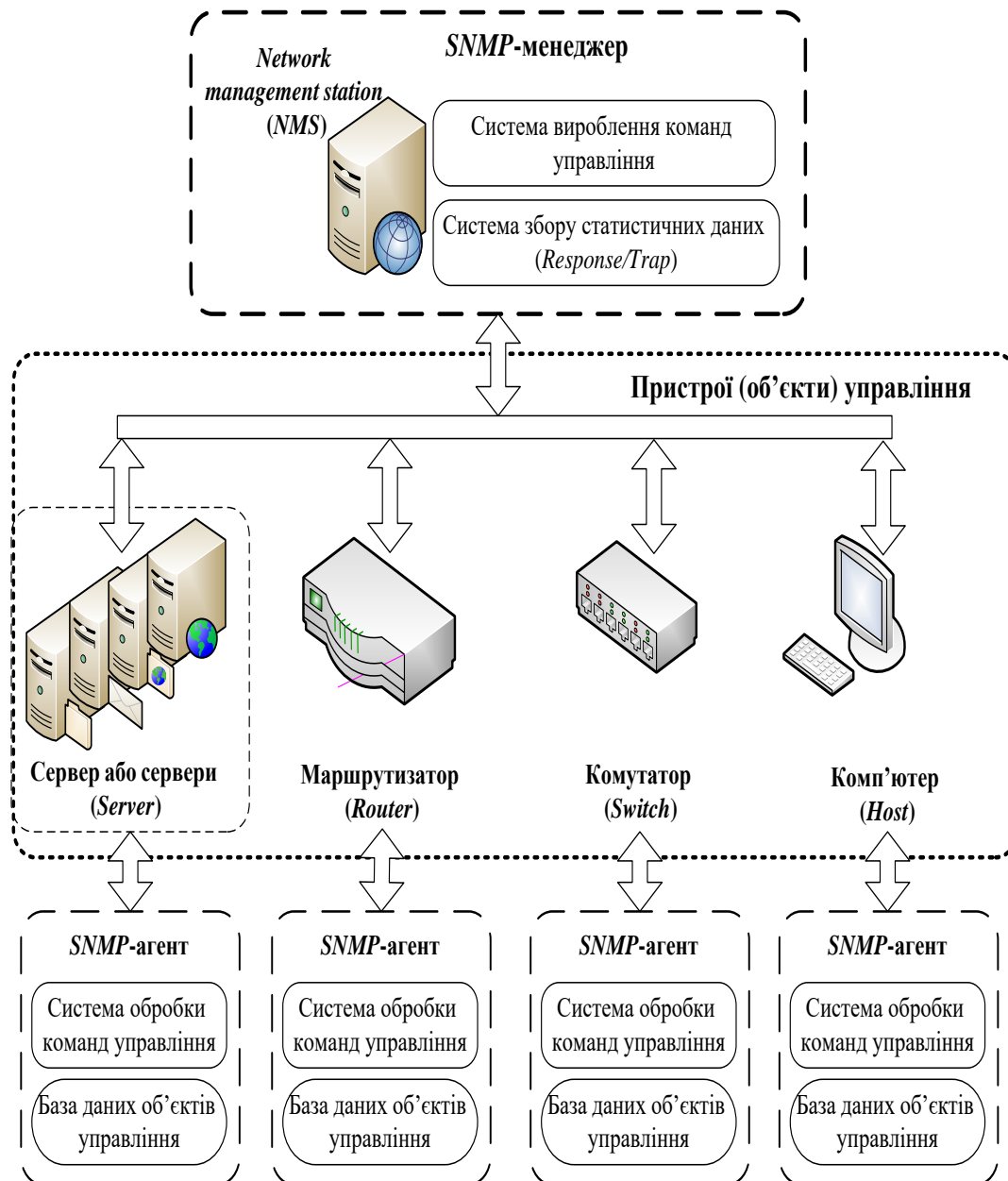


Рис. 5.14. Принцип побудови системи управління згідно протоколу SNMP

В свою чергу, на активному обладнанні мережі налаштовуються SNMP-агенти, які мають наступні основні функції:

збір інформації про значення характеристик об'єктів управління на пристроях де запущений SNMP-агент та занесення її до локальної МІВ даного SNMP-агента;

обробка та видача відповідей на запити від NMS (Response – відправлення необхідних даних про значення характеристик об'єктів управління або повідомлення про помилку у разі неможливості обробки запиту від NMS);

видача асинхронних повідомлень Trap (повідомлення про аварію або відновлення працездатності).

Провівши аналіз специфікацій та алгоритму роботи SNMP-протоколу можна виділити наступні схеми взаємодії між NMS-менеджерами та SNMP-агентами:

пасивний режим роботи NMS-менеджера (всі SNMP-агенти через визначений проміжок часу надають статистичні дані без запитів NMS);

аварійний режим роботи (надання Trap-переривань SNMP-агентами в випадку виходу з ладу елементів мережевого активного обладнання та відновлення роботи або перевищення пирогових значень критичних параметрів мережі);

активний режим роботи NMS-менеджера (проведення опитування необхідних SNMP-агентів через визначений інтервал часу).

Порядок обміну службовими повідомленнями між NMS-менеджером та SNMP-агентом представлено на рис. 5.15. Також необхідно відмітити, що в основному в якості транспортного протоколу для SNMP-повідомлень використовується User Datagram Protocol (UDP), тобто протокол передачі без встановлення з'єднання.

По замовчуванню для передачі повідомлень Trap від SNMP-агента та отримання даних повідомлень NMS-менеджер використовується 162 порт, у всіх інших випадках для передачі запитів та відповідей використовується 161 порт.

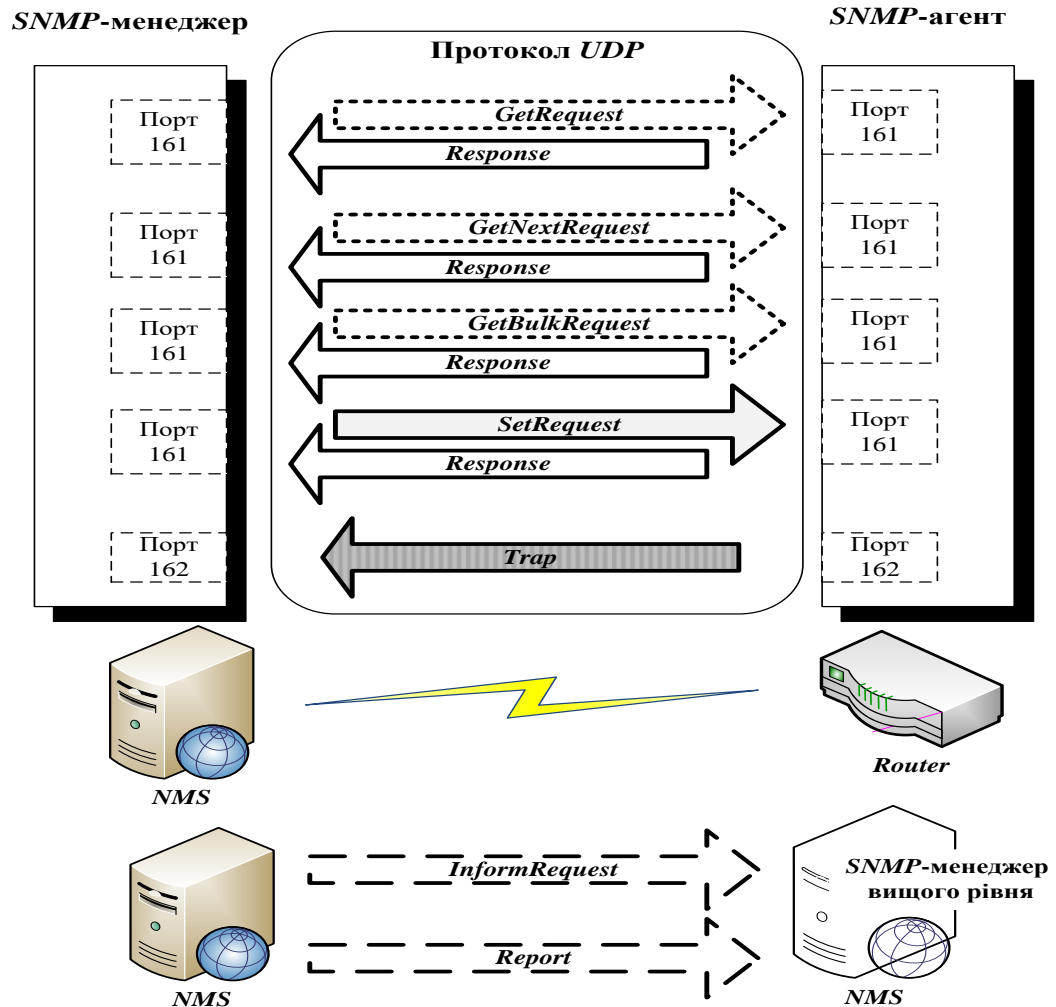


Рис. 5.15. Порядок обміну SNMP-повідомленнями

Також необхідно відмітити, що на практиці можна отримати наступні статистичні дані, в цілях NMS-менеджера, від SNMP-агентів або RMON-зондів:

- кількість переданих та кількість втрачених кадрів (пакетів) на портах активного обладнання;
- завантаження ліній;
- завантаження та інтенсивність використання каналів передачі;
- кількість помилок та збоїв активного обладнання та мережевих служб;
- час реакції наскрізних транзакцій до відповідних мережевих служб та протоколів (час відклику);

значення показників якості обслуговування в залежності від типу трафіку „джерела-призначення” для різних програмних додатків та мережевих протоколів.

і т.д.

При чому, керованими параметрами та механізмами управління, які визначають інтелектуальність та ефективність роботи СУ є:

інтенсивність опитування (період опитування) SNMP-агентів;

„порогові” значення критичних мережевих параметрів;

МІВ-вирази, аналітичні вирази (або математичний апарат) на основі яких автоматично розраховують поточне „порогове” значення критичних мережевих параметрів (наприклад: процентне співвідношення втрачених пакетів) або оптимізують керовані параметри конфігурування самого NMS-менеджера в залежності від ситуації на мережі.

При розгортанні системи моніторингу, яка підтримує стек протоколів TCP/IP, та конфігуванні її основних параметрів NMS виникає ряд питань які потребують вирішення:

в якій послідовності необхідно проводити опитування SNMP-агентів;

через який інтервал часу необхідно проводити опитування SNMP-агентів;

через який час необхідно зробити перезапит, в випадку неотримання відповіді;

яку продуктивність повинен мати NMS-менеджер в залежності від кількості SNMP-агентів;

де найбільш раціонально розмістити NMS-менеджер;

який чином повідомлення Trap можуть вплинути на пропускну спроможність мережі.

Основною задачею, при організації збору статистичних даних є визначення раціональних значень інтенсивності (часу) опитування SNMP-агентів із врахуванням кількості самих SNMP-агентів, структури мережі та корисного навантаження, яке створюють самі абоненти.

Це пояснюється, тим що не вірне конфігурування елементів системи моніторингу може призвести до перевантажень на мережі та, як наслідок, відсутності позитивного ефекту від впровадження самої системи управління трафіком реального часу.

Відповідно до наявних евристичних правил, при спільному використанні гілок (ліній) електронної комунікаційної мережі, інтенсивність потоку SNMP-повідомлень повинна не перевищувати $\leq 10\%$ від загальної інтенсивності трафіку реального часу в мережі [137, 138].

На рисунку 5.16 приведено варіант архітектури системи моніторингу в складі системи управління трафіком реального часу на базі протоколу SNMP.

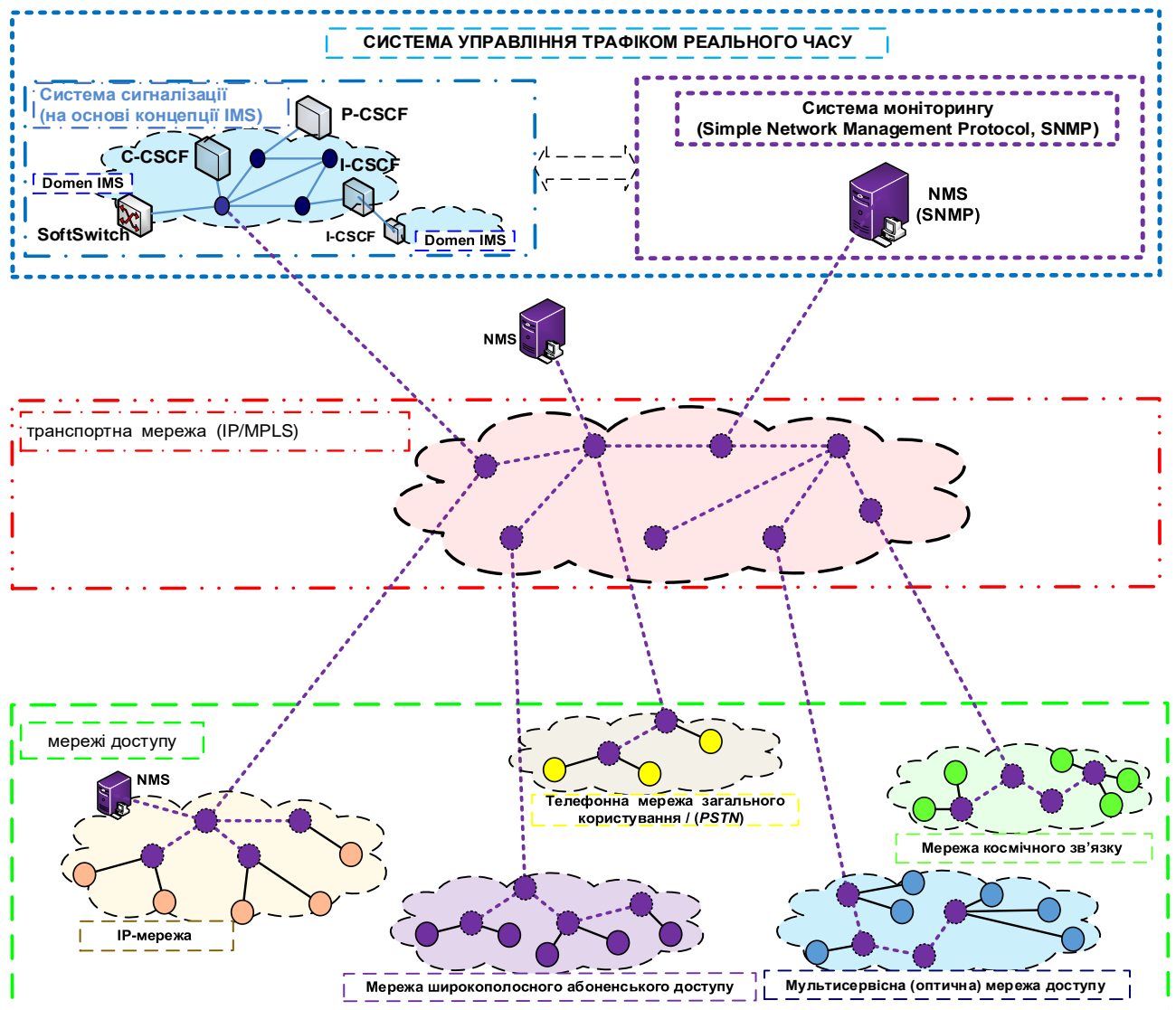


Рис. 5.16. Архітектура системи моніторингу в складі системи управління трафіком реального часу на основі протоколу SNMP

Проведемо математичний опис моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ.

Суть моделі полягає у формалізації опису процесу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів, при використанні датаграмного режиму передачі службових повідомлень та дотриманні заданого співвідношення між обсягом трафіка реального часу та трафіка моніторингу в гілках гетерогенної ЕКМ. На рис. 5.17 приведено варіант логічної структури системи моніторингу.

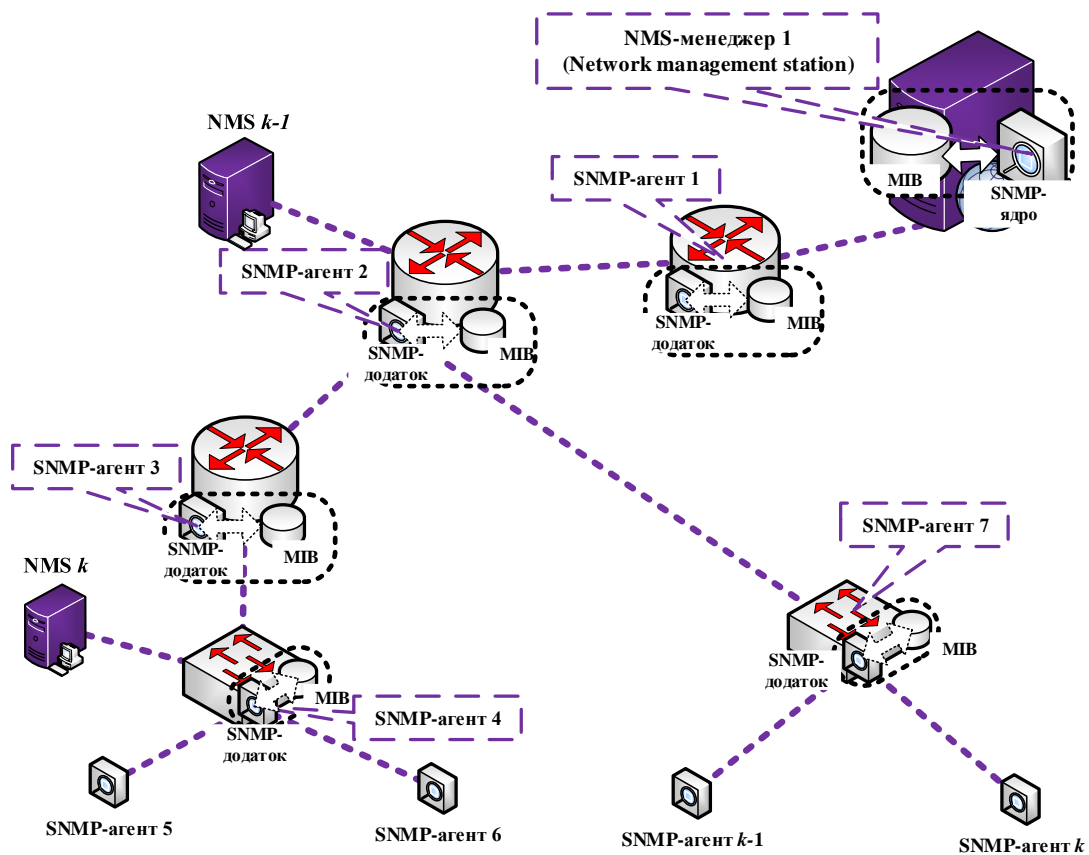


Рис. 5.17 Сегмент системи моніторингу в складі системи управління трафіком реального часу на базі протоколу SNMP

Основною задачею, при організації збору статистичних даних є визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів та об'ємів вже функціонуючого навантаження трафіка реального часу в мережі.

Проведемо математичний опис структури мережі приведеної на рис. 5.17. При цьому, особливу увагу також будемо звертати на час обслуговування SNMP-повідомлень в транзитних вузлах, тобто будемо враховувати часові втрати на всьому шляху передачі інформації від NMS-менеджерів до SNMP-агентів та в зворотній бік. В зв'язку з тим, що комутатор (switch) або маршрутизатор (router) згідно свого протоколу функціонування та апаратної побудови має декілька портів та буфер для проміжного зберігання прийнятих кадрів (пакетів) то для їх математичного опису можна використовувати математичний апарат систем масового обслуговування змішаного типу з обмеженим буфером. Графічно принцип роботи активного мережевого обладнання при передачі інформації (switch, router), згідно теорії телетрафіка показано на рис. 5.18 [139 – 141].

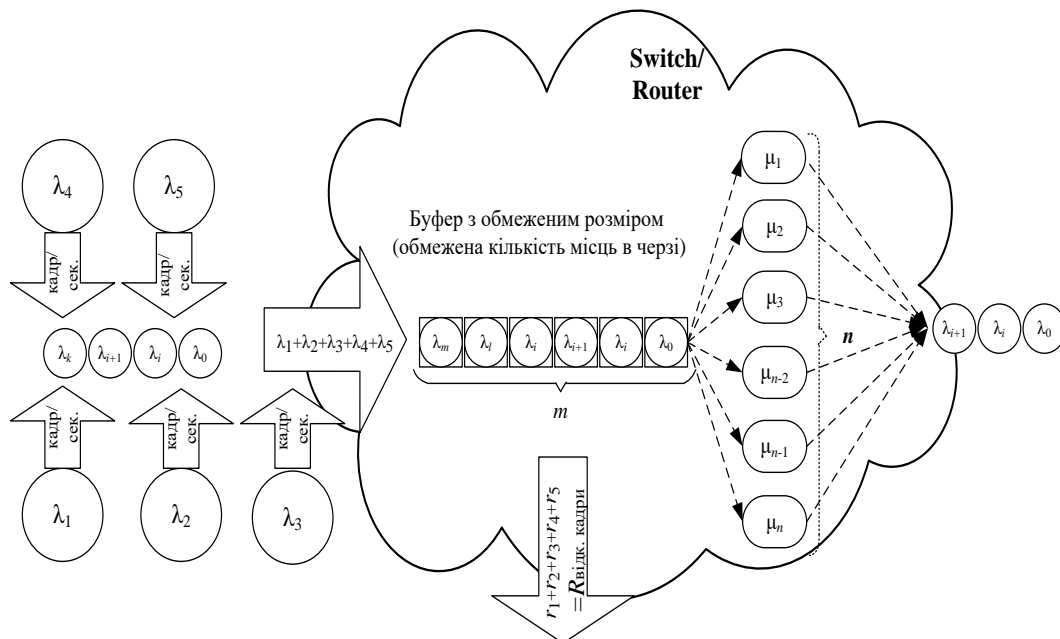


Рис. 5.18 Представлення активного обладнання (switch / router) у вигляді СМО типу M/M/n/m

Тобто, для подальших розрахунків необхідно побудувати функціонально-логічну модель для заданої структури мережі моніторингу та з урахуванням розміщення NMS-менеджерів та SNMP-агентів. В результаті, для математичного

опису процесів обробки трафіку моніторингу згідно протоколу SNMP була отримана функціональна модель рис. 5.19 [142].

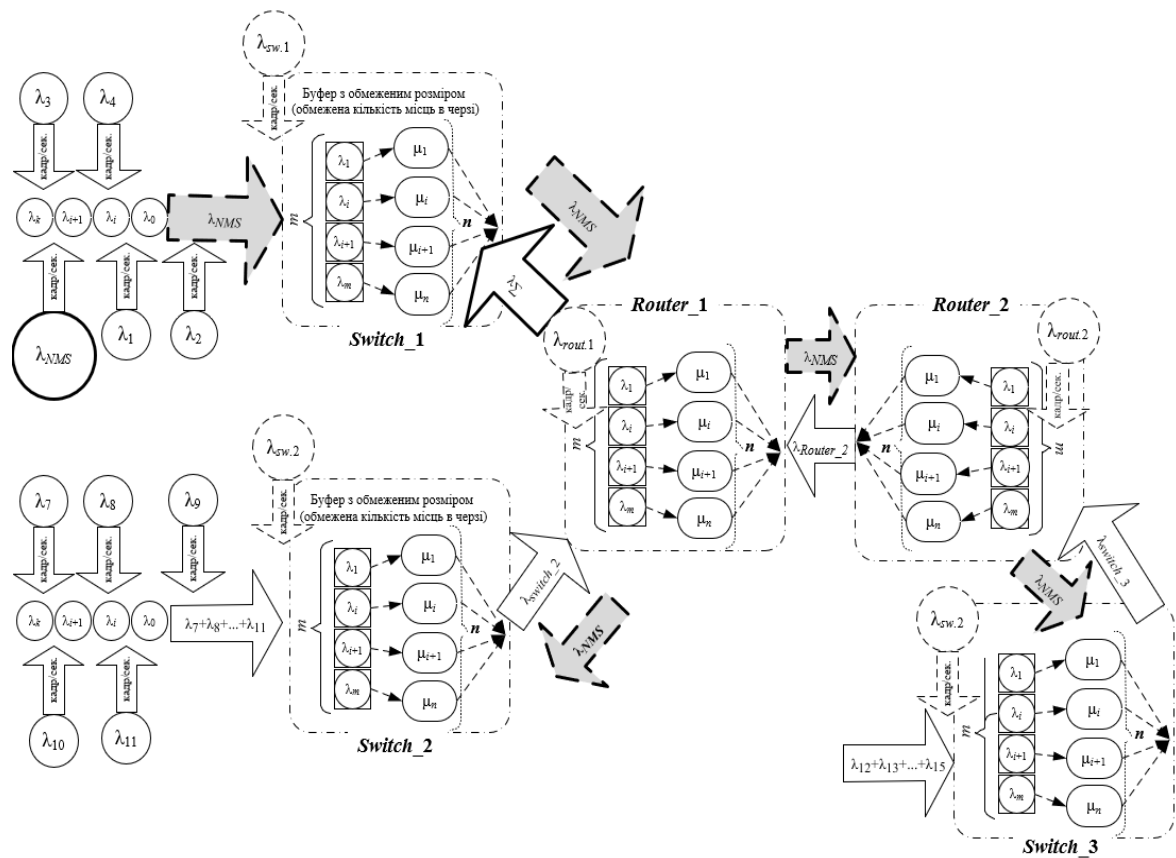


Рис. 5.19. Узагальнена функціональна модель обслуговування трафіку моніторингу в активному обладнанні ЕКМ

Відповідно до приведеного рис. 5.19 можна зробити наступні висновки: навантаження, в процесі передачі службової інформації, на порти активного мережевого обладнання розподілено не рівномірно, що в свою чергу враховує та відображає реальну структуру мережі моніторингу;

найбільший час опитування NMS SNMP-агентів, що також включає час на обробку повідомлень в активному мережевому обладнанні, буде для найбільш віддалених SNMP-агентів.

Проведемо формалізацію математичної моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу з урахуванням особливостей роботи протоколу SNMP.

Вхідні дані:

$G_{SC}(t) = \left\| G_{TN_{ij}} \right\|$ – структура мережі моніторингу ($i, j, o, u, a, b, y, w \in \overline{1, N}$), NMS-менеджери підсистеми моніторингу та SNMP-агенти виступають вузли мереж доступу та транспортної мережі.

$G_{SC}(t) = G\{N(t), M(t)\}$ – $N(t)$ кількість вузлів мережі моніторингу;
 $M(t)$ – кількість гілок мережі моніторингу;

$K_{agent}(t)$ – кількість задіяних агентів в системі моніторингу $K_{agent} = \overline{1, N}$;

$K_{NMS}(t)$ – кількість елементів системи управління NMS в системі моніторингу $K_{NMS} = \overline{1, N}$;

$y(p)_m(t) = \left\| y(p)_{m_{ij}} \right\|$ – пропускна спроможність гілок мережі моніторингу i, j – номер (індекс) гілки мережі ($i, j, o, u, a, b, y, w \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

V_{port} – швидкість інтерфейсів мережевого обладнання;

$T_{request}^{limit}$ – допустимий інтервал опитування агентів.

Обмеження та допущення:

підсистема моніторингу має зонову структуру побудови (тобто NMS знаходиться на кожному сегменті мережі: мережа доступу, транспортна мережа);

використовується датаграмний режим передачі без встановлення з'єднання, тобто транспортний протокол UDP (забезпечення QoS трафіку моніторингу покладається на верхні рівні моделі OSI);

L_{frame} – розмір Ethernet-кадру із SNMP-повідомленням обираємо MTU = 1518 [Байт] (SNMP-повідомлення по замовчуванню MTU = 1500 [Байт]);

$$\begin{cases} \lambda_{m_{ij}}^{Snmp(UDP)} \leq \left[0,1 \cdot y(p)_{m_{ij}} \right] & (i, j, a, b, y, w \in \overline{1, N}; m \in \overline{1, M}); \\ T_{request}^{allowable}(t) \leq T_{request}^{limit}(t). \end{cases}$$

$T_{request}^{limit}(t)$ – порогове значення інтервалу опитування SNMP-агенту NMS-менеджером, після закінчення терміну якого відправляють повторний запит до SNMP-агента;

$T_{request}^{allowable}(t)$ – поточне значення інтервалу опитування SNMP-агенту NMS-менеджером.

Формалізована постановка задачі представлена в наступному вигляді:

$$\begin{cases} T_{request}^{allowable}(t) = f_6\{G_{SC}(t); K_{NMS}; K_{agent}; y(p)_m(t); V_{port}\} \rightarrow \min; \\ T_{request}^{allowable}(t) \leq T_{request}^{limit}(t); \lambda_{m_{ij}}^{Snmnp(UDP)} \leq [0,1 \cdot y(p)_{m_{ij}}]. \end{cases}$$

Необхідно визначити:

$T_{request}^{allowable}$ – мінімально допустимий інтервал опитування SNMP-агентів;

$Z^{CS}(t) = \|\lambda_{m_{ij}}^{Snmnp(UDP)}\|$ – допустима інтенсивність трафіку моніторингу в гілках мережі, максимальна інтенсивність SNMP-трафіку.

Виходячи з алгоритму роботи протоколу SNMP, сумарний середній час на передачу SNMP-повідомлень на всьому шляху від NMS-менеджера до SNMP-агента і відповідь на даний запит можна визначити із наступної формули:

$$T_{request} = \left(\sum_{r=0}^{TR} T_{router(switch)} + \sum_{l=0}^L T_{trans} \right) \cdot 2,$$

де: $TR \in (\overline{0}, r)$ – кількість транзитного активного обладнання в маршруті передачі SNMP-повідомлення; $L \in (\overline{0}, l)$ – кількість ліній зв'язку між активним обладнанням в маршруті передачі SNMP-повідомлень; T_{trans} – середній час передачі інформації в лінії зв'язку.

Для визначення середнього часу обробки, яке витрачається на обслуговування SNMP-повідомлень в кожному проміжному активному

мережевому обладнанні, скористаємося формулою, яка основана на формулі Літла [143, 144]:

$$T_{router(switch)} = \bar{t}_{serv} + \bar{t}_{buffer} ,$$

де: \bar{t}_{serv} – середній час обслуговування кадру (паketу) портом активного обладнання, $\bar{t}_{serv} = 1/\pi$ (π_{port} – інтенсивність обслуговування кадра портом); \bar{t}_{buffer} – середній час знаходження кадру в буфері до початку обслуговування.

Для проведення подальших розрахунків необхідно знайти інтенсивність обслуговування одним портом мережевого активного обладнання можна скористатись наступною формулою:

$$\pi = V_{port} / L_{frame} ,$$

де: V_{port} – швидкість роботи порту активного мережевого обладнання; L_{frame} – розмір кадру.

В свою чергу, для визначення середнього часу знаходження кадру в буфері \bar{t}_{buffer} використаємо наступну формулу:

$$\bar{t}_{buffer} = M\xi \cdot \bar{t}_{serv} ,$$

де: $M\xi$ – середня кількість повідомлень (кадрів), які знаходяться в черзі.

Середня кількість кадрів, які знаходяться в черзі (в буфері):

$$M\xi = \sum_{s=1}^b s \cdot P_{n+s} ,$$

де: b – кількість місць в черзі (розмір буфера активного обладнання); P_{n+s} – ймовірність того, що всі порти активного обладнання зайняті

обслуговуванням та s заявок ($s \in \overline{1, b}$) знаходяться в буфері (черзі), тобто очікують початку обслуговування.

В свою чергу P_{n+s} визначається за формулою:

$$P_{n+s} = \frac{\rho^n / n! \cdot (\rho/n)^s}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot \frac{1 - (\rho/n)^b}{1 - (\rho/n)}}$$

де: $\rho = \lambda/\pi$ – навантаження на обслуговуючу систему (*router, switch*).

Для визначення розмірності буфера (кількості місць в черзі) скористаємося формулою, яка враховує конструктивні особливості активного мережевого обладнання та алгоритми роботи мережевих протоколів:

$$b = \frac{R_{buffer}}{L_{frame}},$$

де: R_{buffer} – об'єм пам'яті в бітах, який виділяється для буферизації кадрів.

Для практичних розрахунків мінімально допустимого інтервалу опитування SNMP-агентів можна застосувати наступну формулу:

$$T_{request}^{allowable} = \frac{1/\lambda^{Snmp(UDP)}}{K_{agent}},$$

де: $\lambda^{Snmp(UDP)}$ – сумарна інтенсивність надходження SMNP-повідомлень в ЕКМ;

K_{agent} – кількість задіяних агентів в підсистемі моніторингу.

В подальшому визначається допустима інтенсивність трафіку моніторингу $Z^{CS}(t) = \|\lambda_{mij}^{Smnp(UDP)}\|$ в залежності від наявних резервів пропускної здатності в гілках мережі на поточний момент часу.

Проведений аналіз показав, що збільшення інтенсивності опитування та розмірності мережі моніторингу призводить до значень затримок передачі SMNP-повідомлень, що більші допустимих. Це пояснюється тим, що згідно протоколу SMNP NMS-менеджер налаштований наступним чином: якщо не надійшла відповідь через 0,8 с, то генеруються три повторні SMNP-запити. Тобто, перевищення таймауту $T_{request}^{limit}$ призведе до різкого збільшення інтенсивності трафіку моніторингу і відповідно може привести до перевантажень в мережі.

Для проведення практичних розрахунків та отримання кількісних оцінок використаємо наступні вхідні данні:

топология мережі та розміщення NMS і SNMP-агентів задано на рис. 5.17;

розмір кадру Ethernet приймемо $L_{frame} = 12208$ біт (1526 байт);

швидкість роботи порту активного мережевого обладнання $V_{port} = 1048576$ біт/сек. (100Мбит/с);

кількість задіяних SNMP-агентів $K_{agent}(t) = 19$.

Необхідно знайти: часові затримки при проходженні SMNP-повідомлень мережею $T_{request}$ та поточне допустиме значення інтервалу опитування SNMP-агентів $T_{request}^{allowable}$.

Результати розрахунків для різних значень інтенсивності трафіка реального часу та трафіка моніторингу зведено в таблицю 5.1. Згідно проведених розрахунків можна зробити висновок (таблиця 5.1 колонки 4, 8, 9), для заданих вхідних даних збільшення інтенсивності опитування та розмірності мережі (кількості транзитних вузлів у контурі циклу управління) призводить до значень затримок передачі SMNP-повідомлень, що більші допустимих. Це пояснюється тим, що згідно протоколу SMNP NMS налаштоване наступним чином: генеруються три повторні SMNP-запити, якщо не надійшла відповідь через 0,8 с. Тобто, перевищення таймауту призведе до різкого збільшення інтенсивності службового трафіку і відповідно може привести до перевантажень в мережі. Тому, запропонована аналітична модель дозволяє визначити мінімально

допустиме значення інтервалу опитування SNMP-агентів (або максимальну інтенсивність службового трафіку) та в свою чергу оптимально провести конфігурування NMS-менеджерів.

Таблиця 5.1. – результати аналітичного моделювання

Сумарна інтенсив. повідомл., $\sum \lambda$; [пов/с]	Інтенсив. повідомл. трафіка реального часу, λ_{sub} ; [пов/с]	Сумарна інтенсив. SNMP-повідомл. $\lambda^{Snmp(UDP)}$; [пов/с]	Інтервал опит. SNMP-агента, $T_{request}^{allowable}$; [мс]	Середня кількість повідомл. в буфері (черзі) $M\xi$; [пов]	Середн. час в буфері \bar{t}_{buffer} ; [мс]	Середн. час в системі T_{router} ; [мс]	max к-сть транзит. TR	Серед. час передачі $T_{request}$; [с]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	180	20	2,63158	0,01755	0,20431	11,84677	35	$\approx 0,8$
220	198	22	2,39234	0,01919	0,22340	11,86586	34	$\approx 0,8$
240	216	24	2,19298	0,02692	0,31343	11,95589	34	$\approx 0,8$
280	252	28	1,87970	0,09137	1,06372	12,70618	33	$\approx 0,8$
300	270	30	1,75439	0,13199	1,53664	13,17910	31	$\approx 0,8$
320	288	32	1,64474	0,21960	2,55671	14,20000	29	$\approx 0,8$
340	306	34	1,54799	0,24373	2,86360	14,48005	28	$\approx 0,8$
360	324	36	1,46199	0,33294	3,87618	15,51864	26	$\approx 0,8$
380	342	38	1,38504	0,50459	5,87465	17,51711	23	$\approx 0,8$
400	360	40	1,31579	0,69365	8,07580	19,71825	21	$\approx 0,8$

Новизна моделі полягає в тому, що на відміну від існуючих, враховує випадковий час обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускної спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Модель дозволяє провести обґрунтування максимально допустимого обсягу службового трафіку системи моніторингу в залежності від значення інтервалу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів та функціонуючого корисного навантаження трафіка реального часу в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Висновки до розділу 5

Для приведення рівня управління існуючої інформаційно-комунікаційної системи відповідно до вимог архітектури IMS необхідно вирішити два завдання. Перше, це поєднання мереж різнотипних систем сигналізації при використанні протоколу SIP. Друге завдання, використання апаратно-незалежних програмних блоків для транскодування різних протоколів сигналізації до стандартизованого виду та масштабування системи управління трафіком реального часу для забезпечення заданих показників якості обслуговування.

В роботі проведено аналіз процесів обслуговування трафіку сигналізації функціональними елементами ядра IMS (S-CSCF, P-CSCF, I-CSCF) в основних сценаріях встановлення з'єднання між абонентами різнотипних систем сигналізації. Визначено інтерфейси взаємодії мереж різних VoIP-технологій з ядром IMS. При чому, найбільш складні перетворення голосових (відео) потоків та додаткова обробка трафіку сигналізації відбувається на границі гетерогенної ЕКМ та IMS-домену.

В результаті розроблено метод проектування системи сигналізації гетерогенної ЕКМ, який дозволяє визначити достатній мережевий ресурс для трафіку сигналізації в ядрі IMS гетерогенної ЕКМ та провести обґрунтування необхідної продуктивності та кількості програмно-функціональних блоків системи сигналізації.

Новизна методу полягає в декомпозиції функцій ядра підсистеми сигналізації IMS при інтеграції різнорідних мереж сигналізації, що дозволяє розрахувати обсяг службового трафіку при його транскодуванні до стандартизованого вигляду, а також забезпечити нормовані рівні показників якості обслуговування трафіку сигналізації в залежності від структури гетерогенної ЕКМ, різних типів протоколів сигналізації, вхідного навантаження та кількості абонентів.

Для збору інформації про стан мережевого (серверного) обладнання, а також про поточні показники якості обслуговування трафіка реального часу використовується система моніторингу, що вимагає рішення задачі обґрунтування максимально допустимого обсягу трафіку моніторингу в залежності від значення інтервалу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів та функціонуючого корисного навантаження трафіка реального часу в гілках гетерогенної електронно комунікаційної мережі.

Тому була удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ, яка відміну від існуючих, враховує випадковий час обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускної спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

РОЗДІЛ 6

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО
НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ
ПОТОКІВ ПОВІДОМЛЕНЬ ТРАФІКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В
ГЕТЕРОГЕННИХ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Оцінка ефективності розробленого науково-методологічного апарату проводилась в порівнянні з існуючим за відомими мережевими показниками із врахуванням зазначених особливостей розробленої інтеграційної архітектури ЕКМ та особливостей функціонування системи сигналізації та моніторингу. Для цього в даному розділі представлені результати аналітичного та імітаційного моделювання процесу обслуговування трафіка реального часу на різних рівнях гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

6.1. Розробка імітаційної моделі сегменту електронної комунікаційної мережі та моделювання обслуговування трафіку реального часу із заданими показниками якості обслуговування

Для перевірки адекватності, розробленого удосконаленого методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ та удосконаленого методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, було проведено аналітичне та імітаційне моделювання ЕКМ [145 – 147], яка представлена на рис. 6.1.

Вхідними даними для проведення експерименту являються:

структура електронної комунікаційної мережі представлена на рис. 6.1;

C_{type} – тип кодека G.711 = 84 [Кбіт/с] (разом із додатковою службовою інформацією при обслуговуванні голосового потоку);

L_{frame} – середня довжина кадра на каналному рівні = 1000 [байт];

$V_{m_{TN}}^{bit}$ – швидкість передачі гілки транспортної мережі = 1,5 [Мбіт/с];

$V_{m_{AN}}^{bit}$ – швидкість передачі гілки мережі доступу (лінія прив'язки) = 2 [Мбіт/с];

Z_{Usub} – середнє навантаження від одного абонента = 0,396 [Erlang];

U_{sub} – кількість абонентів в ІН = 5;

$Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ – навантаження трафіку реального часу, яке надходить на обслуговування в кожний інформаційний напрямок ЕКМ $Z_{g_{sd}} = 1,98$ [Erlang].

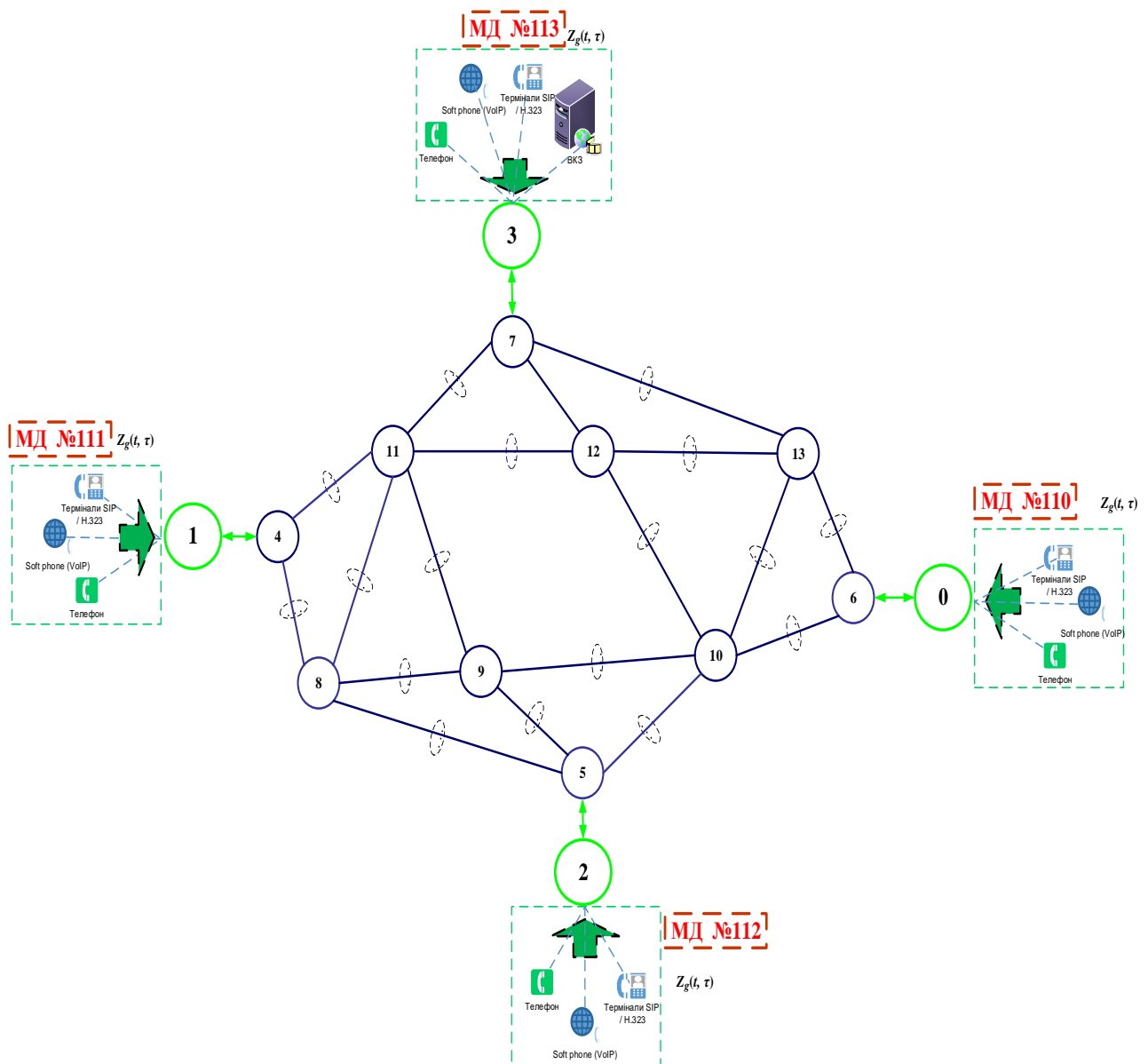


Рис. 6.1. Варіант структури ЕКМ

В подальшому були проведені розрахунки згідно розроблених методів, щодо оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності, якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням наявного мережевого ресурсу ЕКМ. При виконанні етапу розподілу навантаження в інформаційних напрямках при використанні основного шляху передачі та визначення орієнтовних значень втрат на гілках мережі зведені в таблицю 6.1. та представлені на рисунку 6.2.

Таблиця 6.1. – результати розподілу навантаження трафіка реального часу при використанні основного шляху передачі в ІН та визначення орієнтовних значень втрат в гілках ЕКМ

Номер (індекс) гілки ЕКМ, m_{ou}	Функц. навантаження в гілці $z_{m_{ou}}$ [Erlang]	Кількість віртуальних каналів, $V_{m_{ou}}^{vc}$	Втрати на гілках мережі, $p_{m_{ou}}$
$m_{5..2} = m_{2..5}$	11,88	23	0,001411
$m_{4..8} = m_{8..4}$	3,96	17	0,000001
$m_{8..5} = m_{5..8}$	3,96	17	0,000001
$m_{1..4} = m_{4..1}$	11,88	23	0,001411
$m_{6..0} = m_{0..6}$	13,86	23	0,006798
$m_{6..13} = m_{13..6}$	7,92	17	0,001942
$m_{7..13} = m_{13..7}$	3,96	17	0,000001
$m_{3..7} = m_{7..3}$	11,88	23	0,001411
$m_{7..11} = m_{11..7}$	7,92	17	0,001942
$m_{4..11} = m_{11..4}$	7,92	17	0,001942
$m_{5..10} = m_{10..5}$	3,96	17	0,000001
$m_{10..6} = m_{6..10}$	3,96	17	0,000001
$m_{11..9} = m_{9..11}$	3,96	17	0,000001
$m_{9..5} = m_{5..9}$	3,96	17	0,000001
$m_{11..12} = m_{12..11}$	3,96	17	0,000001
$m_{12..13} = m_{13..12}$	3,96	17	0,000001

Для перевірки показників якості обслуговування, а саме ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання в інформаційних напрямках були проведені проміжні розрахунки та зведені в таблицю 6.2.

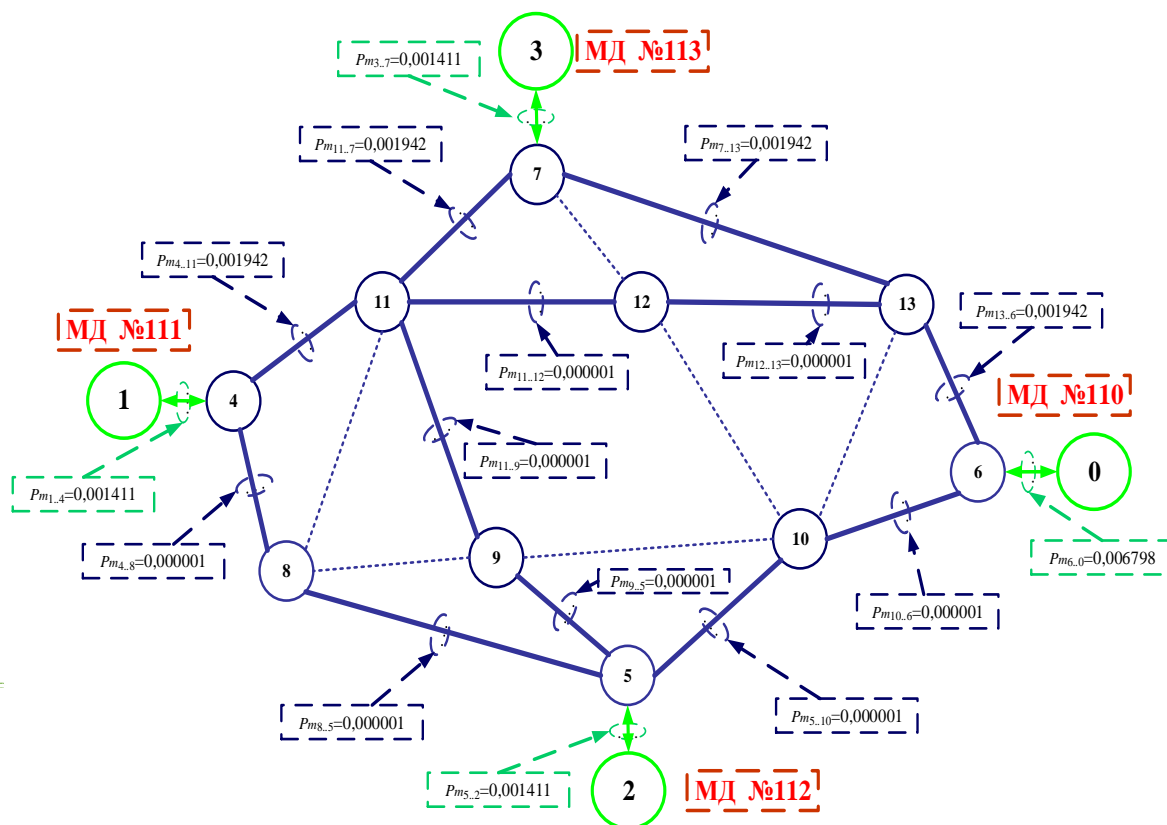


Рис. 6.2. Визначення орієнтовних значень втрат на гілках ЕКМ при використанні основного шляху передачі в ІН

Таблиця 6.2. – результати перевірки відповідності показників якості обслуговування QoS трафіку реального часу в ІН

Кількість ІН	Кількість гілок в шляхах передачі $\mu_{g_{sd}}^V$	Якість обслуговування в ІН $P_{g_{sd}}^{Trt}$, одиниць шляху передачі	Пропускна спроможність ІН, $Y(P)_{g_{sd}}$ [Erlang]	Втрачене навантаження в ІН, одиниць шляху передачі [Erlang]
1.	4../7	0,00669	1,96676	0,01324
2.	5../5	0,00476	1,97058	0,00942
3.	4../6	0,01013	1,95995	0,02005
4.	4../7	0,00669	1,96676	0,01324
5.	4../5	0,00283	1,97440	0,00560
6.	6../6	0,01205	1,95615	0,02385
7.	5../5	0,00476	1,97058	0,00942
8.	4../5	0,00283	1,97440	0,00560
9.	4../7	0,00821	1,96375	0,01625
10.	4../5	0,01013	1,95995	0,02005
11.	6../6	0,01205	1,95615	0,02385
12.	4../7	0,00821	1,96375	0,01625

Згідно отриманих результатів таблиця 6.2., на основі існуючого методу після перевірки відповідності показників $(P_{Trt}^{QoS}(t) \geq \forall P_{Trt}^{norm})$ якості обслуговування трафіку реального часу в чотирьох інформаційних напрямках розраховані значення не відповідають нормованим $P_{gsd}^{Trt} (\geq 0,01)$.

Відповідно, до розроблених удосконалень згідно етапів представленого методу були проведені відповідні розрахунки та зведені в таблицю 6.3.

А саме, в результаті розподілу навантаження в інформаційних напрямках при використанні двох незалежних шляхів передачі, а також проведено визначення значень втрат в гілках та інформаційних напрямках ЕКМ.

На рисунку 6.3. показані, які гілки ЕКМ задіяні при обслуговуванні трафіка реального на основі скорегованого плану розподілу навантаження в процесі розрахунків.

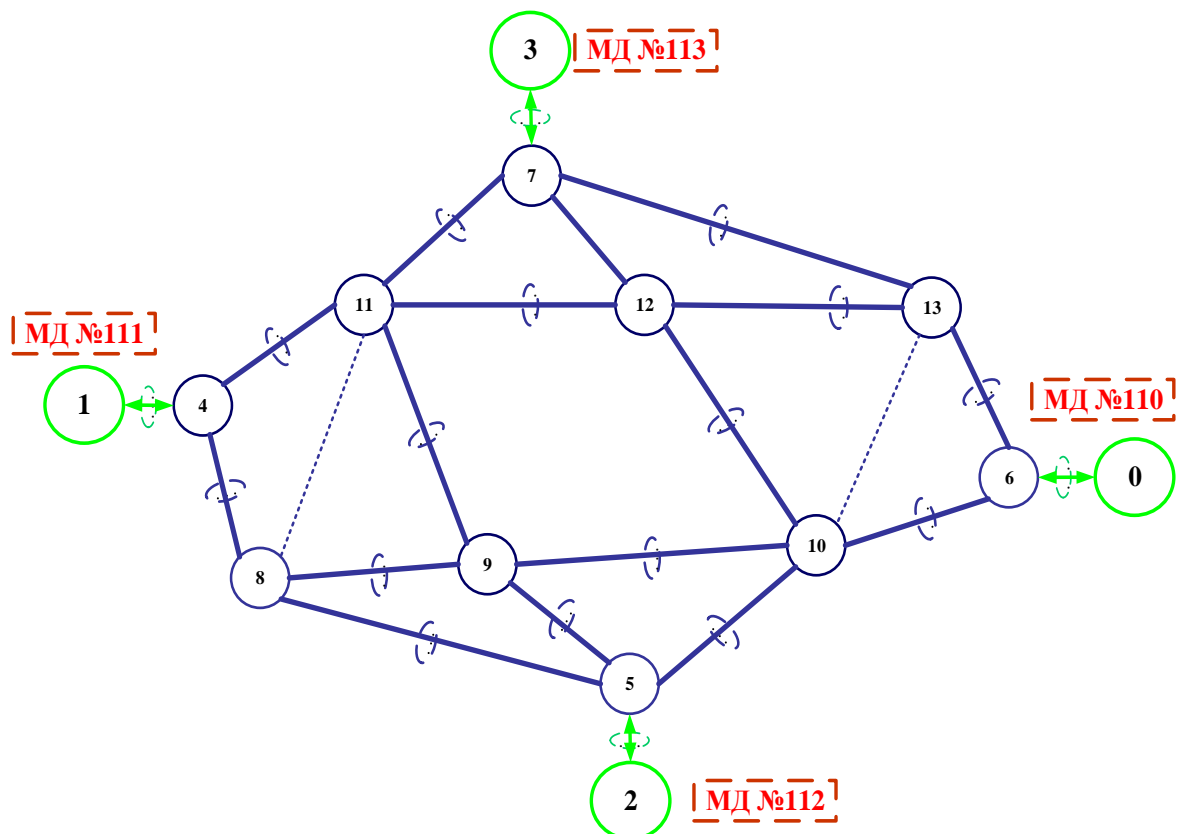


Рис. 6.3. Кількість гілок, які використовуються для передачі трафіку реального часу при використанні двох шляхів передачі в інформаційному напрямку

Таблиця 6.3. – результати розподілу навантаження трафіку реального часу по двом шляхам передачі в кожному інформаційному напрямку та перевірка відповідності показників якості обслуговування QoS

QoS в основному шляху передачі μ_{gsd}^1	QoS в обхідному шляху передачі μ_{gsd}^2	Пропускна спроможність ІН, $Y(P)_{gsd}$ [Erlang]	Втрачене навантаження в ІН, два шляхи передачі [Erlang]	$\Delta Y(P)_{gsd}$ [%]	QoS в ІН P_{gsd}^{Trt} , два шляхи передачі μ_{gsd}^v	ΔP_{gsd}^{Trt} [%]
0,00701	0,00375	1,97995	0,00005	0,6662	0,00003	13,21
0,00504	0,00306	1,97997	0,00003	0,4743	0,00002	9,4
0,01090	0,01089	1,97977	0,00023	1,0011	0,00012	19,93
0,00701	0,00375	1,97995	0,00005	0,6662	0,00003	13,21
0,00369	0,00502	1,97997	0,00003	0,2814	0,00002	5,58
0,01285	0,00956	1,97976	0,00024	1,1925	0,00013	23,72
0,00504	0,00306	1,97997	0,00003	0,4743	0,00002	9,4
0,00369	0,00502	1,97997	0,00003	0,2814	0,00002	5,58
0,00887	0,0109	1,97981	0,00019	0,8112	0,00010	16,15
0,0109	0,00891	1,97981	0,00019	1,0031	0,00010	19,95
0,98714	0,00956	1,96132	0,01868	0,2612	0,00944	14,41
0,00887	0,0109	1,97981	0,00019	0,8112	0,00010	16,15

Відповідно, використання двох незалежних шляхів передачі в кожному інформаційному напрямку дозволяє збільшити пропускну спроможність мережі, а також зменшити втрати в кожному інформаційному напрямку.

В свою чергу, при однакових вхідних даних, використання запропонованих удосконалень на основі квазістатичного методу формування плану розподілу навантаження, а також використання не менше двох незалежних шляхів в ІН дозволяє збільшити пропускну спроможність мережі в середньому на 19 – 20 %. А також дозволяє, зменшити втрати в ІН в середньому на 35 %.

Також необхідно відмітити, що використання розроблених методів призводить до більш рівномірного розподілу навантаження між гілками мережі і відповідно збільшення коефіцієнта використання мережевого ресурсу в середньому в 1,15 рази.

Подальші експерименти підтверджують доцільність використання, як мінімум двох незалежних шляхів передачі в залежності від пропускнув спроможності та якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу в інформаційному напрямку та розмірності (зв'язності) мережі рис. 6.4.

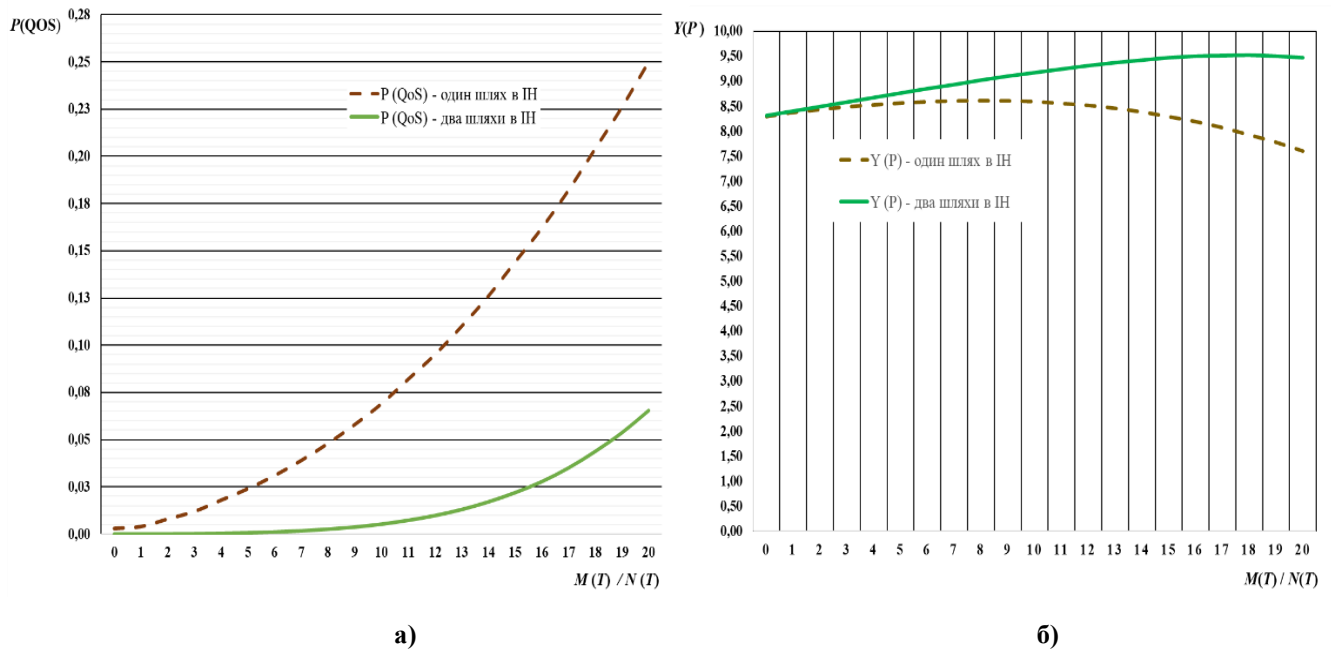


Рис. 6.4. Залежність: а) якості обслуговування трафіка реального часу P_{gsd}^{Trt} та б) пропускнув спроможності $Y(P)_{gsd}$ від кількості транзитних вузлів в шляхах

Адекватність розробленого науково-методологічного апарату підтверджується шляхом проведення імітаційного моделювання обслуговування трафіку реального часу в мережевому симуляторі дискретних подій Network Simulator 2 (NS 2) [148 – 152]. Для виконання даного завдання, відповідно до вхідних даних при аналітичному моделюванні, структури та параметрів мережі була розроблена імітаційна модель керуючі параметри якої показані на рис. 6.5.

Вхідні дані для проведення серії експериментів:

Структура електронно-комунікаційної мережі представлена на рис. 6.5.

C_{type} – тип кодека G.711 = 84 [Кбіт/с] (разом із додатковою службовою інформацією при обслуговуванні голосового потоку);

\bar{t}_{talk} – середній час розмови абонента = 3,5 [хв] (210 с);

\bar{V}_{talk} – середній об'єм голосового повідомлення за середній час розмови = 2205000 [байт];

L_{frame} – середня довжина кадра на каналному рівні = 1000 [байт];

$T_{link\ delay}$ – середня затримка у вузлах ЕКМ = 30 [мсек];

$V_{m_{TN}}^{bit}$ – швидкість передачі гілки транспортної мережі = 1,5 [Мбіт/с];

$V_{m_{AN}}^{bit}$ – швидкість передачі гілки мережі доступу (лінія прив'язки) = 2 [Мбіт/с];

$T_{generate}$ – період генерації пакетів за одиницю часу = 1 [сек];

$\lambda_{generate}$ – інтенсивність надходження пакетів [Кбіт/с] в залежності від кількості одночасних розмов абонентів A_{talk} приведено в таблиці 6.4. Закон надходження (генерування) вхідних пакетів випадковий. Закон розподілу часу появи пакету експоненціальний.

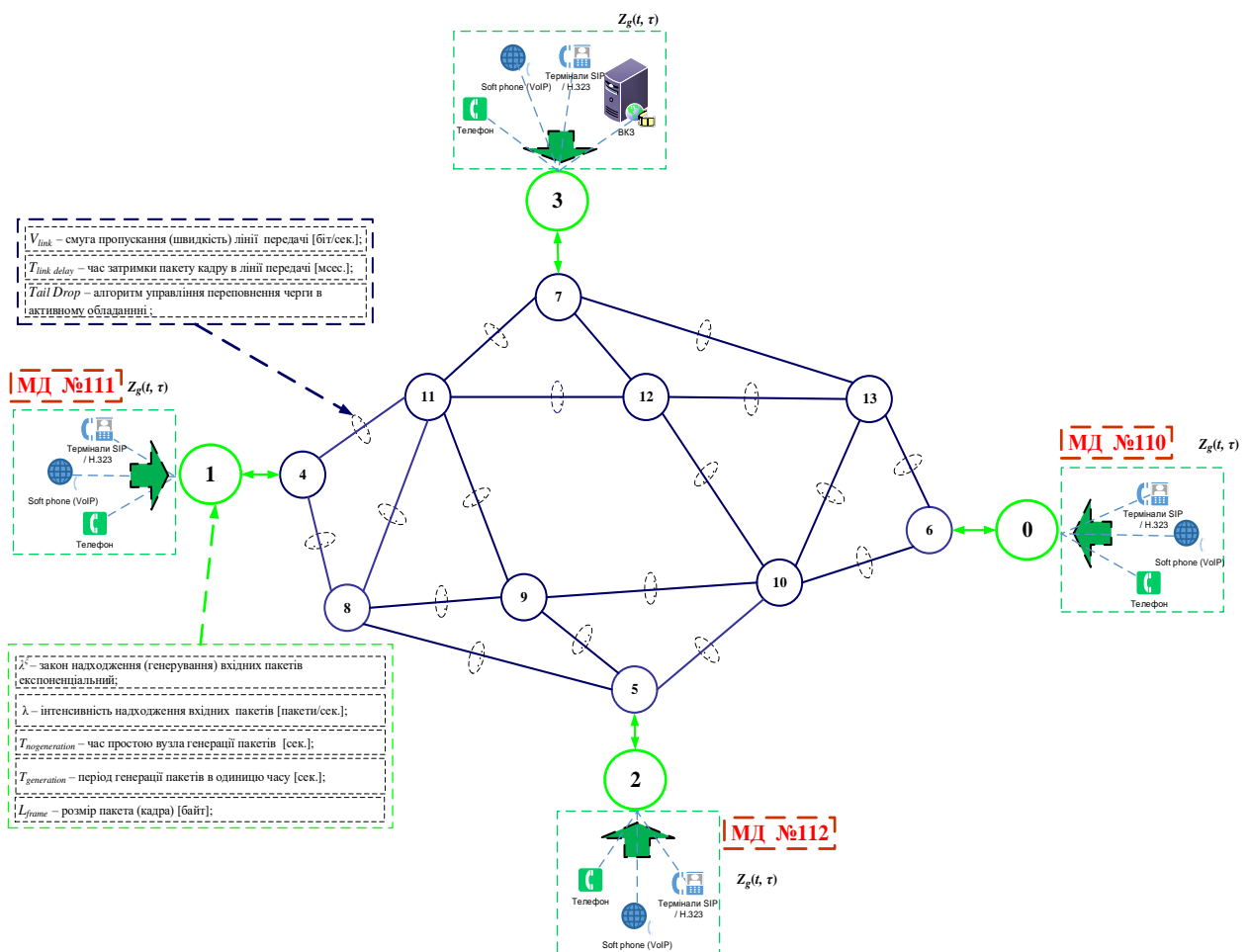


Рис. 6.5. Схема порядку налаштування основних параметрів імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні трафіка реального часу

Таблиця 6.4. – розрахунки вхідного навантаження для проведення серії експериментів на ІМ ЕКМ

№ експерименту	Кількість одночасних розмов A_{talk}	$\lambda_{generate}$ [Кбіт/сек]	Середнє значення навантаження в ІМ Z_{gsd} [Erlang]
1	60	420	2,2398
2	72	504	2,6877
3	72	504	2,6877
4	76	532	2,8370
5	76	532	2,8370
6	84	588	3,1356
7	84	588	3,1356
8	96	672	3,5836

На рис. 6.6. Представлена візуалізація структури ЕКМ в програмному середовищі NS2 перед початком проведення експериментів із розробленою імітаційною моделлю ЕКМ.

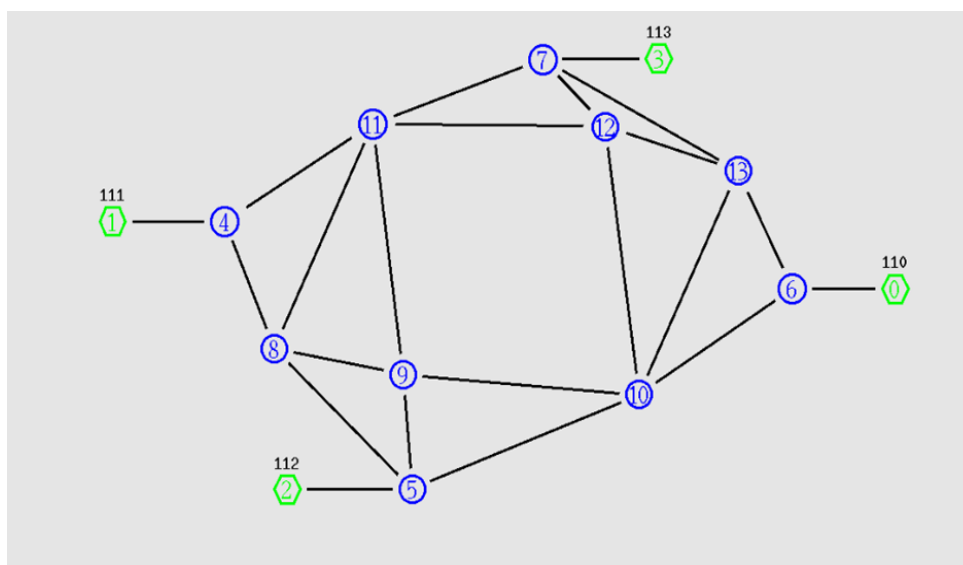


Рис. 6.6. Візуалізація структури імітаційної моделі ЕКМ

Результати першого експерименту представлені на рис. 6.7, 6.8. та 6.9. На рисунку 6.7 представлено візуалізацію обслуговування потоків трафіка реального часу в залежності від сформованого плану розподілу навантаження. Необхідно відмітити, що були використані статистичні дані при стаціонарному

режимі роботи ІМ ЕКМ. Тобто, на найгірший випадок, при одночасному генеруванні навантаження від всіх інформаційних напрямків.

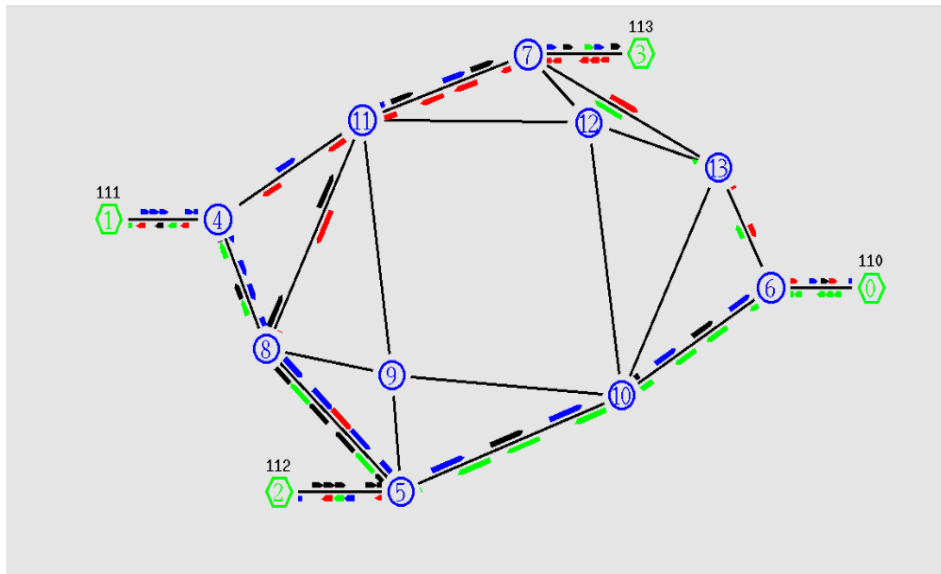


Рис. 6.7. Стаціонарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні потоків ($\lambda_{generate} = 420$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 60$)

На рисунку 6.8. представлено в графічному вигляді залежність пропускної спроможності в інформаційних напрямках від вхідного навантаження та часу моделювання. Для цього була використана бібліотека Xgraph.

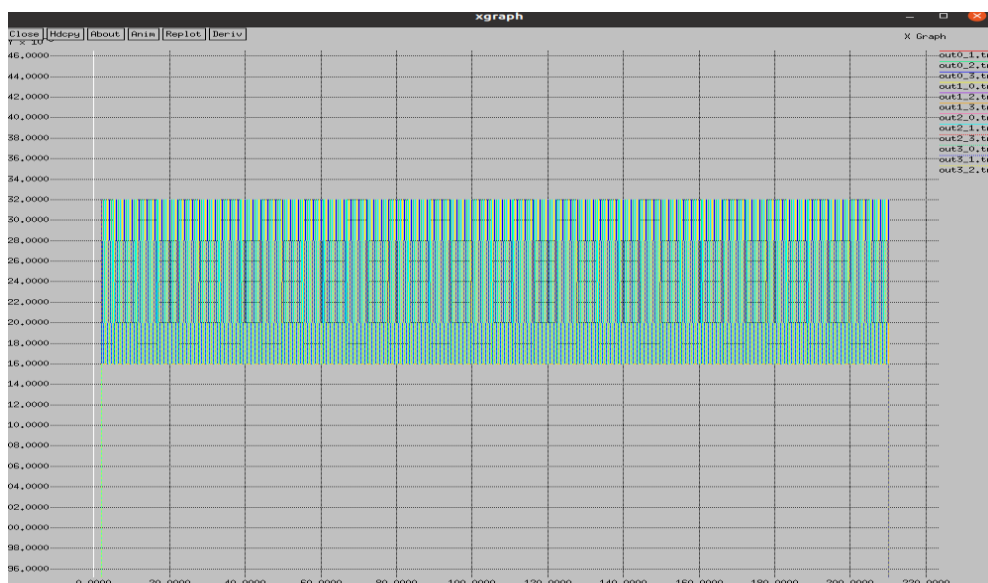


Рис. 6.8. Залежність пропускної спроможності в ІН від вхідного навантаження та часу моделювання ($\lambda_{generate} = 420$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 60$)

На рисунку 6.9 приведено результати роботи скрипта, який був написаний на мові програмування Python, щодо обробки статистичних даних файлу трасіровки шляхів передачі (out.tr) потоків пакетів через вузли мережі.

```

Information Link 1 4 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 8 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 11 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 5 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 5 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 11 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 8 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 21944 [Total recieve: 21944] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 2 Total send: 32916 [Total recieve: 32916] [Total drop: 0] Percent: 0.0

Information Direct 1 0 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 1 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 1 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 3 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 1 Total send: 10972 [Total recieve: 10972] [Total drop: 0] Percent: 0.0

All: 131664 Recieve: 131664 Drop: 0 DropLess: 0 Percent: 0.0

```

Рис. 6.9. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків

$$(\lambda_{generate} = 420 \text{ [Кбіт/с]; } A_{talk} = 60)$$

Даний скрип дозволяє збирати статистику (рис. 6.9) щодо втрат на гілках та в інформаційних напрямках імітаційної моделі ЕКМ. В результаті аналізу статистичних даних проведеного імітаційного моделювання відсутні втрати в гілках та інформаційних напрямках (рис. 6.7, 6.9).

Розглянемо наступний експеримент №2 при збільшенні вхідного навантаження ($\lambda_{generate} = 504 \text{ [Кбіт/с]; } A_{talk} = 72$). Проведений аналіз результатів моделювання вказує на те, що спостерігаються втрати на двох ІН та двох гілках мережі, що представлено на рис. 6.10, 6.11.

Однак, втрати в інформаційних напрямках в межах нормованих значень QoS для трафіка реального часу. На рисунку 6.12 показана залежність пропускної

спроможності в інформаційних напрямках від вхідного навантаження та часу моделювання для даного експерименту.

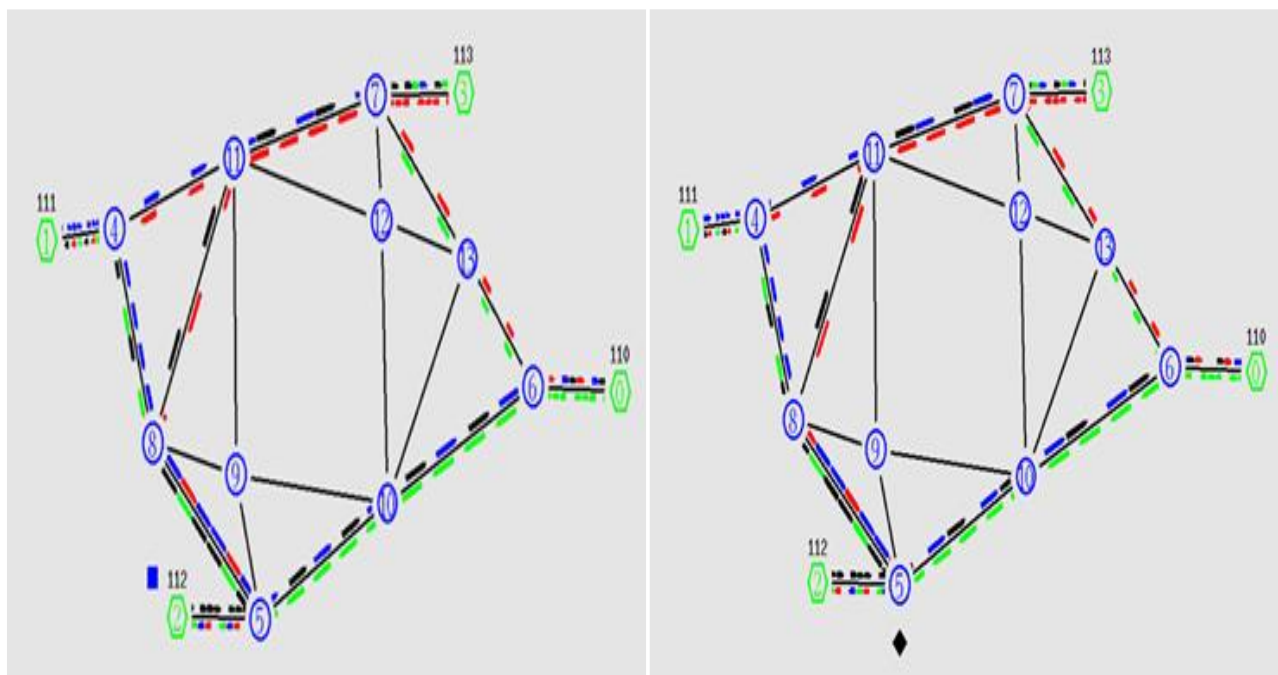


Рис. 6.10. Стаціонарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні потоків із втратами ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$)

```

Information Link 1 4 Total send: 39690 [Total recieve: 39690] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 39690 [Total recieve: 39690] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 39690 [Total recieve: 39690] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 39690 [Total recieve: 39690] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 26460 [Total recieve: 26460] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 26460 [Total recieve: 26460] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 26460 [Total recieve: 26460] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 8 Total send: 39690 [Total recieve: 39423] [Total drop: 267] Percent: 0.672713529856387
Information Link 4 11 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 26193 [Total recieve: 26193] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 5 Total send: 39690 [Total recieve: 39423] [Total drop: 267] Percent: 0.672713529856387
Information Link 10 5 Total send: 26460 [Total recieve: 26460] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 11 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 26460 [Total recieve: 26460] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 26193 [Total recieve: 26193] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 8 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 26193 [Total recieve: 26193] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 39423 [Total recieve: 39423] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 39690 [Total recieve: 39690] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 39423 [Total recieve: 39423] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 2 Total send: 39690 [Total recieve: 39690] [Total drop: 0] Percent: 0.0

Information Direct 0 1 Total send: 13230 [Total recieve: 12963] [Total drop: 267] Percent: 2.018140589569161
Information Direct 3 1 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 1 Total send: 13230 [Total recieve: 12963] [Total drop: 267] Percent: 2.018140589569161

All: 158760 Recieve: 158226 Drop: 534 DropLess: 534 Percent: 0.3363567649281935

```

Рис. 6.11. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$)

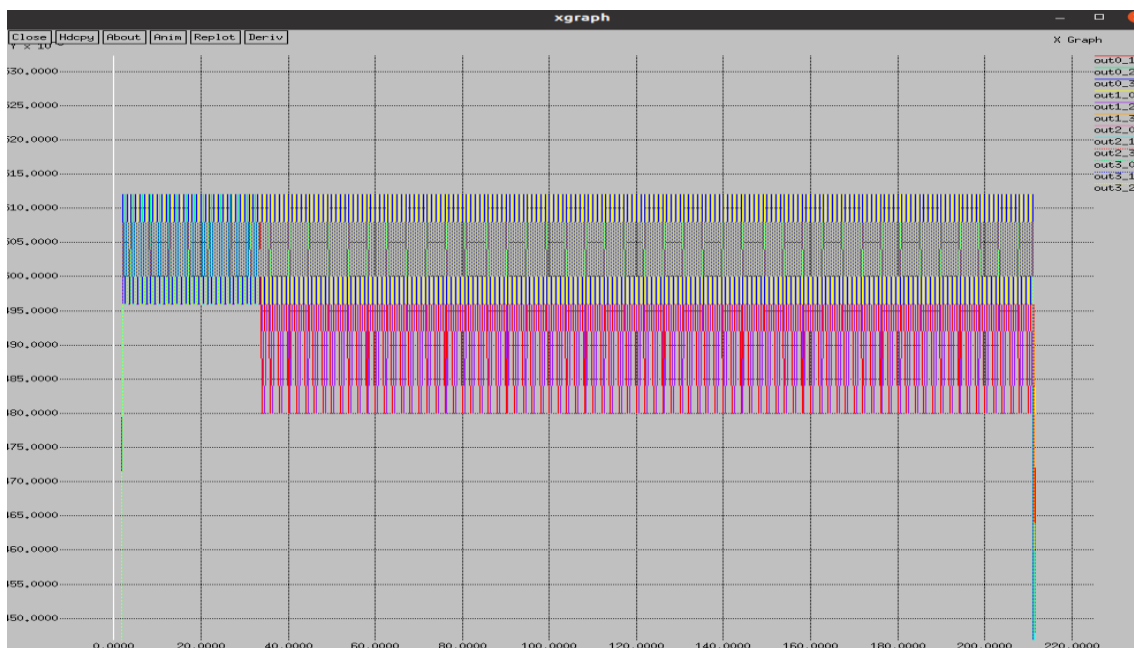


Рис. 6.12. Залежність пропускної спроможності в ІН від вхідного навантаження та часу моделювання ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$)

З метою більш ефективного використання мережевих ресурсів, був змінений ПРН (рис. 6.13) за рахунок використання незалежних шляхів передачі в інформаційних напрямках (перемаршрутизація потоків) при однакових вхідних даних згідно експерименту №2 ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$).

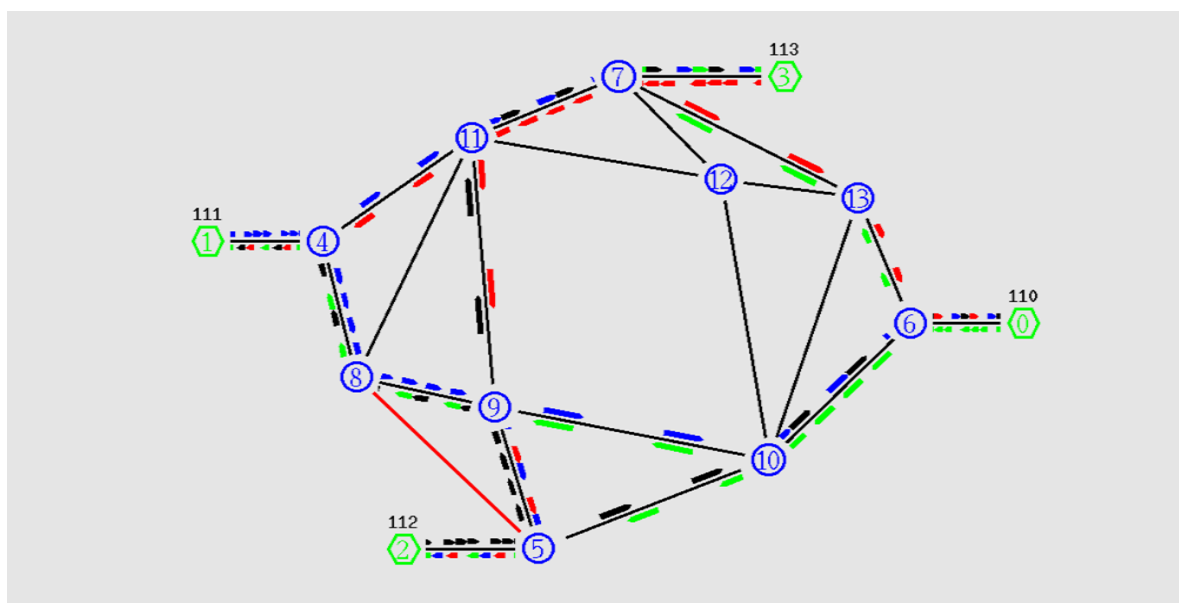


Рис. 6.13. Стаціонарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні потоків зі зміною ПРН ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$)

Тобто, був проведений експеримент №3 при корегуванні ПРН [153, 154], що дозволило позбутись втрат в інформаційних напрямках та гілках мережі (рис. 6.13, 6.14) та підвищити пропускну спроможність мережі (рис. 6.15).

```

Information Link 8 4 Total send: 26482 [Total recieve: 26482] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 9 Total send: 26475 [Total recieve: 26475] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 5 Total send: 13238 [Total recieve: 13238] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 9 Total send: 13238 [Total recieve: 13238] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 1 4 Total send: 39699 [Total recieve: 39699] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 39699 [Total recieve: 39699] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 39699 [Total recieve: 39699] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 39699 [Total recieve: 39699] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 8 Total send: 26477 [Total recieve: 26477] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 26477 [Total recieve: 26477] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 26479 [Total recieve: 26479] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 39725 [Total recieve: 39725] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 39721 [Total recieve: 39721] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 2 Total send: 39724 [Total recieve: 39724] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 39723 [Total recieve: 39723] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 5 Total send: 26480 [Total recieve: 26480] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 26470 [Total recieve: 26470] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 26470 [Total recieve: 26470] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 26470 [Total recieve: 26470] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 9 Total send: 26470 [Total recieve: 26470] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 9 Total send: 13237 [Total recieve: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 13237 [Total recieve: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 11 Total send: 13237 [Total recieve: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 11 Total send: 13235 [Total recieve: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 13235 [Total recieve: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 13235 [Total recieve: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 13235 [Total recieve: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 10 Total send: 13239 [Total recieve: 13239] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 13237 [Total recieve: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 13237 [Total recieve: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 1 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 1 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 1 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
All: 158760 Recieve: 158760 Drop: 0 Droptless: 0 Percent: 0.0

```

Рис. 6.14. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків після корегування ПРН ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$)

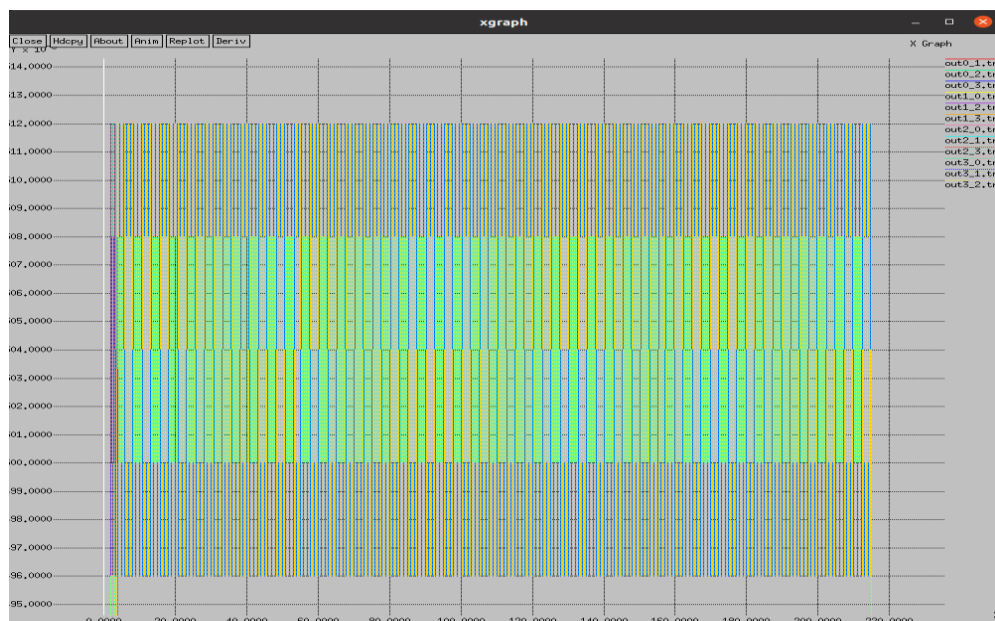


Рис. 6.15. Залежність пропускну спроможності в ІН від вхідного навантаження та часу моделювання після зміни ПРН ($\lambda_{generate} = 504$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 72$)

В подальшому були проведенні експерименти при збільшенні вхідного навантаження для знаходження граничних значень показників якості обслуговування QoS для трафіка реального часу для даної структури та параметрів мережі. Експеримент №4 ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$) з'являються втрати на шести ІН та двох гілках мережі, що перевищують нормовані граничні значення QoS для трафіка реального часу (рис. 6.16 – 6.18).

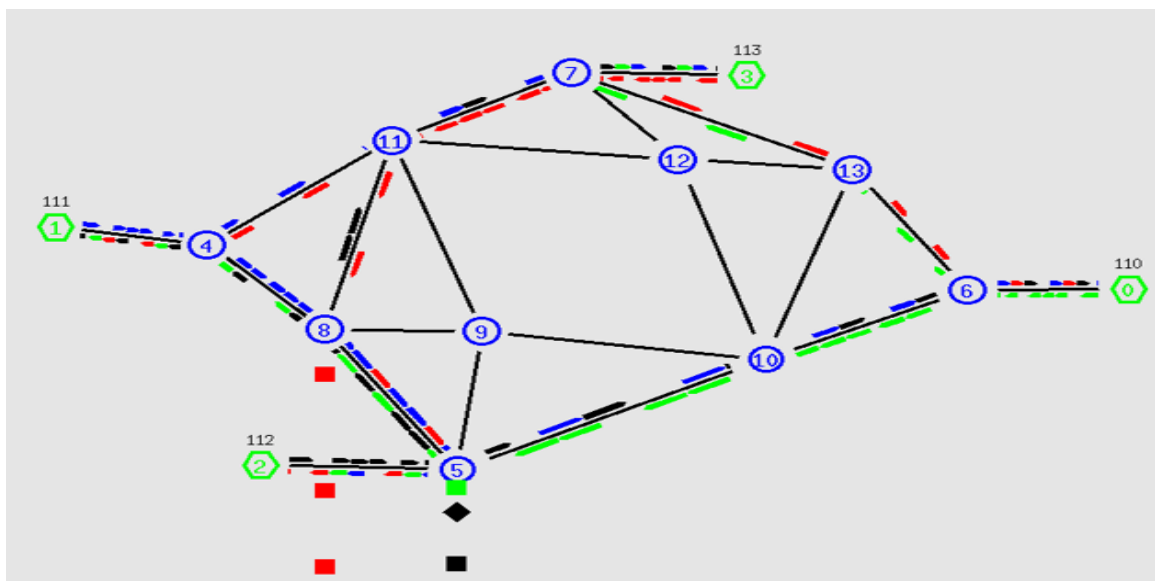


Рис. 6.16. Стаціонарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні потоків із втратами ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$)

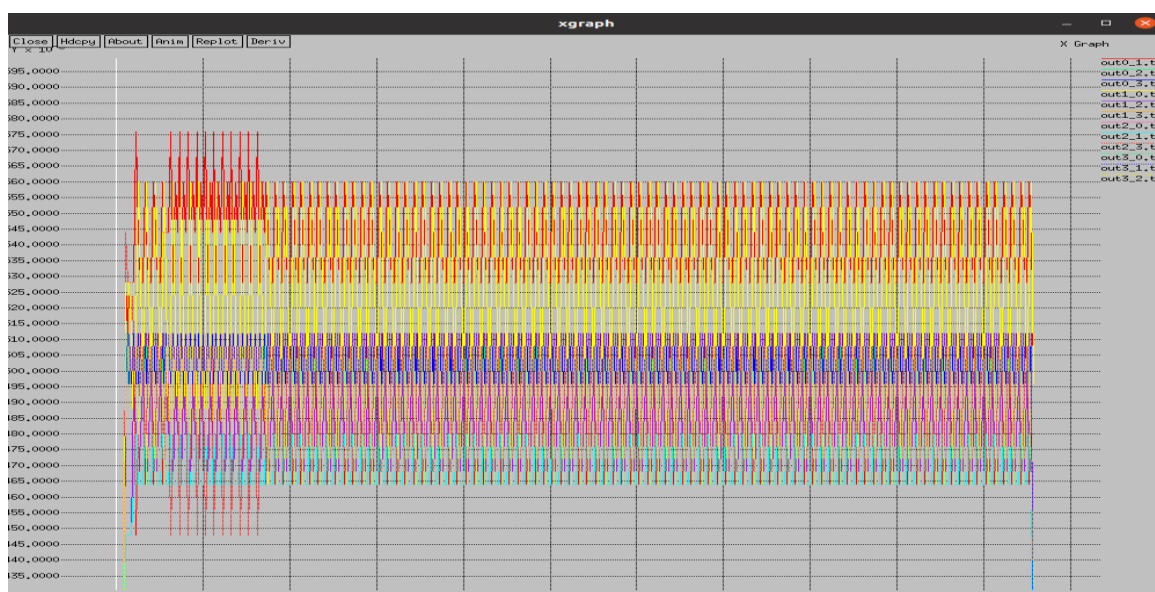


Рис. 6.17. Залежність пропускної спроможності в ІН від вхідного навантаження та часу моделювання ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$)

```

Information Link 1 4 Total send: 41895 [Total recieve: 41895] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 41895 [Total recieve: 41895] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 41895 [Total recieve: 41895] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 41895 [Total recieve: 41895] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 28665 [Total recieve: 28665] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 28665 [Total recieve: 28665] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 28665 [Total recieve: 28665] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 8 Total send: 44100 [Total recieve: 39424] [Total drop: 4676] Percent: 10.603174603174603
Information Link 4 11 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 27454 [Total recieve: 27454] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 5 Total send: 44100 [Total recieve: 39424] [Total drop: 4676] Percent: 10.603174603174603
Information Link 10 5 Total send: 28665 [Total recieve: 28665] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 8 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 11 Total send: 12977 [Total recieve: 12977] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 26207 [Total recieve: 26207] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 27454 [Total recieve: 27454] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 26447 [Total recieve: 26447] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 39437 [Total recieve: 39437] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 40684 [Total recieve: 40684] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 39677 [Total recieve: 39677] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 2 Total send: 38430 [Total recieve: 38430] [Total drop: 0] Percent: 0.0

Information Direct 1 0 Total send: 15435 [Total recieve: 14224] [Total drop: 1211] Percent: 7.845804988662132
Information Direct 0 1 Total send: 15435 [Total recieve: 13839] [Total drop: 1596] Percent: 10.34013605442177
Information Direct 3 2 Total send: 15435 [Total recieve: 12906] [Total drop: 2529] Percent: 16.38483965014577
Information Direct 2 3 Total send: 15435 [Total recieve: 12977] [Total drop: 2458] Percent: 15.924846128927761
Information Direct 3 1 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 13230 [Total recieve: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 13230 [Total recieve: 12294] [Total drop: 936] Percent: 7.074829931972789
Information Direct 2 1 Total send: 13230 [Total recieve: 12608] [Total drop: 622] Percent: 4.701436130007559

All: 167580 Recieve: 158228 Drop: 9352 DropLess: 9352 Percent: 5.58061821219716

```

Рис. 6.18. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків втрати більші нормованих ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$)

Експеримент №5 ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$), після корегування ПРН (перерозподіл потоків трафіка реального часу) втрати відсутні (рис. 6.19 – 6.21).

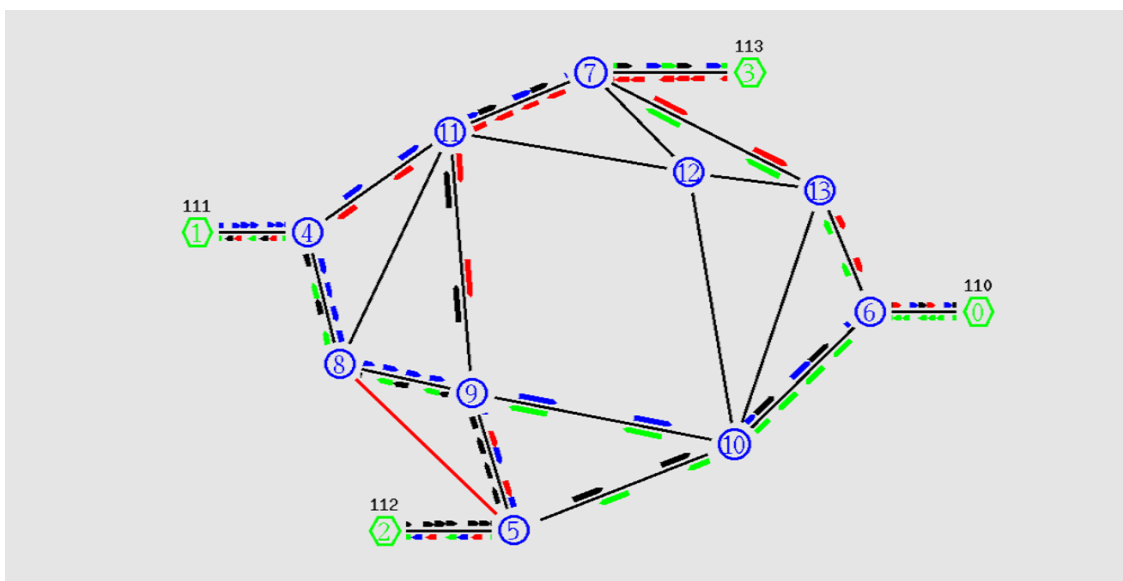


Рис. 6.19. Стаціонарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні потоків зміна ПРН ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$)

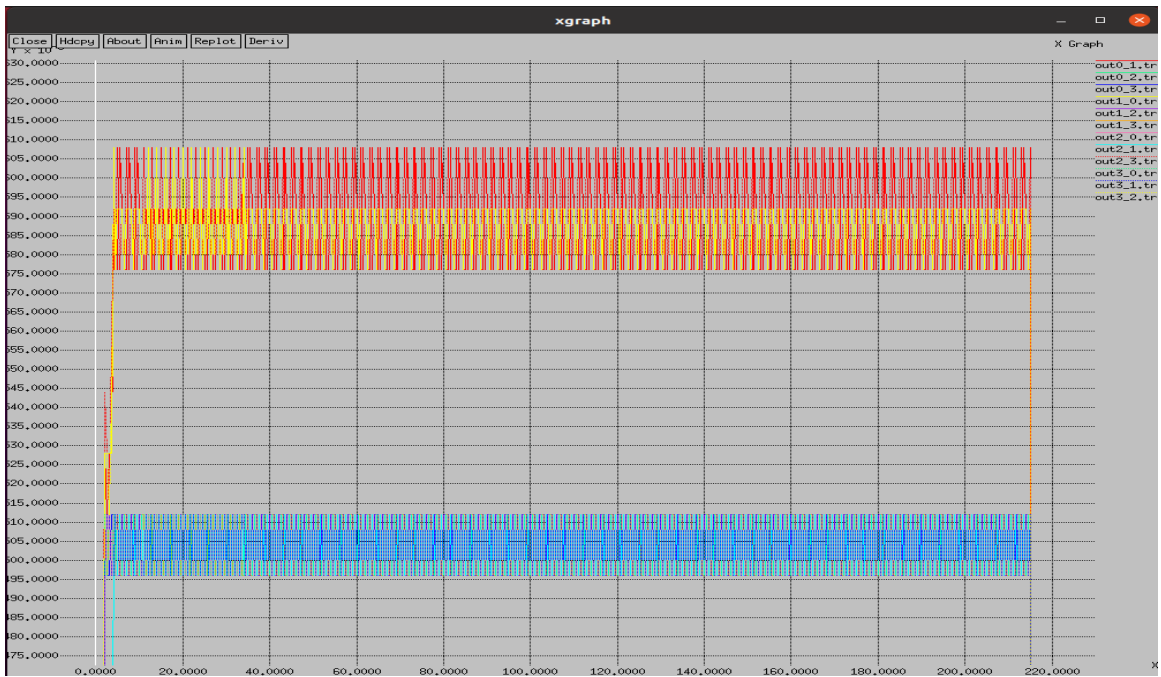


Рис. 6.20. Залежність пропускної спроможності в ІН від вхідного навантаження та часу моделювання ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$)

```

Information Link 5 2 Total send: 41930 [Total receive: 41930] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 5 Total send: 28686 [Total receive: 28686] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 28676 [Total receive: 28676] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 28676 [Total receive: 28676] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 28676 [Total receive: 28676] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 9 Total send: 28676 [Total receive: 28676] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 9 Total send: 15444 [Total receive: 15444] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 41904 [Total receive: 41904] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 1 4 Total send: 41904 [Total receive: 41904] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 41904 [Total receive: 41904] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 41904 [Total receive: 41904] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 9 Total send: 15444 [Total receive: 15444] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 11 Total send: 15444 [Total receive: 15444] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 9 Total send: 28681 [Total receive: 28681] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 28688 [Total receive: 28688] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 41927 [Total receive: 41927] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 41930 [Total receive: 41930] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 41932 [Total receive: 41932] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 11 Total send: 13235 [Total receive: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 13235 [Total receive: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 13235 [Total receive: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 8 Total send: 28683 [Total receive: 28683] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 28683 [Total receive: 28683] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 10 Total send: 15446 [Total receive: 15446] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 13235 [Total receive: 13235] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 28685 [Total receive: 28685] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 13237 [Total receive: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 13237 [Total receive: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 5 Total send: 13237 [Total receive: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 13237 [Total receive: 13237] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 0 Total send: 15435 [Total receive: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 1 Total send: 15435 [Total receive: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 15435 [Total receive: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 3 Total send: 15435 [Total receive: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 1 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 3 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 1 Total send: 13230 [Total receive: 13230] [Total drop: 0] Percent: 0.0
All: 167580 Receive: 167580 Drop: 0 DropLess: 0 Percent: 0.0

```

Рис. 6.21. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків після корегування ПРН ($\lambda_{generate} = 532$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 76$)

Експеримент №6 ($\lambda_{generate} = 588$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 84$), тобто ще збільшено навантаження в порівнянні з попередніми експериментами.

Відповідно втрати на двох ІН та двох гілках мережі недопустимі рис. 6.22.

```

Information Link 1 4 Total send: 46305 [Total recieve: 46305] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 46305 [Total recieve: 46305] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 46305 [Total recieve: 46305] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 46305 [Total recieve: 46305] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 8 Total send: 46305 [Total recieve: 39425] [Total drop: 6880] Percent: 14.85800669474139
Information Link 4 11 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 5 Total send: 46305 [Total recieve: 39425] [Total drop: 6880] Percent: 14.85800669474139
Information Link 10 5 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 11 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 30870 [Total recieve: 30870] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 8 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 23990 [Total recieve: 23990] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 39425 [Total recieve: 39425] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 46305 [Total recieve: 46305] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 46305 [Total recieve: 46305] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 2 Total send: 39425 [Total recieve: 39425] [Total drop: 0] Percent: 0.0

Information Direct 1 0 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 1 Total send: 15435 [Total recieve: 8555] [Total drop: 6880] Percent: 44.574020084224166
Information Direct 3 1 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 15435 [Total recieve: 8555] [Total drop: 6880] Percent: 44.574020084224166
Information Direct 2 3 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 1 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0

All: 185220 Recieve: 171460 Drop: 13760 DropLess: 13760 Percent: 7.429003347370695

```

Рис. 6.22. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків втрати недопустимі ($\lambda_{generate} = 588$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 84$)

Після корегування (зміни) плану розподілу навантаження, експеримент №7 ($\lambda_{generate} = 588$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 84$), втрати на гілках стали відсутні рис. 6.23

```

Information Link 5 2 Total send: 46345 [Total recieve: 46345] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 3 Total send: 46341 [Total recieve: 46341] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 1 4 Total send: 46315 [Total recieve: 46315] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 0 6 Total send: 46315 [Total recieve: 46315] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 3 7 Total send: 46315 [Total recieve: 46315] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 2 5 Total send: 46315 [Total recieve: 46315] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 30882 [Total recieve: 30882] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 30882 [Total recieve: 30882] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 30882 [Total recieve: 30882] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 9 Total send: 30882 [Total recieve: 30882] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 1 Total send: 46346 [Total recieve: 46346] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 5 Total send: 30893 [Total recieve: 30893] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 30895 [Total recieve: 30895] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 30892 [Total recieve: 30892] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 9 Total send: 30887 [Total recieve: 30887] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 5 Total send: 15444 [Total recieve: 15444] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 9 Total send: 15444 [Total recieve: 15444] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 8 Total send: 30900 [Total recieve: 30900] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 10 Total send: 15446 [Total recieve: 15446] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 30889 [Total recieve: 30889] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 46343 [Total recieve: 46343] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 11 Total send: 15441 [Total recieve: 15441] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 15441 [Total recieve: 15441] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 15441 [Total recieve: 15441] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 15441 [Total recieve: 15441] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 9 Total send: 15443 [Total recieve: 15443] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 15443 [Total recieve: 15443] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 11 Total send: 15443 [Total recieve: 15443] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 15443 [Total recieve: 15443] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 15443 [Total recieve: 15443] [Total drop: 0] Percent: 0.0

Information Direct 1 0 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 1 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 1 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 0 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 3 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 0 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 2 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 2 1 Total send: 15435 [Total recieve: 15435] [Total drop: 0] Percent: 0.0

All: 185220 Recieve: 185220 Drop: 0 DropLess: 0 Percent: 0.0

```

Рис. 6.23. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків після корегування ПРН втрати відсутні ($\lambda_{generate} = 588$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 84$)

Тобто, при більш рівномірному завантаженні мережевих ресурсів втрати на гілках стали відсутні рис. 6.23 та збільшена пропускна спроможність рис. 6.24.

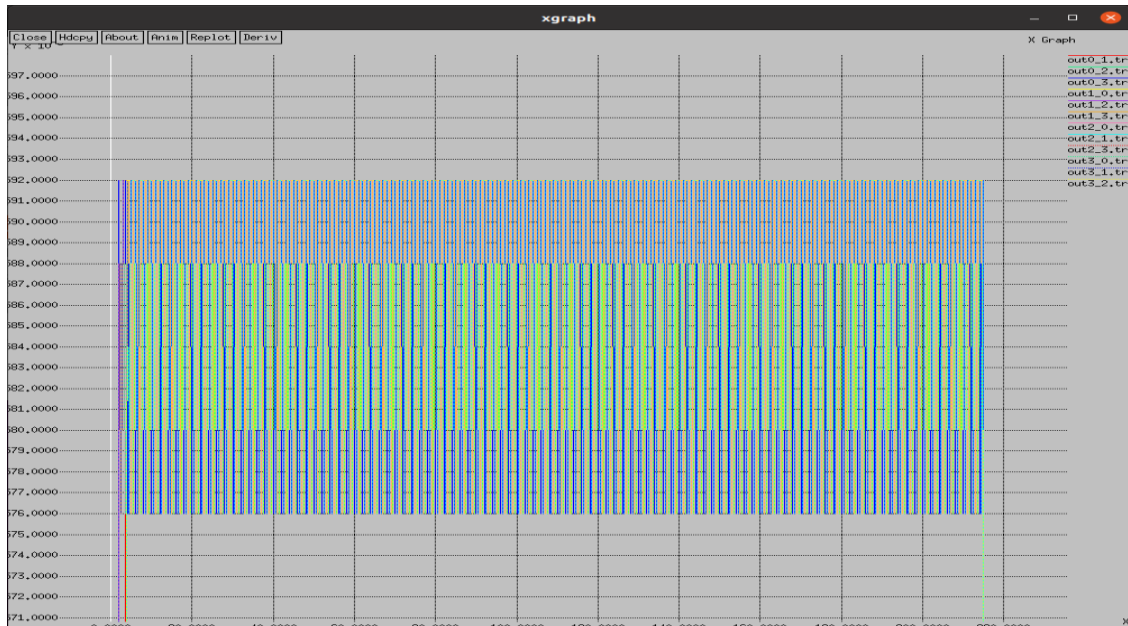


Рис. 6.24. Залежність пропускної спроможності в ІН від вхідного навантаження та часу моделювання ($\lambda_{generate} = 588$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 84$)

Експеримент №8 ($\lambda_{generate} = 672$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 96$) проведений з метою знаходження максимально допустимого навантаження без перевищення граничних значень втрат в ІН. На рис. 6.25 та 6.26 результати моделювання.

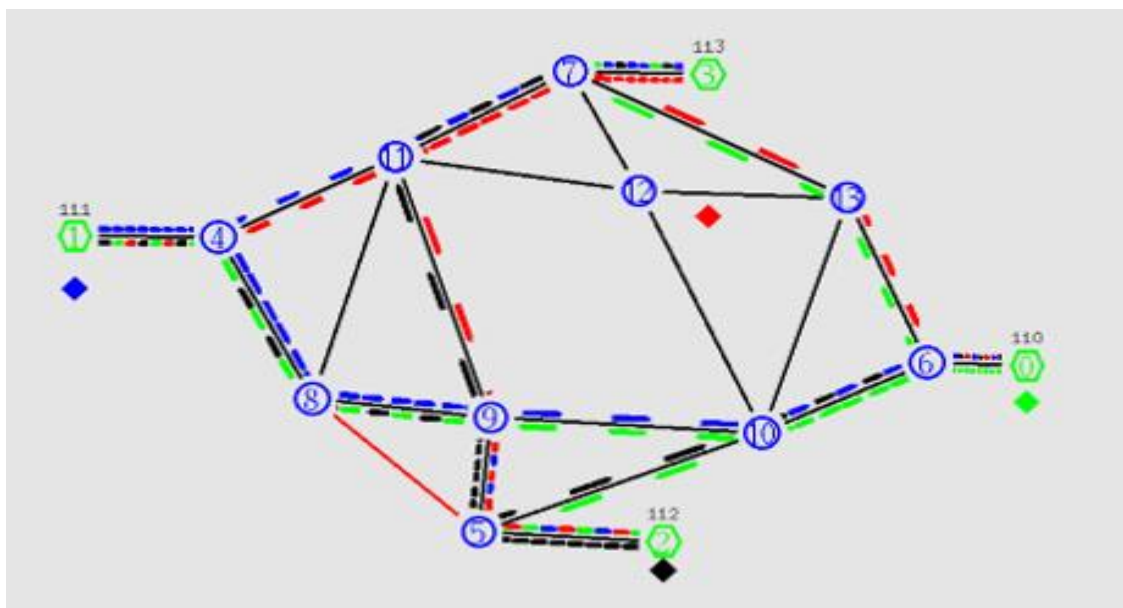


Рис. 6.25. Стаціонарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ при обслуговуванні потоків зміна ПРН ($\lambda_{generate} = 672$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 96$)

```

Information Link 9 5 Total send: 34548 [Total recieve: 34548] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 4 Total send: 34932 [Total recieve: 34932] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 8 9 Total send: 34923 [Total recieve: 34923] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 5 Total send: 17271 [Total recieve: 17271] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 8 Total send: 34926 [Total recieve: 34926] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 9 Total send: 17271 [Total recieve: 17271] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 8 Total send: 34917 [Total recieve: 34917] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 10 Total send: 34917 [Total recieve: 34917] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 9 Total send: 34917 [Total recieve: 34917] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 11 Total send: 34917 [Total recieve: 34917] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 1 4 Total send: 52939 [Total recieve: 52557] [Total drop: 382] Percent: 0.7215852207257409
Information Link 0 6 Total send: 52939 [Total recieve: 52557] [Total drop: 382] Percent: 0.7215852207257409
Information Link 2 5 Total send: 52939 [Total recieve: 52557] [Total drop: 382] Percent: 0.7215852207257409
Information Link 3 7 Total send: 52939 [Total recieve: 52557] [Total drop: 382] Percent: 0.7215852207257409
Information Link 5 2 Total send: 51830 [Total recieve: 51830] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 0 Total send: 52973 [Total recieve: 52638] [Total drop: 335] Percent: 0.6323976365318181
Information Link 7 3 Total send: 52970 [Total recieve: 52635] [Total drop: 335] Percent: 0.6324334528978667
Information Link 4 1 Total send: 52596 [Total recieve: 52596] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 6 Total send: 35310 [Total recieve: 35310] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 10 Total send: 17655 [Total recieve: 17655] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 7 Total send: 35307 [Total recieve: 35307] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 10 9 Total send: 17652 [Total recieve: 17652] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 9 11 Total send: 17652 [Total recieve: 17652] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 11 4 Total send: 17652 [Total recieve: 17652] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 7 Total send: 17652 [Total recieve: 17652] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 13 6 Total send: 17652 [Total recieve: 17652] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 4 11 Total send: 17649 [Total recieve: 17649] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 6 13 Total send: 17649 [Total recieve: 17649] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 5 10 Total send: 17649 [Total recieve: 17649] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Link 7 13 Total send: 17649 [Total recieve: 17649] [Total drop: 0] Percent: 0.0

Information Direct 1 0 Total send: 17640 [Total recieve: 17640] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 1 Total send: 17640 [Total recieve: 17640] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 1 Total send: 17640 [Total recieve: 17640] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 1 3 Total send: 17640 [Total recieve: 17640] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 3 Total send: 17640 [Total recieve: 17305] [Total drop: 335] Percent: 1.899092970521542
Information Direct 3 0 Total send: 17640 [Total recieve: 17640] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 3 2 Total send: 17640 [Total recieve: 17258] [Total drop: 382] Percent: 2.165532879818594
Information Direct 2 3 Total send: 17640 [Total recieve: 17640] [Total drop: 0] Percent: 0.0
Information Direct 0 2 Total send: 17640 [Total recieve: 17258] [Total drop: 382] Percent: 2.165532879818594
Information Direct 2 0 Total send: 17640 [Total recieve: 17305] [Total drop: 335] Percent: 1.899092970521542
Information Direct 1 2 Total send: 17640 [Total recieve: 17258] [Total drop: 382] Percent: 2.165532879818594
Information Direct 2 1 Total send: 17640 [Total recieve: 17258] [Total drop: 382] Percent: 2.165532879818594

All: 211680 Recieve: 209482 Drop: 2198 DropLess: 2198 Percent: 1.0383597883597884

```

Рис. 6.26. Результати обробки файлу трасіровки шляхів передачі потоків після корегування ПРН втрати допустимі ($\lambda_{generate} = 672$ [Кбіт/с]; $A_{talk} = 96$)

Тобто, при проведенні експерименту №8, за рахунок корегування плану розподілу навантаження було досягнуто більша пропускна спроможність мережі при дотриманні граничних нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу в інформаційних напрямках.

Всі отримані статистичні дані серії експериментів, щодо моделювання обслуговування трафіка реального часу, зведені в таблицю 6.5.

Проведений аналіз статистичних даних серії експериментів на імітаційній моделі показав, що корегування плану розподілу навантаження при незмінній структурі ЕКМ та об'єму мережевого ресурсу призводить до виграшу пропускної спроможності в середньому на 16 – 18 % навіть при допустимих граничних значеннях втрат (рис. 6.26). Також, це дозволяє більш рівномірно розподілити навантаження між гілками мережі відповідно збільшується КВМР (K_m) в середньому в 1,12 рази. Тобто використання методів ТЕ дозволяє покращити QoS

трафіку реального часу та збільшити пропускну спроможність без введення додаткових мережевих ресурсів.

Таблиця 6.5. – узагальнені статистичні дані експериментів на імітаційній моделі ЕКМ

λ / A_{talk}	Generate package	Recive package	Loss pack.	Recive package [%]	Loss package [%]	$\sum Y(P)_{gsd} min$ [Mbit/sec.]	$\sum Y(P)_{gsd} max$ [Mbit/sec.]	№ ID	Loss pack. ID [%]	№ link	Loss pack. link [%]
420 (60)	131664	131664	0	100	0	0,416	0,432		–	–	–
504 (72)	158760	158226	534	99,66365	0,33636	0,480	0,512	1...0	2,0181	5...8	0,6727
								2...1	2,0181	8...5	0,6727
504 (72)	158760	158760	0	100	0	0,496	0,512		–	–	–
532 (76)	167580	158228	9352	94,41939	5,58062	0,465	0,56	1...0	7,8458	5...8	10,603
								0...1	10,340	8...5	10,603
								3...2	16,384		
								2...3	15,924		
								1...2	7,0748		
								2...1	4,7014		
532 (76)	167580	167580	0	100	0	0,495	0,605		–	–	–
588 (84)	185220	171460	13760	92,571	7,42901	0,52	0,592	0...1	44,574	5...8	14,858
								3...2	44,574	8...5	14,858
588 (84)	185220	185220	0	100	0	0,575	0,593		–	–	–
672 (96)	211680	209482	2198	98,96165	1,03836	0,656	0,720	0...3	1,8990	1...4	0,7215
								3...2	2,1655	0...6	0,7215
								0...2	2,1655	2...5	0,7215
								2...0	1,8990	3...7	0,7215
								1...2	2,1655	6...0	0,6323
								2...1	2,1655	7...3	0,6323

6.2. Розробка імітаційної моделі рівня управління електронної комунікаційної для моделювання обслуговування трафіку сигналізації

В роботі було проведено дослідження процесу функціонування трьох типів мереж, при однаковій топології та вхідних даних, архітектура яких представлена на рис. 6.27, рис. 6.28 та рис. 6.29. А саме, проведено моделювання для топології

мережі із використанням технології IP (тобто чиста IP мережа) рис. 6.27, мережа при використанні рівня управління IMS рис. 6.28, а також IMS мережа при використанні доменної структури (два домени IMS) рис. . 6.29.

Дослідження параметрів функціонування мережі здійснювалось при використанні емулятора комп'ютерної мережі Mininet на основі графічного інтерфейсу MiniEdit [155, 156].

Розглянемо основні елементи сегментів мережі, що побудовані за допомогою MiniEdit:

IP мережа (12 віртуальних маршрутизаторів; та 16 хостів);

мережа IMS (1 CSCF (Call Session Control Function); віртуальних комутаторів OVS; та 16 хостів);

доменна IMS (2 CSCF (Call Session Control Function); віртуальних комутаторів OVS; та 16 хостів).

При цьому будемо використовувати наступні вхідні дані:

топології сегментів мережі (IP мережа, мережа IMS, доменна структура IMS) представлені на рис. 6.27 – 6.29;

тестуються всі інформаційні напрямки ID кількість яких SUM_{ID} визначається за допомогою формули $SUM_{ID} = A_{host} \cdot (A_{host} + A_{host})$, де A_{host} – кількість вузлів в мережі що аналізується. Відповідно $SUM_{ID} = 240$;

розмір кадру ICMP [157, 158], який використовувався для тестування сегментів мереж $L_{frame_ICMP} = 64$ [byte];

затримка в лінії зв'язку t_{link_delay} змінюється в діапазоні від 0 до 10000 [msec.];

швидкість передачі в лініях зв'язку $V_{link_BW} = 10$ [Mbit/sec.];

процент втрат в лініях зв'язку $Loss_{\%} = 0$;

розглядаються найбільш віддалені (згідно структури сегментів мереж) інформаційні напрямки (рис. 6.27, рис. 6.28, рис. 6.29): ID_{h1-h7} ; ID_{h1-h9} ; ID_{h1-16} .

В результаті моделювання будемо визначати наступні параметри мережі:

1. Показник Round-Trip Time (RTT), який являє собою час передачі між хостами мережі. При цьому будемо визначати середнє значення відклику RTT T_{RTT_avg} [msec.].

2. Експериментальне значення втрат і як наслідок кількість (процент) інформаційних напрямків, які стають недосяжними із-за затримок в мережі.

Тобто, була проведена оцінка ефективності впровадження ядра IMS на рівні управління ЕКМ для різних сценаріїв використання.

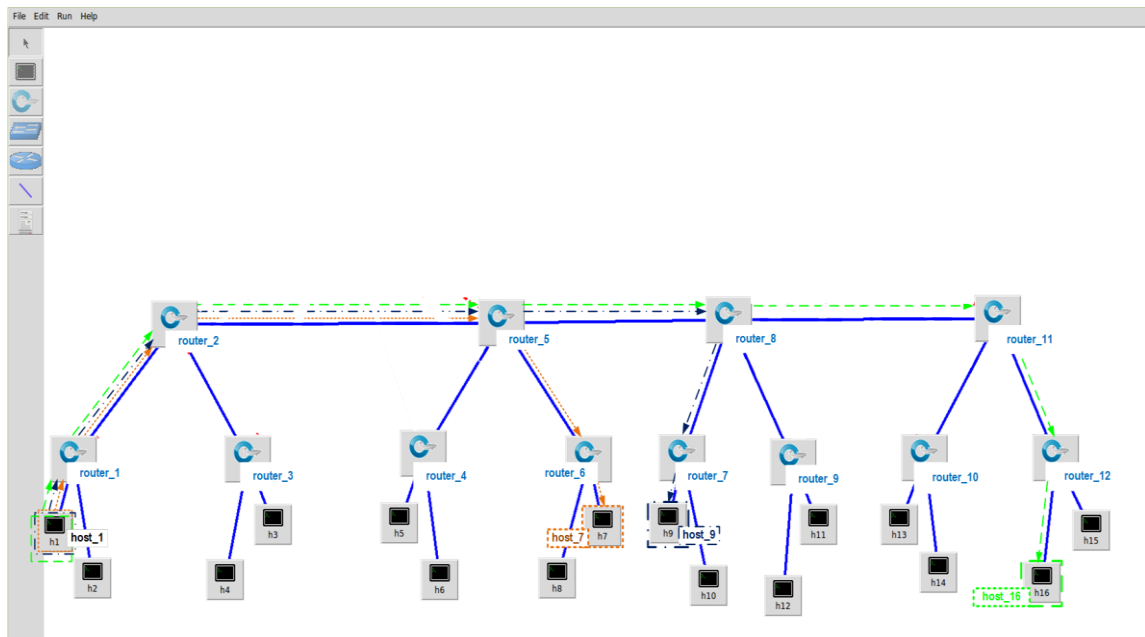


Рис. 6.27. Модель сегменту IP мережі

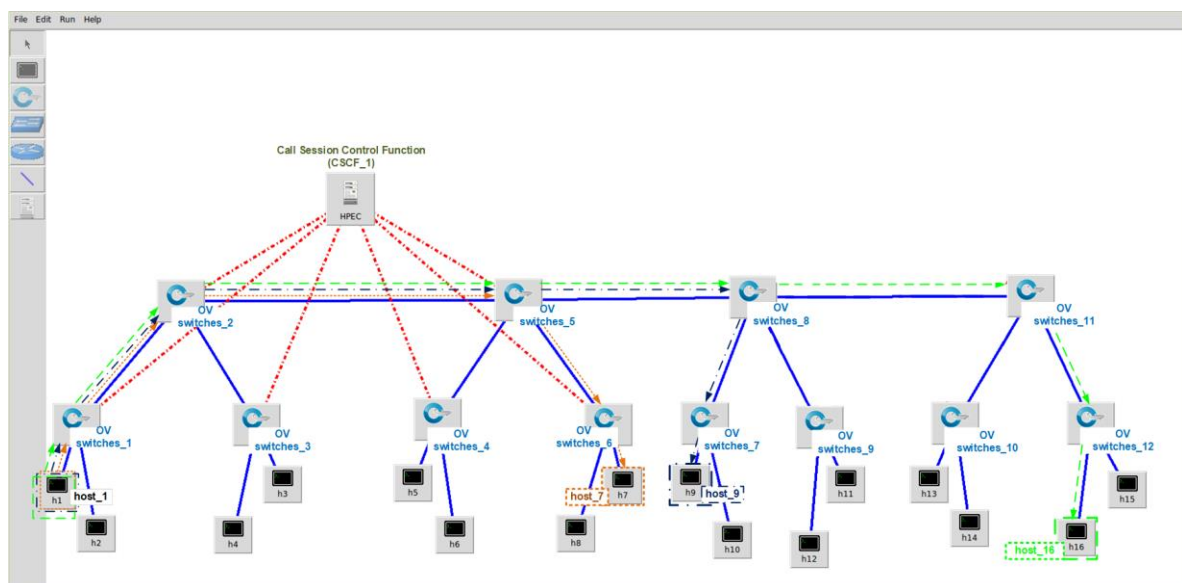


Рис. 6.28. Модель сегменту мережі при використанні рівня IMS

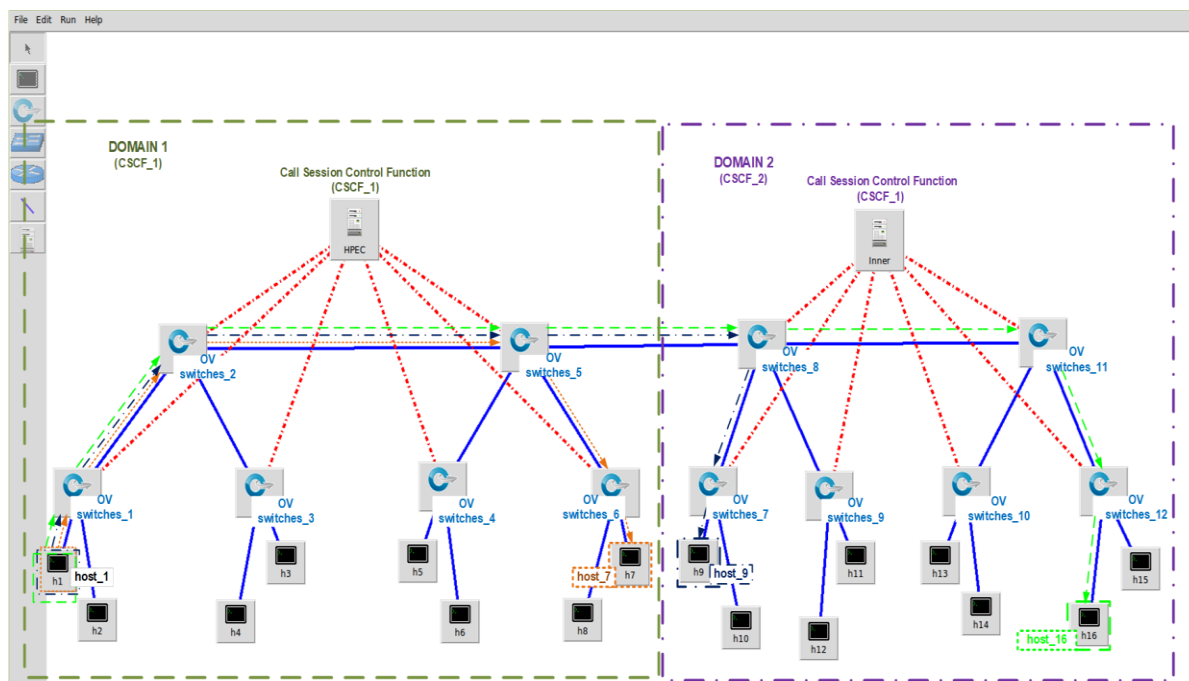


Рис. 6.29. Модель сегменту мережі при використанні доменної структури IMS

Результати експериментів для сегментів різних технологій, відповідно до приведених вище вхідних даних зведені в таблицю 6.6.

Таблиця 6.6 – Результати дослідження RTT для різних мережевих технологій

t_{link_delay} [msec.]	T_{IP_RTTavg} , [msec.]	T_{IMS_RTTavg} , [msec.]	T_{DIMS_RTTavg} , [msec.]	$\Delta =$ $T_{IP_RTTavg} / T_{IMS_RTTavg}$, [%]	$\Delta =$ $T_{IP_RTTavg} / T_{DIMS_RTTavg}$, [%]	SUM_{ID} IP, that function	SUM_{ID} IMS, that function	SUM_{ID} DIMS, that function
0	0,17100	0,17576	0,16900	2,78363	1,16959	240	240	240
3	6,20540	5,61184	5,39600	9,56522	13,04348	240	240	240
5	7,40544	6,70320	6,38400	9,48276	13,79310	240	240	240
50	9,24945	8,44515	8,04300	8,69565	13,04348	240	240	240
100	10,49490	9,41850	8,97000	10,25641	14,52991	240	240	240
200	10,79910	9,78380	9,23000	9,40171	14,52991	240	240	240
400	13,00000	10,50000	10,00000	19,23077	23,07692	240	240	240
450	16,25950	11,01450	10,49000	32,25806	35,48387	229	240	240
500	16,44192	13,13070	11,41800	20,13889	30,55556	223	240	240
1000	18,51850	17,52135	14,24500	5,38462	23,07692	143	226	240
1500	21,79125	19,55625	18,62500	10,25641	14,52991	123	147	229
2000	23,11335	20,74275	19,75500	10,25641	14,52991	84	121	225
5000	69,47343	62,34795	59,37900	10,25641	14,52991	27	116	129
10000	129,81735	116,50275	110,95500	10,25641	14,52991	18	82	114

На рис. 6.30 та рис. 6.31 представлені результати моделювання в графічному вигляді.

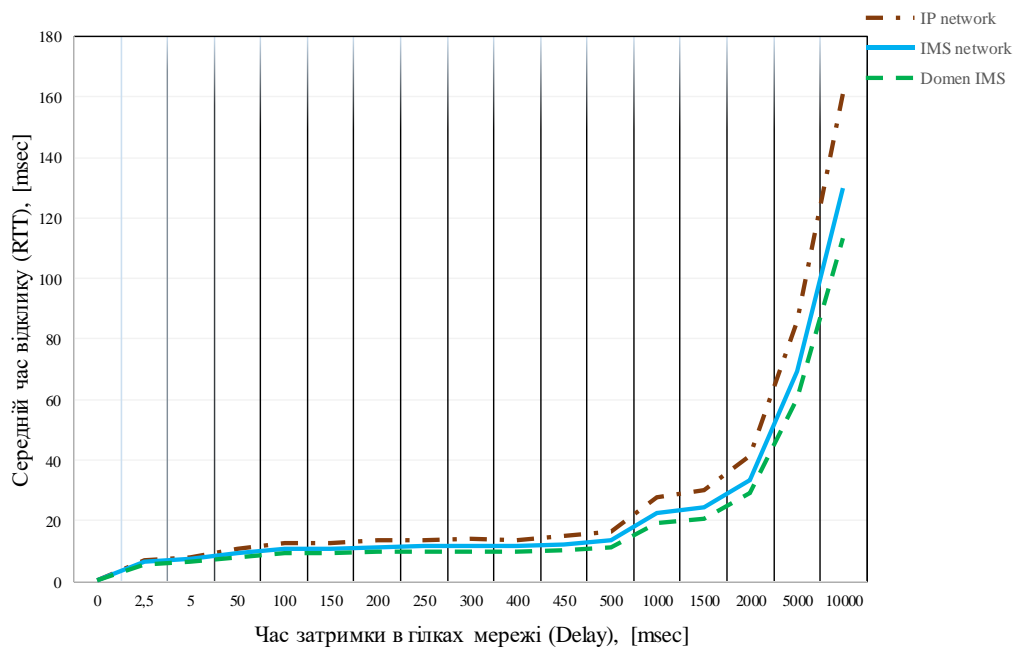


Рис. 6.30. Залежність середнього часу відклику системи RTT від варіації затримок в гілках для IP мережі, мережі IMS та доменної структури IMS

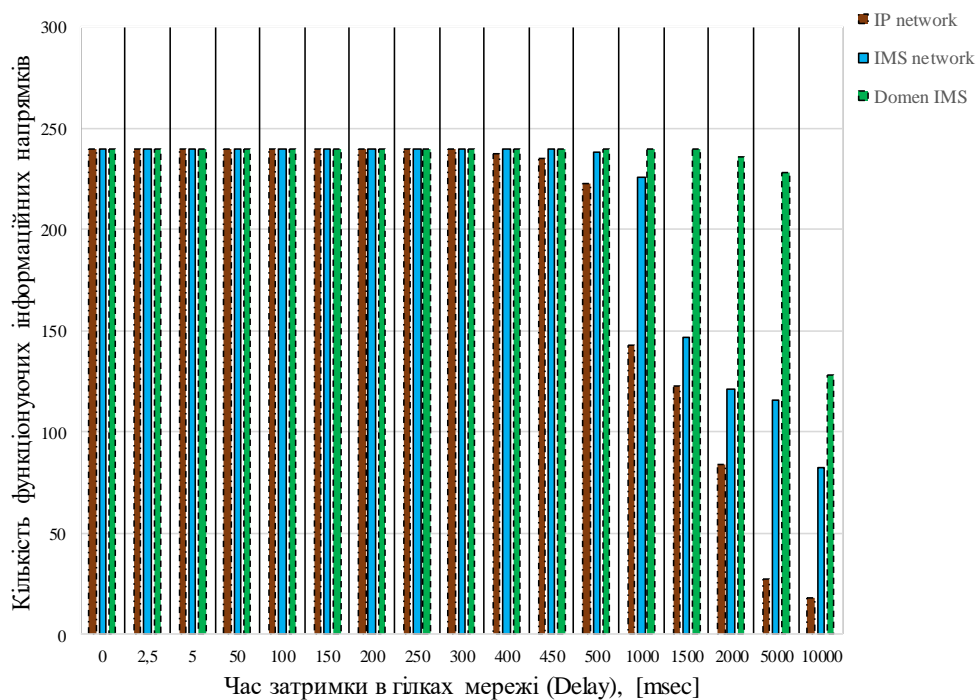


Рис. 6.31. Залежність середнього кількості функціонуючих ІН від варіації затримок в гілках різнотипних мереж

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що при збільшенні вхідного навантаження в сегментах мережі відбувається зростання часу затримок в лініях мережі t_{link_delay} :

при $t_{link_delay} = 450$ [msec.] в IP мережі (рис. 6.30) відбувається значне збільшення середнього часу відклику RTT та спостерігаються втрати, а саме 4,5 % інформаційних напрямків стає недосяжним (рис. 6.31). В IMS мережі та IMS доменною структурою при $t_{link_delay} = 450$ [msec.] також відбувається збільшення часу RTT, однак всі інформаційні напрямки функціонують;

при $t_{link_delay} = 1000$ [msec.] в IP мережі (рис. 6.30) відбувається різке збільшення середнього часу відклику RTT та 40,4 % інформаційних напрямків вже не функціонує (рис. 6.31). В мережі IMS $t_{link_delay} = 1000$ [msec.] також відбувається різке збільшення RTT та спостерігаються втрати (рис. 6.30), тобто 5,8 % інформаційних напрямків стає недосяжним (рис. 6.31). В мережі IMS доменною структурою при $t_{link_delay} = 1000$ [msec.] середній часу відклику RTT зростає, але всі інформаційні напрямки ще залишаються досяжні.

при $t_{link_delay} = 1500$ [msec.] в IP мережі відбувається подальше зростання RTT та відмов 48,3 % інформаційних напрямків вже не функціонує. В мережі IMS $t_{link_delay} = 1500$ [msec.] відбувається збільшення середнього часу відклику RTT та збільшуються втрати, 38,75 % інформаційних напрямків не працює. В мережі IMS доменною структурою при $t_{link_delay} = 1500$ [msec.] середній часу відклику RTT суттєво зростає (рис. 6.30), та спостерігаються втрати, а саме 4,25 % інформаційних напрямків стають недосяжними (рис. 6.31).

Аналіз результатів проведених експериментів дозволяє зробити висновок, що при використанні в якості показника ефективності RTT (середній час відклику системи) в процесі обслуговуванні трафіку реального часу, застосування архітектури IMS дозволяє покращити функціонування в середньому на 15% в порівнянні із IP мережею, а використання доменної структури IMS дозволяє отримати вигоду в середньому на 19 %.

В подальшому було проведено тестування сегментів мереж в режимі перевантаження по трьом інформаційним напрямкам: $ID_{h_{16}-h_1}$; $ID_{h_9-h_1}$; $ID_{h_7-h_1}$. Для вирішення даної задачі була використана утиліта iperf для генерації трафіку на найбільш віддалені хости мережі (тобто для найбільш довших за кількістю транзитів шляхів передачі).

Умови проведення експерименту наступні:

Одночасно проводилась генерація UDP трафіку ($ID_{h_{16}-h_1}$ навантаження рівне $Load_{flow} = 5$ [Mbit/sec.]; $ID_{h_9-h_1}$ навантаження рівне $Load_{flow} = 5$ [Mbit/sec.]; $ID_{h_7-h_1}$ навантаження рівне $Load_{flow} = 5$ [Mbit/sec.];

затримка в лініях зв'язку $t_{link_delay} = 0$ [msec.];

швидкість передачі в лініях зв'язку $V_{link_BW} = 10$ [Mbit/sec.];

процент втрат на лініях зв'язку $Loss_{\%} = 0$ [%].

В результаті отримуємо кількість успішно доставлених пакетів і кількість втрачених в залежності від вихідних даних та довжини шляхів передачі відповідних інформаційних напрямків (рис. 6.32, рис. 6.33, рис. 6.34).

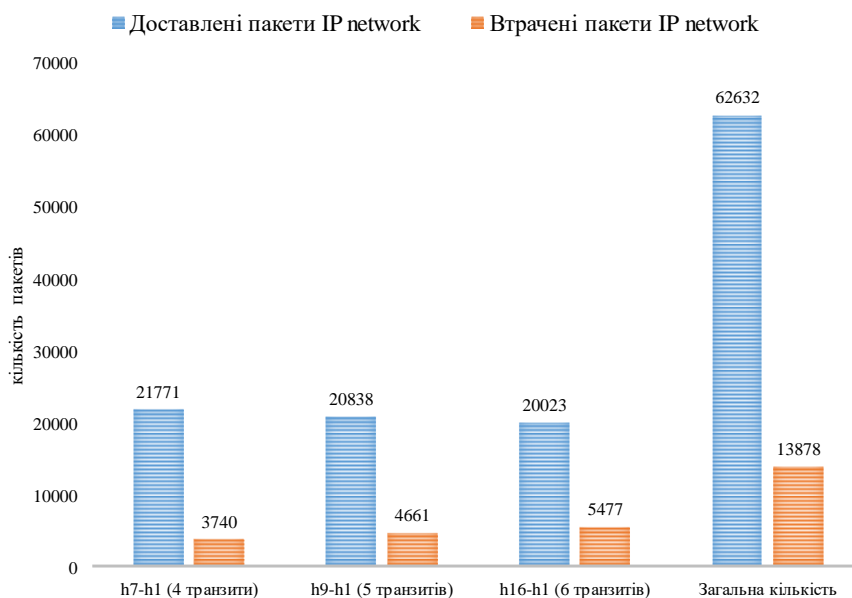


Рис. 6.32. Залежність доставлених та втрачених пакетів в IP мережі між сервером h_1 і клієнтами h_{16} , h_9 , h_7

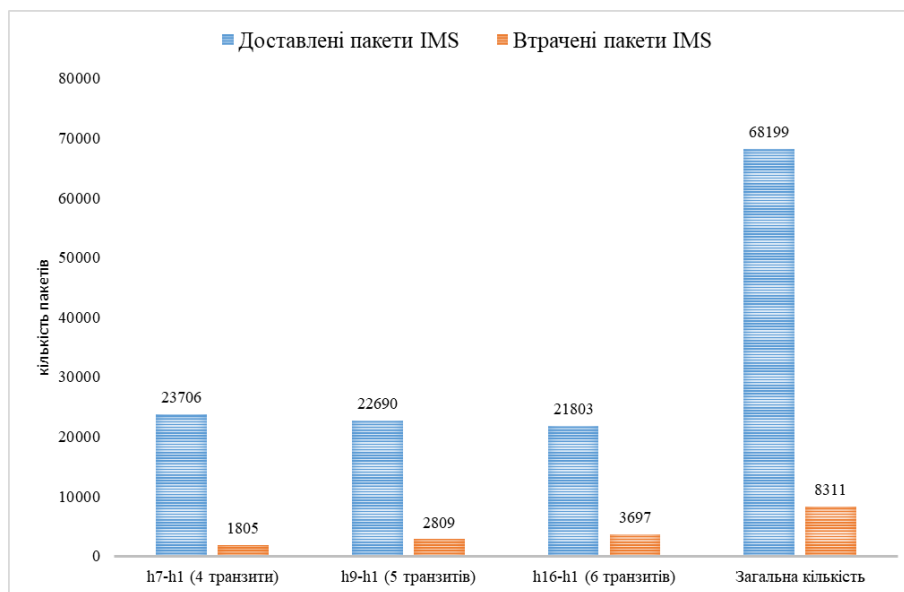


Рис 6.33 Залежність доставлених та втрачених пакетів у мережі IMS між сервером h_1 і клієнтами h_{16} , h_9 , h_7

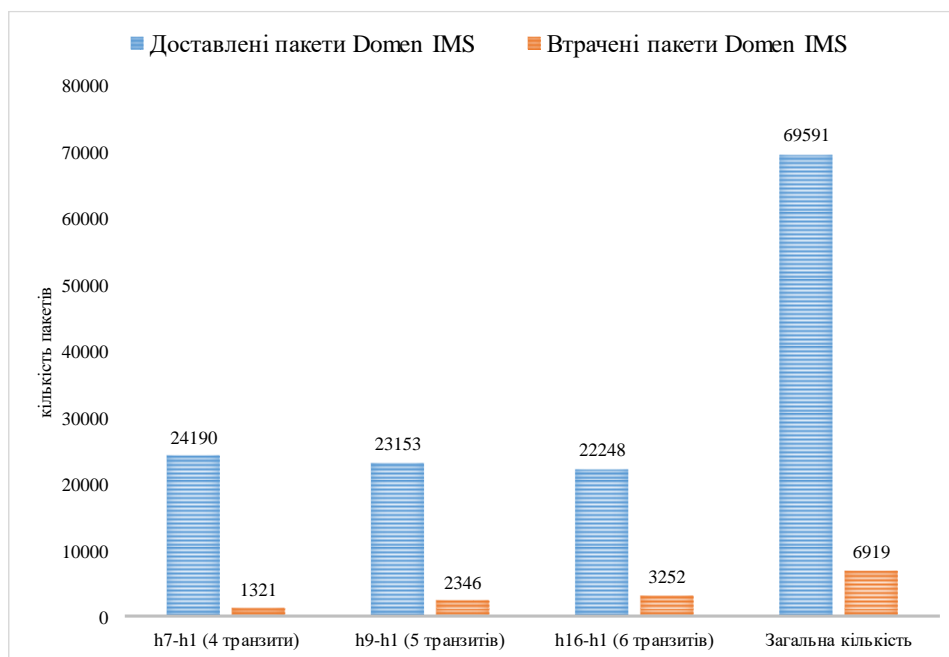


Рис. 6.34. Залежність доставлених та втрачених пакетів у мережі IMS з доменною структурою між сервером h_1 і клієнтами h_{16} , h_9 , h_7

Аналіз отриманих результатів вказує на те, що при збільшенні вхідного трафіку об'єм якого перевищує пропускну спроможність в 1,5 рази максимальні втрати характерні для найбільш віддалених інформаційних напрямків. Тобто, чим довші шляхи передачі (по кількості транзитів) тим більші втрати

пакетів. При чому, втрати в мережі IMS в середньому на 15 % менші ніж в IP мережі, а в мережі IMS із доменною структурою на 17 % в порівнянні із IP мережею.

6.3. Моделювання часу обробки трафіка моніторингу в системі управління трафіком реального часу

Продуктивність є один із головних критеріїв ефективного функціонування системи управління трафіком реального часу в ЕКМ. В свою чергу, час обробки службових повідомлень системою моніторингу має безпосередній вплив на продуктивність роботи системи управління та на час її реакції у випадку: збоїв мережевого обладнання, недотримання заданих параметрів якості обслуговування трафіка реального часу або перенавантаження в ЕКМ [159].

В свою чергу визначення необхідної швидкості каналів для обробки повідомлень трафіка моніторингу може бути використано при проектуванні системи управління трафіком реального часу.

У загальному випадку, можна виділити дві групи показників. Перша група – це показники, що відображають ймовірно-часові параметри роботи системи моніторингу. При чому, одним з найбільш важливих показників цієї групи являється час обробки службових повідомлень, які циркулює між менеджерами та агентами системи.

Друга група показників характеризує підвищення ефективності роботи ЕКМ в результаті дії системи управління в тій або іншій критичній ситуації. Одним з основних показників цієї групи є пропускна спроможність мережі, яка відображає величину навантаження обслуженого в інформаційних напрямках із заданою якістю.

Показники обох груп являються взаємопов'язаними. Затримка інформації в циклі управління понад допустиму величину може привести до значного зниження пропускної спроможності, а в деяких випадках, до виникнення перевантажень і порушення режиму нормального функціонування

інформаційних напрямків. При цьому, якщо ситуація на мережі змінюватиметься швидше, ніж тривалість циклу управління, то дії по управлінню, можуть взагалі дезорганізувати роботу мережі. Аналіз часу обробки службових повідомлень в процесі управління ЕКМ дозволяє визначити вузькі місця і шляхи підвищення ефективності функціонування системи в цілому.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі: визначення залежності часу обробки повідомлень в системі від інтенсивності обслуговування і інтенсивності надходження повідомлень; визначення необхідної швидкості каналів для обробки повідомлень трафіка моніторингу, виходячи із заданої інтенсивності вхідного потоку і формату повідомлення транспортного рівня.

Так, як оператори мобільного зв'язку використовують найбільш передові технології і рішення в області управління електронними комунікаціями проведемо аналіз часу обробки службових повідомлень щодо управління в мережі радіодоступу оператора [160, 161]. На рис. 6.35 приведений фрагмент структури СУ мережею радіодоступу оператора мобільного зв'язку.

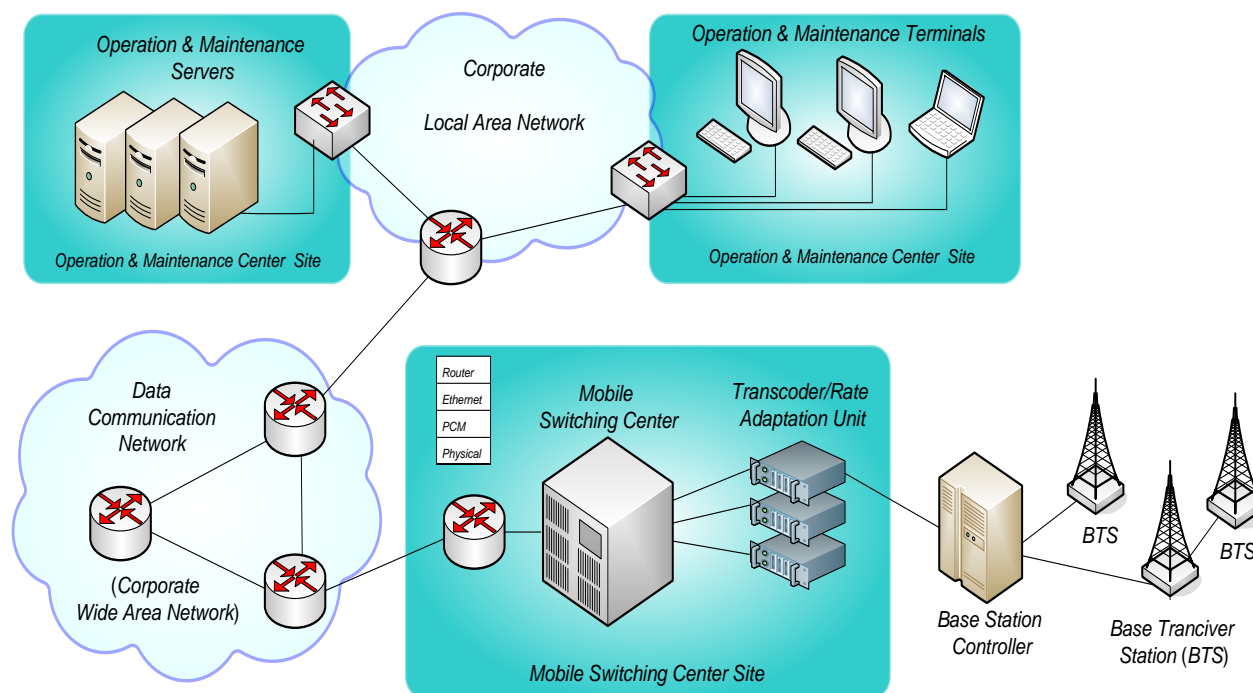


Рис. 6.35. Структура СУ мережею радіодоступу оператора мобільного зв'язку

Система управління мережею радіодоступу оператора мобільного зв'язку складається:

об'єктів управління (*Base Transceiver Station, Base Station Controller, Transcoder/Rate Adaptation Unit*);

сервери управління (*Operation & Maintenance Servers*);

робочих станцій системи управління (*Operation & Maintenance Terminals*);

каналів управління між мережевими елементами і серверами СУ.

Канали мережі моніторингу та управління, які з'єднують територіально рознесені елементи СУ через корпоративну *Wide Area Network (WAN)* і представляють особливий інтерес при аналізі часу виконання транзакцій управління.

Інтегральний трафік між об'єктами управління (мережевими елементами) і серверами СУ визначається:

трафіком, що був згенерований в результаті операцій управління конфігурацією мережевих елементів і мережі в цілому (частота і об'єм трафіку величина випадкова і досить невелика);

трафіком моніторингу, який був отриманий унаслідок періодичного збору статистичних даних про стан елементів мережі (залежить від періоду опитування і кількості мережевих елементів);

трафіком моніторингу, що був сформований в результаті операцій управління при пошкодженнях і аваріях на мережі (частота і об'єм трафіку величина випадкова, непередбачувана, може привести до перевантаження мережі).

Найчастіше для управління електронними комунікаційними мережами використовується протокол прикладного рівня *Simple Network Management Protocol (SNMP)* [162 – 164]. Управління з використанням даного протоколу базується на моделі „агент – менеджер”. NMS-менеджери, функції яких виконують сервера СУ, виробляють дії щодо управління по відношенню до SNMP-агентів, що знаходяться в об'єктах управління (мережевих елементах).

Спрощена модель СУ на базі моделі „агент – менеджер” представлена на рис. 6.36.

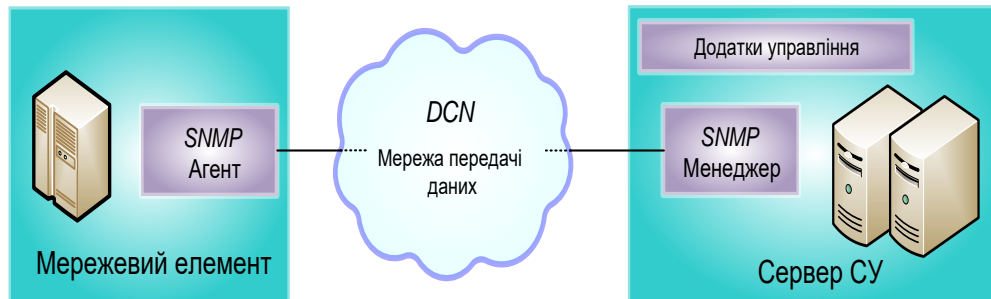


Рис. 6.36. Модель системи моніторингу та управління „агент – менеджер”

Проведемо аналіз часу обробки повідомлень в системі управління на основі моделі, яка зображена на рис. 6. 36. Для оцінки часу обробки інформації в циклі управління застосуємо розроблену модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ. А також, врахуємо формати повідомлень і типи протоколів транспортного рівня, які використовуються при передачі інформації управління.

Приведемо у відповідність реальні фізичні об’єкти і елементи моделі (рис. 6. 36.). З позицій теорії телетрафіка канал управління між мережевими елементами і серверами СУ можна розглядати як систему масового обслуговування з загальним накопичувачем (буфером) [165, 166] та повнодоступними обслуговуючими приборами (серверами управління) m без втрат типу $M/M/m$ (із вхідним Пуасонівським потоком повідомлень і експоненціальним розподілом обслуговування повідомлень в сервері).

Повідомлення надходять у випадкові моменти часу з інтенсивністю λ повідомлень в секунду (інтенсивність надходження повідомлень), чекають обслуговування в накопичувачі і обслуговуються серверами СУ з інтенсивністю μ повідомлень в секунду (інтенсивність обслуговування повідомлень).

Початковими даними для даної моделі можуть бути:

інтенсивність надходження повідомлень в СУ (λ , повідомлень/с; Мбіт/с);

кількість органів управління m – серверів;

об'єм (розмір) повідомлення транспортного рівня, яке використовується для передачі інформації з використанням протоколу *SNMP* (N , кількість біт в повідомленні).

При цьому використовувались наступні обмеження:

не враховується конфігурація мережі передачі повідомлень управління;

канали управління абсолютно надійні, тобто ймовірність помилки в каналі рівна нулю;

виходячи з того, що для передачі повідомлень управління використовується, як правило, *User Datagram Protocol*, то час на встановлення з'єднання будемо вважати рівний нулю.

В результаті моделювання необхідно визначити:

залежність часу обробки повідомлень в системі управління від інтенсивності вхідного потоку заявок і інтенсивності обслуговування та кількості серверів

$$t_S = f(\lambda, \mu, m);$$

необхідну каналну швидкість передачі інформації при заданій інтенсивності надходження заявок і протоколу транспортного рівня, який використовується та визначає об'єм повідомлення.

Така постановка задачі дозволяє визначити вимоги до пропускної спроможності в контурі управління елементами ЕКМ, в залежності від об'ємів трафіка моніторингу.

Середній час обробки повідомлень t_S в системі управління може бути визначене на основі використання математичного апарату теорії телетрафіка для моделі $M/M/m$, представленого в [142].

При цьому, для набуття чисельних значень даного параметра необхідне знання ймовірнісних показників системи управління, таких як ймовірність P_0 знаходження сервера у вільному стані та ймовірність P_Q постановки заявки в чергу на обслуговування.

Ймовірність P_0 знаходження сервера у вільному стані визначається наступним аналітичним виразом [144]:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{m-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^m}{m!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}, \quad (6.1)$$

де: A – коефіцієнт завантаження каналу системи управління, ρ – коефіцієнт завантаження одного сервера.

Дані параметри визначається наступним чином:

$$A = \frac{\lambda}{\mu} \text{ та } \rho = \frac{\lambda}{m \times \mu}.$$

При чому необхідне виконання умови (6.2), що забезпечує стаціонарний режим роботи даної СМО:

$$\rho = \frac{\lambda}{m \times \mu} = \frac{A}{m} < 1. \quad (6.2)$$

Ймовірність P_Q постановки повідомлення в чергу залежить від значення ймовірності P_0 знаходження сервера у вільному стані, коефіцієнта завантаження A каналу системи управління, ρ коефіцієнта завантаження сервера і кількості m обслуговуючих приладів:

$$P_Q = \frac{\left(\frac{A^m}{m!} \right) \left(\frac{1}{1-A/m} \right)}{\left[\sum_{k=0}^{m-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^m}{m!} \left(\frac{1}{1-A/m} \right) \right]} = \frac{A^m}{m!(1-\rho)} \times P_0. \quad (6.3)$$

З врахуванням виразу (6.3), що також називають C – формулою Ерланга, середнє число заявок в черзі визначається згідно формули (6.4):

$$N_Q = \frac{\rho}{1-\rho} \times P_Q. \quad (6.4)$$

Середня кількість заявок, які знаходять на обслуговуванні на серверах визначається згідно формули (6.5):

$$N_m = m \times \rho = A. \quad (6.5)$$

Відповідно до відомих формул Літла та приведених формул (6.4), (6.5) загальний час обробки повідомлення в системі t_S може бути визначене наступним чином:

$$t_S = \frac{1}{\mu} + \frac{N_Q}{\lambda}.$$

Використовуючи математичний апарат, приведений вище, та базуючись на результатах експериментів, викладених в [167, 168] проведемо аналіз обробки повідомлень в системі управління. Згідно представлених даних „експериментальна мережа управління” включає одного менеджера та 178 агентів. В результаті аналізу *SNMP* трафіку на протязі 168 годин встановлена середня кількість *SNMP* пакетів, які циркулюють в мережі управління та становить 5136 пакетів/сек. Отже середня кількість пакетів, оброблених менеджером від одного агента становитиме приблизно $5136 / 178 \approx 30$ [повідомлень/с]. Проведемо розрахунки для експериментально отриманої інтенсивності надходження повідомлень в канал управління: $\lambda_1 = 30$ [повідомлень/с]. А також, проведемо аналіз для інших значень інтенсивностей надходження повідомлень в канал управління: $\lambda_2 = 40$; $\lambda_3 = 50$ [повідомлень/с]

при використанні одного сервера $m_1 = 1$, в першому випадку, та п'яти серверів в системі управління $m_2 = 5$, в іншому випадку при тих же значеннях вхідного навантаження $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Залежності середнього часу затримки повідомлень віддаленим сервером (або групою серверів) СУ від співвідношення інтенсивностей надходження і обслуговування заявок та кількості серверів в СУ – $t_S = f(\lambda, \mu, m)$ представлені на рис. 6.37.

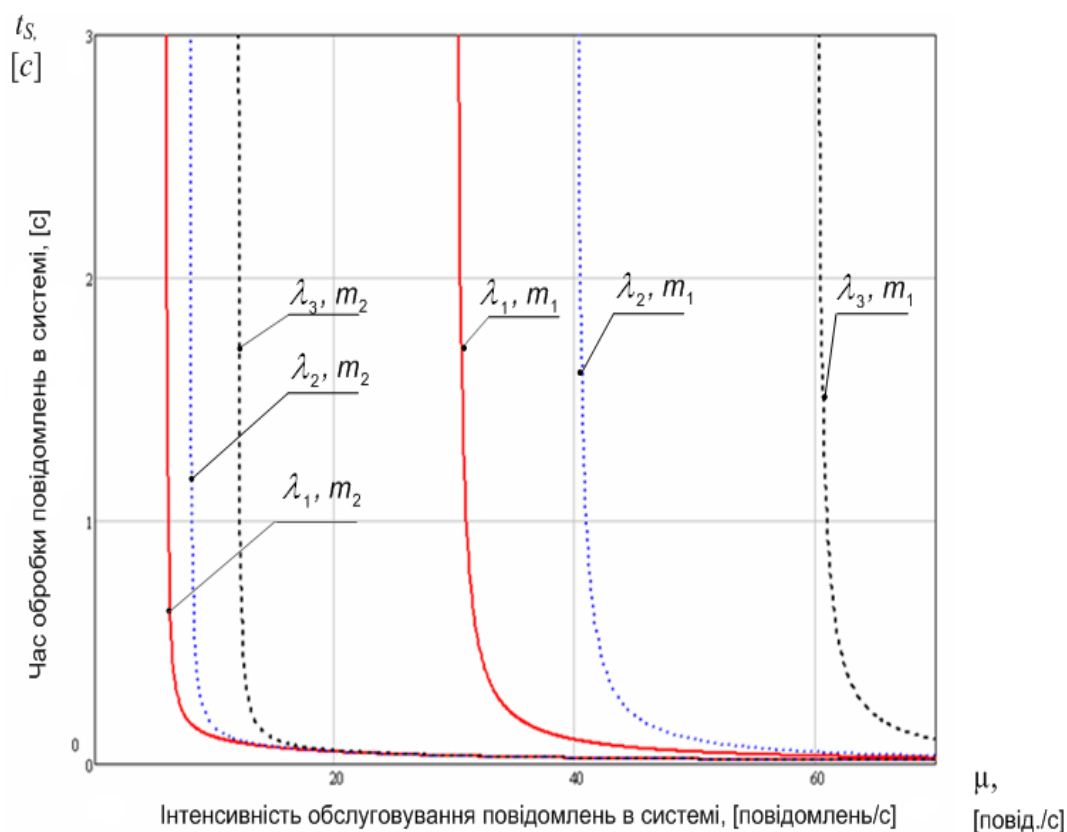


Рис. 6.37. Залежність часу обробки повідомлень в СУ від інтенсивності обслуговування, інтенсивності надходження повідомлень та кількості серверів

На рис. 6.37 представлені залежності у відносних одиницях вимірювання. Для того, щоб визначити чисельні значення параметрів, конкретизуємо тип протоколу, що використовується. Зазвичай як транспорт для повідомлень протоколу SNMP використовують дейтаграми User Datagram Protocol (UDP). Максимальна довжина SNMP повідомлення обмежена максимальною довжиною

UDP дейтаграми ($N_{UDP_{max}} = 524120$ [біт]). Однак, згідно приведених результатів експерименту середня довжина SNMP повідомлення складає приблизно 1500 байт. Виходячи з цього, середній розмір UDP дейтаграми, що використовується для транспорту SNMP повідомлення становитиме $1500 + 8 = 1508$ [байт] = 12064 [біт]. Проведемо розрахунки по формулах (6.1 – 6.5) з урахуванням середньої довжини UDP-дейтаграми. Результати розрахунків середнього часу обробки повідомлень транспортного рівня в СУ показані на рис. 6.38.

Аналіз залежностей представлених на рисунку 6.38. показує:

суттєве зменшення часу обробки повідомлень спостерігається при збільшенні швидкості передачі інформації в каналі управління до значення 8 Мбіт/с. Подальше збільшення швидкості передачі інформації в каналі практично не впливає на час обробки інформації управління.

використання групи серверів для обслуговування вхідного потоку приводить також до зменшення загального часу обробки повідомлення в системі управління

$$t_S = f(\lambda, \mu, m_1) > t_S = f(\lambda, \mu, m_2).$$

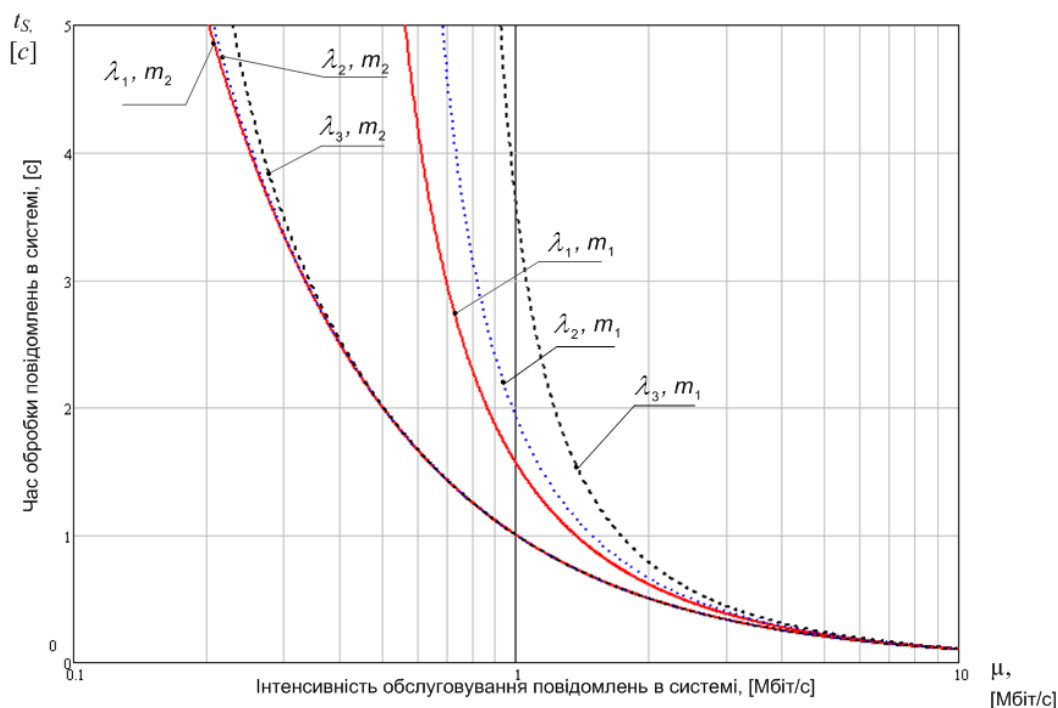


Рис. 6.38. Аналіз часу обробки повідомлень в СУ

Розглянуті підходи можуть бути використані для визначення вимог до каналу управління (необхідної пропускнуєї спроможності), що залежить від швидкості передачі інформації і надмірності, що вноситься протоколами 1, 2 і 3-го рівня моделі Open System Interconnection.

Для порівняння, проведемо оцінку часу обробки повідомлень управління при одночасній роботі агентів з сервером ($m_1 = 1$) та серверами управління ($m_2 = 5$), згідно приведених експериментальних даних [168], а також при врахуванні середньої довжини UDP-дейтаграми. Результати математичного моделювання приведені на рис. 6.39, в графічному вигляді.

При чому загальна інтенсивність повідомлень складає $\lambda_{Z1} = 5136$ [повідомлень/сек], $\lambda_{Z2} = 6000$ [повідомлень/сек] та $\lambda_{Z3} = 7000$ [повідомлень/сек].

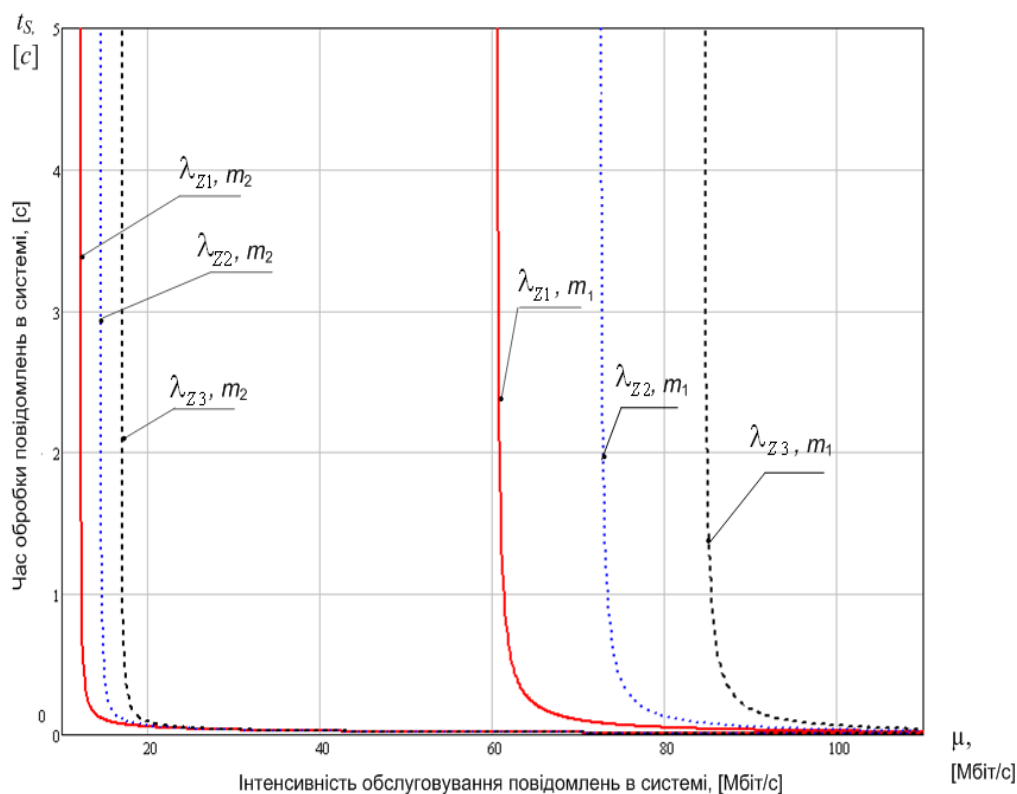


Рис. 6.39. Аналіз часу обробки повідомлень в СУ при сумарному потоці повідомлень управління

Необхідно відмітити, що на основі отриманих результатів можна вирішувати і зворотню задачу – визначити вимоги до пропускної спроможності для забезпечення обміну службовою інформацією між органами і об'єктами управління, що забезпечують задану величину часу обробки.

Як висновок, одним з важливих показників роботи системи управління трафіком реального часу є величина часу обробки повідомлень в контурі управління. Від своєчасності отримання даних про стан елементів і ділянок мережі, залежить ефективність прийнятих рішень про можливі шляхи доведення характеристик ЕКМ до необхідних норм.

6.4. Порівняльна оцінка мережевих технологій IP та MPLS на основі бітових моделей

На сьогоднішній день головними вимогами, що висувуються до технології транспортної мережі є висока пропускна спроможність, мале значення затримки передачі та можливість її масштабування. Це пояснюється тим, що сучасні потреби користувачів включають як і доступ до інтегрованих сервісів мережі, так і організацію віртуальних приватних мереж (VPN) та ряд інших інтелектуальних послуг [169 – 172]. В зв'язку з цим, зростаючий попит на додаткові послуги, що реалізуються поверх простого IP-доступу, має великі перспективи.

В свою чергу, технологія комутації міток MPLS [173, 174] призначена для збільшення пропускної спроможності як глобальних, так і корпоративних мереж. Це обумовлено тим, що у класичних IP-мережах необхідний перегляд таблиць маршрутизації для кожного пакету, який передається, кожним маршрутизатором, що вимагає певних часових затрат і в сумі може обмежувати загальну пропускну спроможність мережі.

Мітка, відповідно до технології MPLS має менший розмір, чим IP-адреса, та є по суті, ідентифікатором віртуального каналу, для обробки якого

передбачені більш ефективні алгоритми. Крім того, технологія MPLS дозволяє інтегрувати мережі IP, ATM та Frame Relay в випадку підтримки останніми протоколу призначення міток (LDP), за рахунок чого можна провести модернізацію даного типу мереж при збереженні закупленого обладнання та існуючої інфраструктури.

Проведення оцінки щодо визначенням величини ефекту від впровадження MPLS технології в порівнянні з IP-маршрутизацією, яка домінує в сучасних пакетних мережах вимагає створення адекватних аналітичних моделей або розробки імітаційних моделей для проведення експерименту.

Однак, побудова аналітичних моделей MPLS та IP-мереж ускладнена зважаючи на порівняно високу складність зазначених технологій, стандартні специфікації яких налічують більш п'яти сотень сторінок. Одним із інструментів системного аналізу для дослідження складних систем є метод імітаційного моделювання, що дозволяє отримати найбільш точні оцінки в порівнянні з аналітичними методами. В зв'язку з цим, було використано поєднання даних методів для врахування роботи мережевих протоколів та функціонування активного обладнання мережі в процесі обслуговування пакетів.

Основна ідея технології MPLS полягає в наступному: для визначення топології мережі використовуються стандартні протоколи маршрутизації (наприклад внутрішньошлюзові протоколи RIP, IS-IS, OSPF) [175, 176], а передача інформації всередині границь мережі одного постачальника послуг (MPLS-домену) використовується техніка віртуальних каналів. В зв'язку з цим дана технологія отримала назву багатопроTOCOLЬНОЇ комутації за допомогою міток (MultiProtocol Label Switching, MPLS).

Таким чином, головна особливість технології MPLS – відділення процесу комутації пакету від процесу маршрутизації (аналізу IP-адрес в заголовку пакету) в середині MPLS-домену. А саме, передача кадру в MPLS-мережі здійснюється на основі MPLS-мітки і методу шляхів передачі з комутацією по міткам (Label Switching Path, LSP) LSP, а не на основі адресної інформації і відповідного методу передачі технології (наприклад PPP, Ethernet, Frame Relay,

ATM) формат кадру якої MPLS використовує. А це, відкриває ряд привабливих можливостей. Очевидним наслідком описаного підходу є той факт, що черговий сегмент LSP може не збігатися з черговим сегментом маршруту, який був би вибраний при традиційній маршрутизації.

Розглянемо основні ключові моменти технології MPLS [177]. По-перше для здійснення комутації, а саме для визначення шляхів передачі з комутацією по міткам LSP, необхідно створення таблиці просування (комутації) в кожному маршрутизаторі MPLS-мережі. Дані таблиці для кожного активного елемента MPLS-мережі формуються за допомогою сигнального протокола, який називається протоколом розподілу міток (Label Distribution Protocol, LDP). Протокол LDP призначений для побудови цілісних маршрутів комутації по мітках LSP. LDP орієнтований на встановлення логічного з'єднання, що дає можливість автоматичної аутентифікації активного обладнання. Для унікальності призначення номерів (значень) міток, LDP-сеанси встановлюються тільки між обладнанням одного постачальника послуг, який задає відповідну інформацію для взаємної аутентифікації.

В рамках архітектури MPLS розрізняють наступні типи активного обладнання:

LSR (Label switch Router) – маршрутизатор, який підтримує комутацію по мітках і традиційну IP-маршрутизацію, тобто підтримує сигнальний протокол розповсюдження міток LDP та один із стандартних протоколів маршрутизації. Однак, передачу інформації після встановлення шляху LSP, здійснює безпосередньо на основі міток;

LER (Label switch Edge Router) або (Edge LSR) – пограничний комутуючий по міткам маршрутизатор, що приймає трафік від інших мереж (зовнішніх не MPLS-мереж) в вигляді стандартних IP-пакетів, потім добавляє до нього мітку та направляє по відповідному шляху до іншого вихідного пристрою LER через декілька транзитних пристроїв LSR;

MPLS-домен (MPLS domain) – група з'єднаних між собою центрів комутації, які здійснюють комутацію по мітках, знаходяться під єдиним

адміністративним підпорядкуванням і функціонують відповідно до єдиної політики маршрутизації. MPLS-домен утворюється на основі LSR-маршрутизаторів, а на межі домена розміщуються пристрої LER.

При ініціалізації сеансу між зовнішніми мережами (від користувачів мережі 193.233.154.0/24 до 193.233.48.0/24), розподіл міток на основі LDP протоколу між LSR та LER приводить до встановлення усередині MPLS-домену шляху з комутацією по мітках LSP, наприклад рис. 6.40. Також необхідно відмітити, що LSP це однонаправлений віртуальний канал, тому для дуплексної передачі трафіка між двома LER-маршрутизаторами необхідно встановити два LSP шляхи.

Розглянемо порядок передачі та модифікації пакету в MPLS мережі згідно приведеного прикладу представлено на рис. 6.40. На граничному маршрутизаторі LER_1 кожному IP-пакету який приходить з мережі через, IP-маршрутизатор, 193.233.154.0/24 додається мітка.

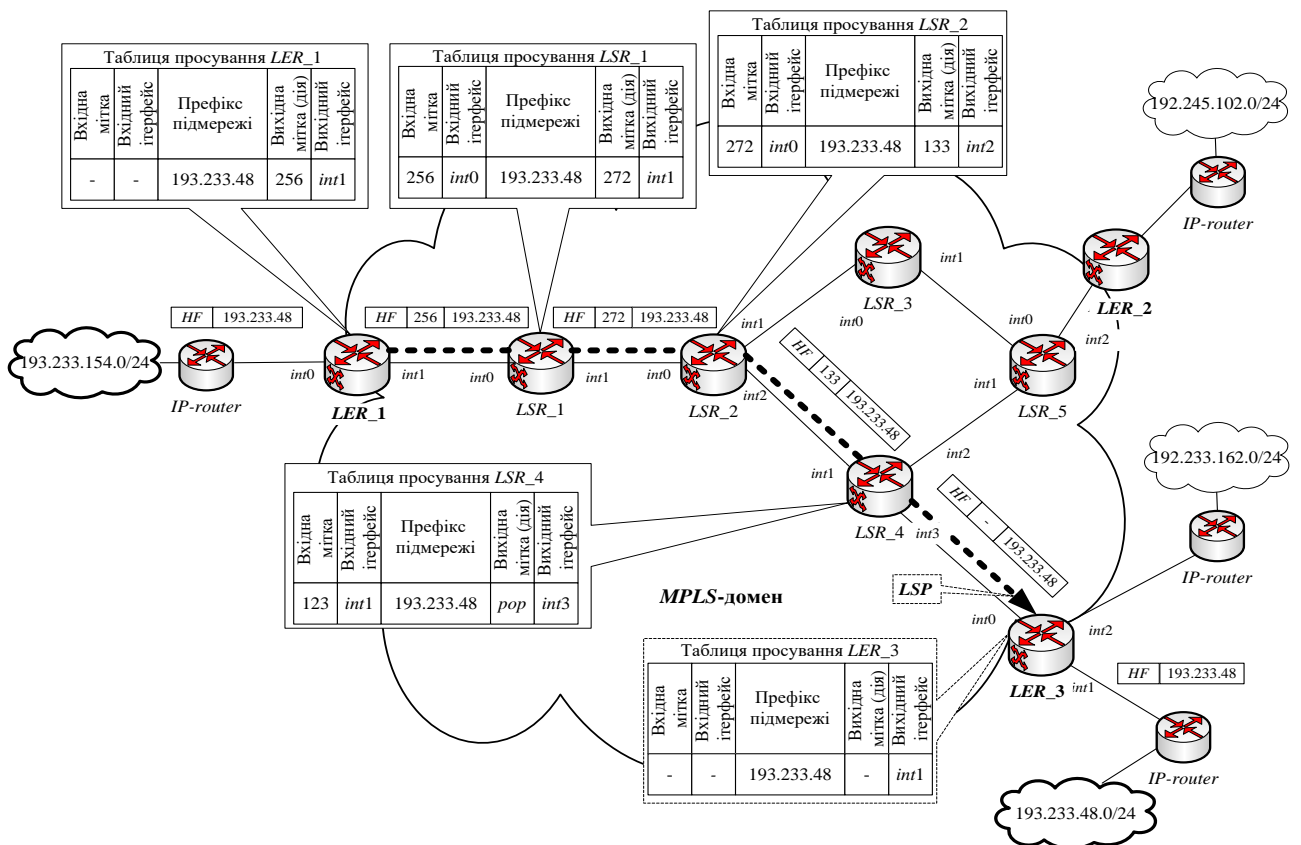


Рис. 6.40. Приклад порядку проходження пакету через MPLS-домен

А саме, відповідне значення мітки записується у склад MPLS заголовка, який включається між заголовком кадру (Head Frame, HF) (другий рівень OSI) і заголовком IP-паketу (третій рівень моделі OSI). Даний процес також називається „призначення мітки” (label imposing).

LSR_1 отримує з інтерфейсу №0 (interface, int_0) IP-паket з міткою 256 і на основі таблиці MPLS-комутації (таблиця просування LSR_1) визначає, що мітка паketу має бути змінена на 272 і паket має бути пересланий убік LSR_2, через інтерфейс №1 (int_1) LSR_1. Даний процес називається переписування мітки (label swapping). При цьому, унікальною комбінацією є вхідний інтерфейс і мітка.

LSR_2 також отримує з інтерфейсу №0 (int_0) IP-паket з міткою 272 і на основі таблиці MPLS-комутації (таблиця просування LSR_2) аналогічно визначає, що мітка паketу має бути змінена на 133 і паket має бути пересланий убік LSR_3, через інтерфейс №2 (int_2) LSR_2.

При отриманні LSR_4 з інтерфейсу №1 (int_1) IP-паketу з міткою 133 згідно таблиці MPLS-комутації (таблиця просування LSR_4) він визначає, що паket має бути пересланий убік граничного маршрутизатора LER_3 без міток (значення pop), через інтерфейс №1 (int_3) LSR_4. Така дія називається „видаленням мітки” (Penultimate Hop Popping, PHP). Цей механізм дозволяє зменшити час щодо передачі паketу, за рахунок виключення додаткових операцій, а саме LER_3 повинен виконувати тільки аналіз таблиці IP-маршрутизації. Якщо паket був би отриманий з міткою, то граничний маршрутизатор LER_3 повинен був би спочатку проаналізувати таблицю MPLS-комутації, а на її підставі визначити, що для даного паketу необхідно виконати аналіз таблиці IP-маршрутизації.

Виходячи з цього, при встановленні маршруту LSP, на останньому LSR маршрутизаторі, який сполучений з вихідним граничним LER маршрутизатором використовується Penultimate Hop Popping (PHP) для виключення проміжного аналізу таблиці MPLS-комутації (таблиці просування) вихідним LER.

LER_3 отримує з інтерфейсу №0 (int_0) IP-паket без мітки і на підставі таблиці IP-маршрутизації (таблиця просування LER_3) визначає, що даний паket

має бути пересланий, як звичайний IP-пакет у бік IP-маршрутизатора мережі 193.233.48.0/24 , через інтерфейс №1 (int_1) LER_3.

Ще одним важливим механізмом щодо оптимізації передачі трафіку є використання стеку міток. Це дозволяє організувати систему агрегованих шляхів з якою б кількістю рівнів ієрархії. Для підтримки цієї функції кадр, який переміщується вздовж ієрархічного тракту передачі, повинен мати стільки MPLS-заголовків скільки рівнів ієрархії має тракт.

В свою чергу MPLS-заголовок (32 біти) кожного рівня має власний набір полів: Label (Label Value, ідентифікатор віртуального каналу, 20 біт), Exp (Experimental Use, для експериментальних досліджень, 3 біт), S (Bottom of Stack, признак стеку міток, та дорівнює одинці в випадку використання агрегованих трактів, 1 біт), TTL (Time to Live, час життя мітки, 8 біт). При чому, послідовність заголовків організована як стек наступним чином, так що завжди є мітка яка знаходиться на вершині стека та мітка та мітка, що знаходиться на дні, при чому остання мітка стека має признак $S = 1$.

Над мітками виконуються наступні операції, які задаються в полі таблиці просування:

push – помістити мітку в стек. В випадку пустого стека (тобто використання однорівневого LSP), ця операція означає просте призначення мітки пакету. Якщо в стеці вже існують мітки, в результаті виконання цієї операції мітка зсуває попередні мітки вниз стеку а сама залишається на вершині. Відповідно пересування MPLS-кадру відбувається на основі мітки, яка знаходиться на вершині стеку.

swap – заміна діючої мітки наступною. Тобто заміна вхідної мітки на вихідну мітку.

pop – „виштовхування” знищення верхньої мітки, в наслідок чого всі інші мітки піднімають на один рівень.

Одним із важливих доопрацювань в MPLS, це використання класу еквівалентного просування (Forwarding Equivalence Class, FEC). Ідея полягає в наступному, при ініціалізації сеансу пограничним маршрутизатором LER

визначається деяка множина адрес мереж призначення (FEC), для кожного LSP. Тобто пакети для різних підмереж призначення передаються вздовж одного і того ж LSP рис. 6.41. В зв'язку з цим, множина підмереж (адрес мереж) призначення поставлена в відповідність конкретному LSP має назву Forwarding Equivalence Classes.

Це пояснюється тим, що було б не раціонально організувати шлях LSP для кожної мережі призначення вхідним пограничним маршрутизатором LER. Тому кожний LER намагається будувати агрегований шлях комутації по міткам для передачі інформації до деякого набору мереж.

Необхідно відмітити, що у специфікації LDP до теперішнього моменту встановлено два типи елементів, за допомогою яких може визначатися FEC: address prefix – адресний префікс будь-якої довжини від нуля до повної адреси; host address – повна адреса хосту.

Розглянемо принцип роботи протоколу розподілу міток LDP. Призначення міток завжди проводиться знизу, тобто убік, протилежну напрямку передачі трафіку. Нижній LSR інформує сусідні верхні LSR про те, які мітки він призначив до кожного FEC пакетів, що надходять до нього. Послідовність побудови LSP представлений на рис. 6.41.

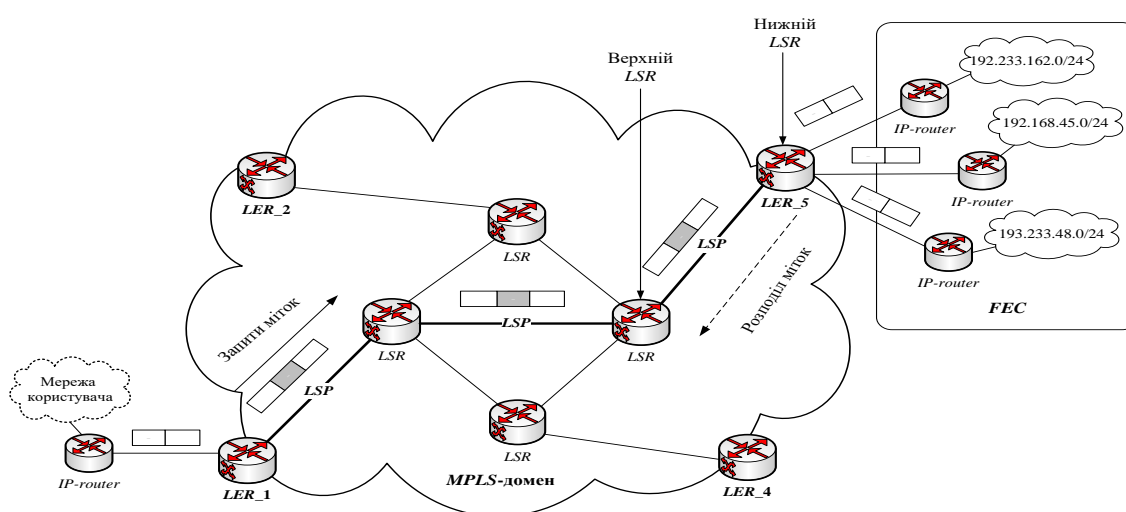


Рис. 6.41. Послідовність організації LSP в MPLS-мережі

За допомогою протоколу LDP можна також агрегувати шляхи, які не співпадають для всієї послідовності пристроїв LSR/LER, тобто від вихідного граничного LER до вихідного LER, а які мають тільки частину спільних пристроїв LSR/LER рис. 6.42.

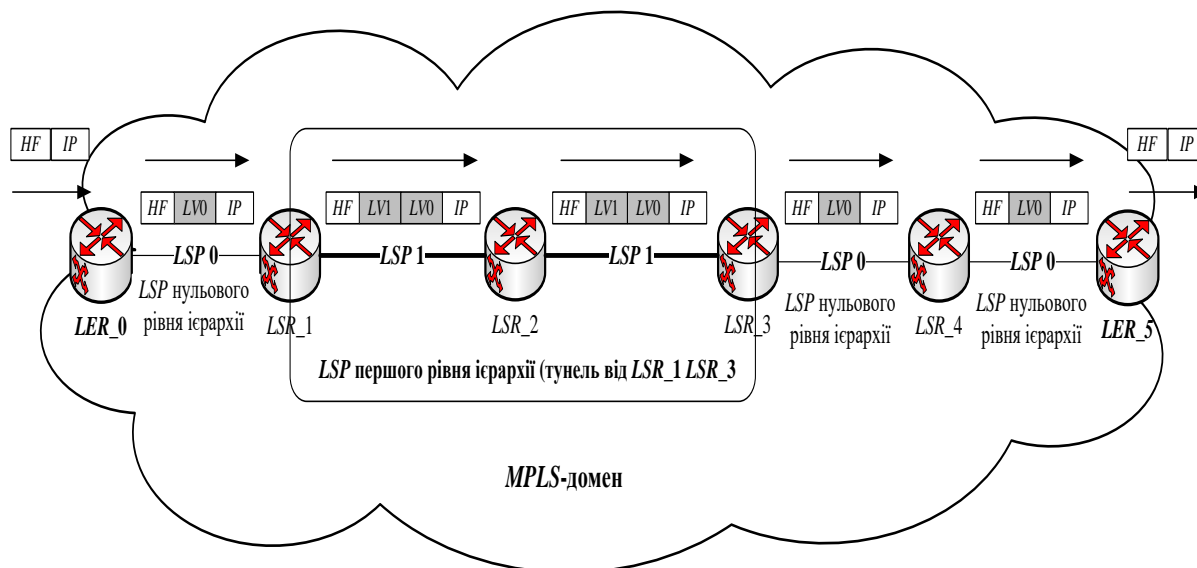


Рис. 6.42. Приклад створення агрегованих шляхів

Архітектура *MPLS* не вимагає обов'язкового застосування *LDP* [178]. Для розподілу міток можуть застосовуватися модифікації існуючих протоколів маршрутизації, що дозволяють використовувати їх для передачі інформації про мітки, наприклад даний протокол *BGP*, *RSVP*, які мають розширення, що забезпечують підтримку обміну мітками з підтвердженням. Однак, протокол розподілу міток *LDP* був визнаний комітетом *IETF* найбільш вдалим тому був стандартизований.

Для створення віртуальної моделі сегменту мережі відповідних технологій та проведення дослідження на її основі було обрано програмне забезпечення *GNS3* (*Global Network Simulator 3*). В свою чергу, *GNS3* – графічний симулятор мережі, який дозволяє моделювати та аналізувати функціонування мереж із складною топологією при застосуванні існуючих сучасних мережевих протоколів. Необхідно відмітити що, *GNS3* є проектом із відкритим вихідним

кодом, тобто безкоштовна програма, яка може бути використана на багатьох операційних системах.

Особливістю даного програмного продукту є те, що в ньому можна цілком та повністю відтворити роботу мережевих пристроїв компаній Cisco та Juniper, емулюючи їх мережеві операційні системи на власному комп'ютері. Таким чином конфігурація та робота даних пристроїв цілком відповідає роботі існуючих маршрутизаторів та комутаторів, що дозволяє моделювати та аналізувати роботу будь-яких мереж.

Також необхідно відмітити, що в GNS3 є вбудовані засоби, які дозволяють організувати з'єднання спроектованої топології з реальною мережею. Це дає просто унікальну можливість перевірити на практиці який-небудь проект, без використання реального мережевого обладнання.

В склад програми GNS3 інтегрована програма Virtual PC, за допомогою якої емулюються кінцеві пристрої, які виступають джерелами потоків трафіку, що передаються по мережі. А також програмний продукт Wireshark, що являється аналізатором трафіку в комп'ютерних мережах. Wireshark має бібліотеки структур більшості мережевих протоколів, і тому дозволяє розібрати мережевий пакет, відображаючи значення кожного поля протоколу будь-якого рівня.

Перед початком розробки імітаційної моделі необхідно провести опис функціонування її основних компонентів. При цьому, введемо наступні обмеження та допущення:

- мережа будується на базі маршрутизаторів Cisco, які підтримують як технологію IP-маршрутизації так і можуть працювати в режимі MPLS-комутації.

- побудова і підтримка таблиці маршрутизації реалізується протоколом динамічної маршрутизації OSPF.

- побудова і підтримка таблиці просування (таблиці MPLS-комутації) реалізується протоколом розподілення міток LDP;

- розглядається четверта версія IP4 протоколу;

використовуються високонадійні канали передачі, тому ймовірно помилки (відкидання пакету) можна знехтувати;

не враховується час на запис та зчитування інформації в реєстр;

конфігурація мережі проведена оптимально.

Розглянемо принцип функціонування та порядок обробки пакетів IP-маршрутизатором [179] рис. 6.43 з точки зору обробки повідомлень на другому та третьому рівні OSI.

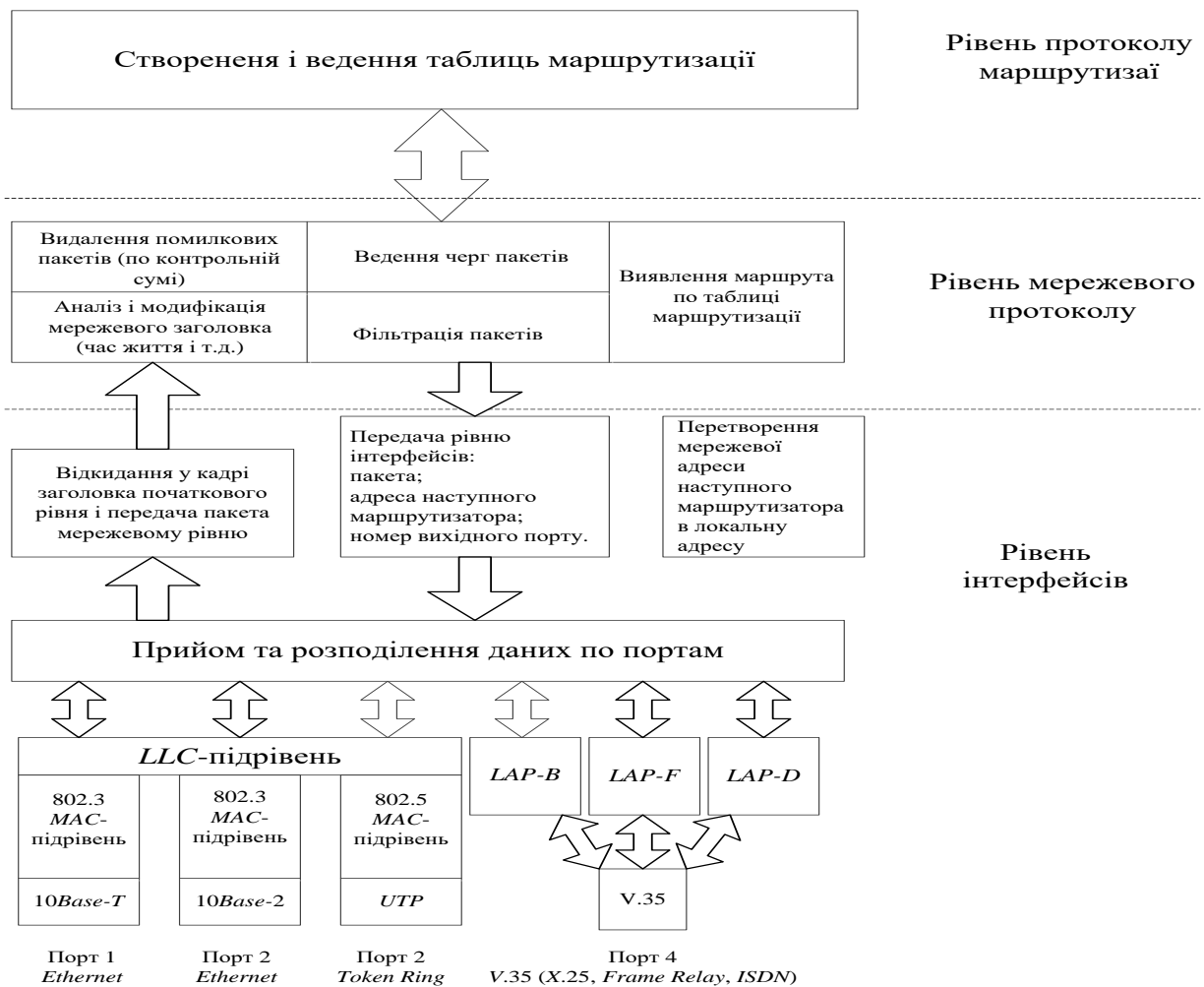


Рис. 6.43. Функціональна модель IP-маршрутизатора

Тобто, частково рівень інтерфейсів та рівень мережевого протоколу. На рівні інтерфейсів основні задачі:

підрахунок контрольної суми кадру (frame);

виділення із кадру поля IP-пакету та його передача для подальшої обробки на рівень мережевого протоколу, в випадку коректної контрольної суми.

упаковка пакету IP-пакету в кадр (frame) відповідної технології каналного рівня для подальшої передачі.

Відповідно на рівні інтерфейсів виконуються наступні функції:

виділення із IP-пакету заголовка мережевого рівня;

перевірка контрольної суми IP-пакету, довжина якої становить 16 біт;

перевірка часу життя пакету (TTL) IP-пакету, довжина якого складає 8 біт;

коректування часу життя пакету, в випадку не перевищення часу життя пакету;

перерахунок контрольної суми після модифікації відповідних полів пакету;

перевірка деяких полів за правилами фільтрації, якщо вони задані;

визначення мережевої адреси наступного маршрутизатора та номеру вихідного інтерфейсу до якого він безпосередньо під'єднаний згідно таблиці маршрутизації.

Розглянемо більш детально порядок визначення адреси наступного маршрутизатора (визначення маршруту) за допомогою таблиці маршрутизації при використанні масок підмереж:

видалення із вхідного IP-пакету адреси призначення $IP_{\text{отримувача}}$, яка складає 32 біти;

пошук специфічного маршруту, шляхом порівняння $IP_{\text{отримувача}}$, яка була видалена з вхідного пакету тільки з тими рядками адрес призначення таблиці маршрутизації PN_i (32 біт) напроти яких є запис 255.255.255.255 (маска підмережі), де i – номер рядка (запису) в таблиці маршрутизації ($i \in \overline{1, K}$).

Для цього можна застосувати елементарну логічну операцію *AND* (логічне множення). Тобто $IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } PN_i$: якщо є співпадання то обирається адреса наступного маршрутизатора, якщо ні виконується пошук не специфічного маршруту;

пошук не специфічного маршруту, виконується шляхом накладання по черзі масок адрес призначення M_i де i – номер рядка (запису) в таблиці

маршрутизації ($i \in \overline{1, K}$), починаючи з першого рядка, на адресу призначення $IP_{\text{отримувача}}$ вхідного IP -паketу. При чому застосовується наступне правило: $IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } M_i$. Всі співпаданннн фіксуються та здійснюється перегляд всієї таблиці маршрутизації.

видача значення наступного маршрутизатора та номеру вихідного інтерфейсу:

якщо не має співпадіннн, то використовується шлях по замовчуванню (Default router);

якщо єдине співпадіннн (в результаті накладання масок на $IP_{\text{отримувача}}$), то видається значення адреси призначення та вихідного інтерфейсу, яке відповідає даному рядку;

якщо декілька співпадіннн, тоді серед них обирається ті які мали найбільше співпадіннн двійкових розрядів.

Згідно вище приведеного кожним IP -маршрутизатором необхідне виконання наступних обов'язкових дій при обробці полів IP -паketу, в випадку виконання прийнятих допущень та обмежень:

перевірка контрольної суми IP -паketу KS здійснюється, шляхом порівняння значення яке надійшло в паketі з реальною довжиною заголовку IP -паketу. При, чому перед початком розрахунку значення контрольної суми встановлюється в нульове. Якщо в результаті порівняння воно змінюється та паket відкидається.

перевірка часу життя паketу TTL , якщо $TTL=0$ паket відкидається тому це операція не враховується;

корегування часу життя паketу, за рахунок відніманнн одиниці від молодшого розряду;

пошук специфічного маршруту;

пошук не специфічного маршруту.

Для проведення кількісної оцінки, а саме визначення асимптотичної часової складності [180], можна застосувати бітову модель, яка заснована на

рівномірній ваговій функції. Дану модель також називають бітовими розрахунками, при чому: всі змінні приймають значення „0” або „1”; використовуються логічні операції (*AND*; *OR*; *NOTAND*).

Тобто враховуючи порядок обробки полів IP-пакетів маршрутизаторами можна засовувати наступні формули, які базуються на використанні елементарних функцій [181 –184]:

$$1. \text{Перевірка контрольної } KS = KS_{\text{вхідна}} \text{ NOTAND } KS_{\text{розрахована}} = 0,$$

де: *NOTAND* – операція „І-НІ” (обернена до логічного множення); $KS_{\text{вхідна}}$ – значення контрольної суми заголовку, яке було видалено із відповідного поля вхідного пакету; $KS_{\text{розрахована}}$ – значення контрольної суми заголовку, яке було визначено.

2. Коректування $TTL_{IP} = TTL_{IP} \text{ OR}$ одиниця (одиниця додається до молодшого розряду)

де: *OR* – логічне додавання для всіх розрядів даного поля в зв'язку тим, що операція віднімання апаратно заміняється операцією додавання, а також може виникати операція переносу в старший розряд.

$$3. \text{Пошук специфічного маршруту } SR = IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } PN_i,$$

де: i – номер рядка (запису) в таблиці маршрутизації ($i \in \overline{1, K}$) напроти якого є запис 255.255.255.255. Тобто кількість таких рядків (i) залежить від кількості специфічних маршрутів.

$$4. \text{Пошук не специфічного маршруту } NSR = IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } M_i,$$

де: i – номер рядка (запису) в таблиці маршрутизації ($i \in \overline{1, K}$), при чому K – загальна кількість рядків в таблиці маршрутизації.

Неважко помітити що в випадку коли відсутні специфічні маршрути, а їх використання не є обов'язковим, найбільші розрахункові витрати приходяться на визначення не специфічного маршруту (*NSR*), які в свою чергу прямопропорційні розмірності таблиці маршрутизації.

Тобто загальна кількість логічних операцій, які витрачаються при обробці пакетів одним *IP*-маршрутизатором, при прийнятих допущеннях, складає:

$$Q_{BIP} = KS + TTL_{IP} + NSP.$$

Розглянемо принцип функціонування та порядок обробки пакетів пограничними LER маршрутизаторами рис. 6.44. На цьому рисунку приведена архітектура LER, при чому необхідно відмітити що LSR використовують тільки таблицю просування, а таблицю маршрутизації не використовують. Це дозволяє зменшити кількість розрахунків.

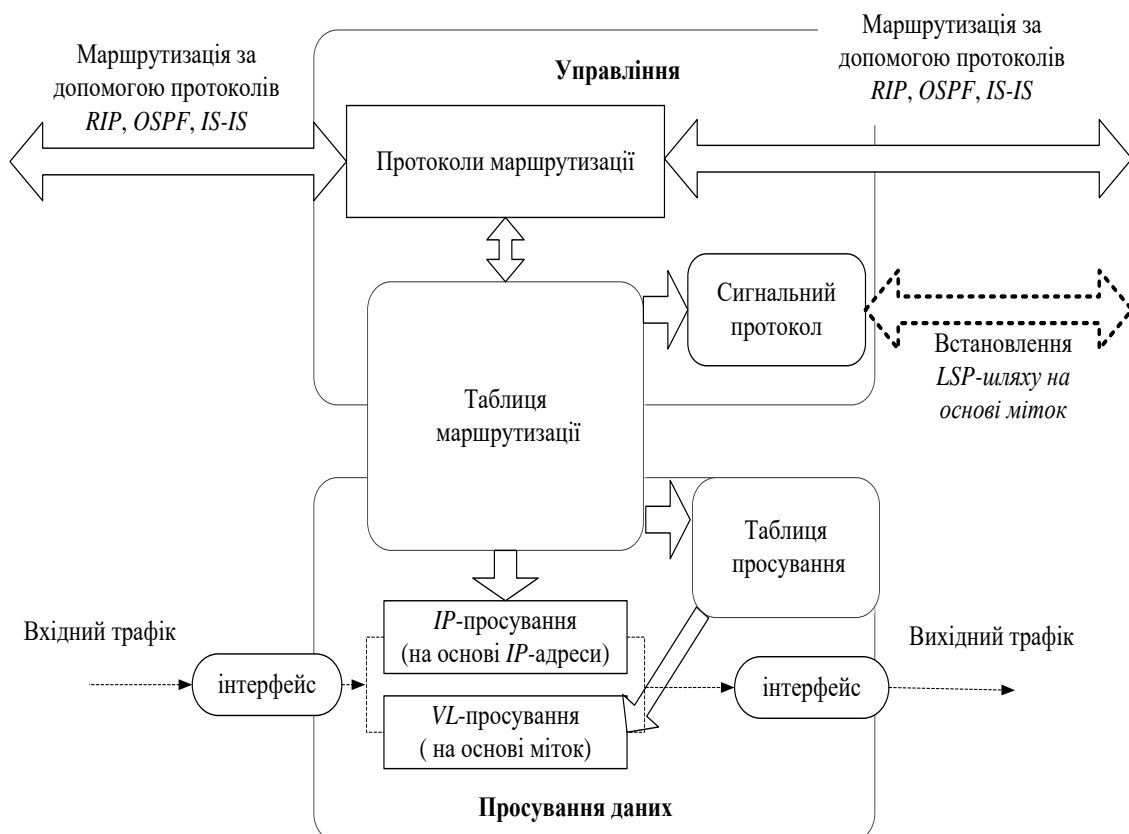


Рис. 6.44. Архітектура LER-маршрутизатора (комутатора) та LSR-комутатора

Для проведення оцінки, в випадку використання в якості критерію

значення кількості елементарних операцій можна привести наступний аналітичний апарат:

У випадку застосування вхідного або вихідного LER та при умові що згідно протоколу LPD реалізовано оптимально:

Згідно таблиці маршрутизації, при отриманні IP-паketу, LER виконуються всі тіж самі дії, що і при IP-маршрутизації:

1. Перевірка контрольної $KS = KS_{\text{вхідна}} \text{ NOTAND } KS_{\text{розрахована}} = 0$,

де: *NOTAND* – операція „І-НІ” (обернена до логічного множення); $KS_{\text{вхідна}}$ – значення контрольної суми заголовку, яке було видалено із відповідного поля вхідного пакету; $KS_{\text{розрахована}}$ – значення контрольної суми заголовку, яке було визначено.

2. Коректування $TTL_{IP} = TTL_{IP} \text{ OR}$ одиниця (одиниця додається до молодшого розряду)

де: *OR* – логічне додавання для всіх розрядів даного поля в зв'язку тим, що операція віднімання апаратно заміняється операцією додавання, а також може виникати операція переносу в старший розряд.

3. Пошук специфічного маршруту $SR = IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } PN_i$,

де: i – номер рядка (запису) в таблиці маршрутизації ($i \in \overline{1, K}$) напроти якого є запис 255.255.255.255.

Тобто кількість таких рядків (i) залежить від кількості специфічних маршрутів.

4. Пошук не специфічного маршруту $NSR = IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } M_i$,

де: i – номер рядка (запису) в таблиці маршрутизації ($i \in \overline{1, K}$), при чому K – загальна кількість рядків в таблиці маршрутизації.

А також виконується додаткова операція, щодо призначення перед заголовком IP-паketу MPLS-заголовку або стеків MPLS-заголовків. Необхідно відмітити, що дана операція відсутня на вихідному пограничному LER-маршрутизаторі.

В подальшому на кожному LSR відбувається MPLS-комутація, а саме з кадру відповідної каналної технології (PPP, Ethernet, Frame Relay, ATM) вилучається MPLS-заголовок, що знаходиться на вершині стеку та проводиться його аналіз.

Аналіз MPLS-заголовку включає наступні характерні операції:

1. Коректування часу життя мітки $TTL_{Label} = TTL_{Label} OR$ одиниця (одиниця додається до молодшого розряду),

де: OR – логічне додавання для всіх розрядів даного поля в зв'язку тим, що операція віднімання апаратно замінюється операцією додавання, а також може виникати операція переносу в старший розряд.

2. Знаходження значення вихідної мітки в таблиці просування:

$$LV_{вих.} = LV_{вхідна} AND LV_{FT i},$$

де: $LV_{вхідна}$ – значення вхідної мітки; AND – елементарна логічна операція логічного множення $LV_{FT i}$ – відповідний запис значення мітки в таблиці просування, яка була згенерована за допомогою протоколу LPD .

3. Перевірка признаку стеку міток $Bottom\ of\ Stack = S AND$ одиниця.

Тобто, якщо $S = 1$ то на останньому LSR в LSP-маршруті, який безпосередньо підключений до вихідного LER відбувається відкидання MPLS-заголовку.

Загальна сума елементарних операцій при обробці мітки одним *LSR* складає: $Q_{BL} = TTL_{Label} + LV_{вих.} + Bottom\ of\ Stack$.

Перед початком проведення експерименту необхідно визначити початкові дані, з врахуванням вище приведених обмежень та допущень. А саме, структура мережі в програмному середовищі GNS 3 наступного вигляду рисунок 6.45. При чому, порядок обміну інформацією між центральний відділом компанії №2 та її філіалами представлена пунктирними лініями.

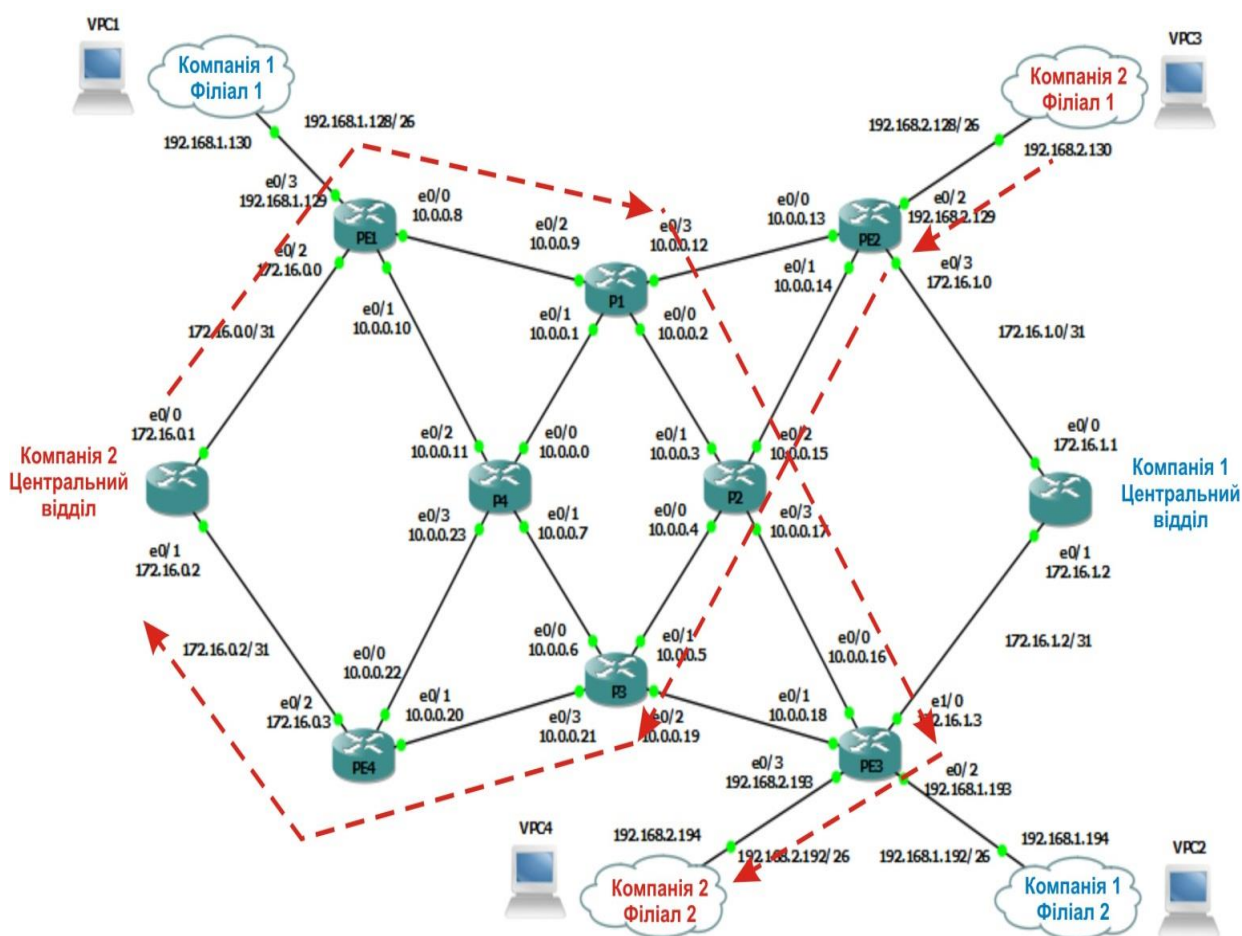


Рис. 6.45. Варіант побудови ЕКМ постачальника послуг для двох компаній

Проведемо порівняльний аналіз роботи активного обладнання в випадку застосування IP-маршрутизації та MPLS технології [179]. В зв'язку з цим що, заповнення та ведення таблиці маршрутизації та таблиці просування є доволі

складний та трудомісткий процес, використовуємо для цього GNS3 для конфігурації та налагодження сегменту мережі рис. 6.45. на базі протоколу OSPF та LPD [184].

Розглянемо LSP-маршрут від філіалу до центрального відділу компанії 2, який включає PE2 – P2 – P3 – PE4. В результаті моделювання отримаємо наступні таблиці просування для LSP під номером P2 та P3 рис. 6.46, рис. 6.47, які мають по 15 записів.

```

P2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id   switched  interface
16     Pop tag   10.0.0.8/31    0         Et0/1        10.0.0.2
17     Pop tag   10.0.0.9/31    0         Et0/1        10.0.0.2
18     Pop tag   10.0.0.22/31   0         Et0/0        10.0.0.5
16     Pop tag   10.0.0.22/31   0         Et0/1        10.0.0.2
19     Pop tag   10.0.0.6/31    0         Et0/0        10.0.0.5
20     Pop tag   10.0.0.10/31   0         Et0/0        10.0.0.5
17     Pop tag   10.0.0.10/31   0         Et0/1        10.0.0.2
21     Pop tag   10.0.0.20/31   0         Et0/0        10.0.0.5
22     Pop tag   10.0.0.12/31   0         Et0/2        10.0.0.14
23     Pop tag   10.0.0.18/31   0         Et0/3        10.0.0.16
24     Pop tag   10.0.0.18/31   0         Et0/0        10.0.0.5
24     Pop tag   10.0.1.1/32    0         Et0/1        10.0.0.2
25     Pop tag   10.0.1.3/32    143378    Et0/0        10.0.0.5
26     Pop tag   10.0.1.4/32    0         Et0/0        10.0.0.5
23     Pop tag   10.0.1.4/32    0         Et0/1        10.0.0.2
27     Pop tag   10.0.2.1/32    59734    Et0/1        10.0.0.2
28     Pop tag   10.0.2.4/32    22326    Et0/0        10.0.0.5
29     Pop tag   10.0.2.2/32    157663    Et0/2        10.0.0.14
30     Pop tag   10.0.2.3/32    24570    Et0/3        10.0.0.16
P2#

```

Рис. 6.46. Таблиця просування P2

```

P3#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id   switched  interface
16     Pop tag   10.0.0.22/31   0         Et0/3        10.0.0.20
17     Pop tag   10.0.0.22/31   0         Et0/0        10.0.0.7
17     Pop tag   10.0.2.4/32    20196    Et0/3        10.0.0.20
18     Pop tag   10.0.0.10/31   0         Et0/0        10.0.0.7
19     Pop tag   10.0.0.0/31    0         Et0/0        10.0.0.7
20     Pop tag   10.0.1.4/32    0         Et0/0        10.0.0.7
21     Pop tag   10.0.0.8/31    0         Et0/0        10.0.0.7
16     Pop tag   10.0.0.8/31    0         Et0/1        10.0.0.4
22     Pop tag   10.0.2.1/32    41074    Et0/0        10.0.0.7
23     Pop tag   10.0.0.2/31    0         Et0/1        10.0.0.4
24     Pop tag   10.0.0.12/31   0         Et0/0        10.0.0.7
22     Pop tag   10.0.0.12/31   0         Et0/1        10.0.0.4
25     Pop tag   10.0.1.1/32    0         Et0/0        10.0.0.7
24     Pop tag   10.0.1.1/32    0         Et0/1        10.0.0.4
26     Pop tag   10.0.0.14/31   0         Et0/1        10.0.0.4
27     Pop tag   10.0.0.16/31   0         Et0/2        10.0.0.18
27     Pop tag   10.0.0.16/31   0         Et0/1        10.0.0.4
28     Pop tag   10.0.1.2/32    0         Et0/1        10.0.0.4
29     Pop tag   10.0.2.2/32    13384    Et0/1        10.0.0.4
30     Pop tag   10.0.2.3/32    70368    Et0/2        10.0.0.18
P3#

```

Рис. 6.47. Таблиця просування P3

А також, таблицю просування (рис. 6.48) вихідного пограничного маршрутизатора LER під номером PE4.

```

PE4#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id   switched  interface
16     Pop tag    10.0.0.4/31    0         Et0/1        10.0.0.21
17     Pop tag    10.0.0.6/31    0         Et0/0        10.0.0.23
18     Pop tag    10.0.0.6/31    0         Et0/1        10.0.0.21
18     Pop tag    10.0.0.18/31   0         Et0/1        10.0.0.21
19     Pop tag    10.0.1.3/32    0         Et0/1        10.0.0.21
20     Untagged  10.0.0.0/0(v)  32756    Et0/2        172.16.0.2
21     Untagged  10.0.0.0/0(v)  2170     Et0/2        172.16.0.2
22     Pop tag    10.0.0.10/31   0         Et0/0        10.0.0.23
23     Pop tag    10.0.0.0/31    0         Et0/0        10.0.0.23
24     Pop tag    10.0.1.4/32    0         Et0/0        10.0.0.23
25     18        10.0.0.8/31    0         Et0/0        10.0.0.23
26     21        10.0.2.1/32    0         Et0/0        10.0.0.23
27     23        10.0.0.2/31    0         Et0/0        10.0.0.23
28     23        10.0.0.2/31    0         Et0/1        10.0.0.21
28     24        10.0.0.12/31   0         Et0/0        10.0.0.23
29     25        10.0.1.1/32    0         Et0/0        10.0.0.23
30     26        10.0.0.14/31   0         Et0/1        10.0.0.21
31     27        10.0.0.16/31   0         Et0/1        10.0.0.21
32     29        10.0.1.2/32    0         Et0/1        10.0.0.21
33     29        10.0.2.2/32    0         Et0/0        10.0.0.23
29     29        10.0.2.2/32    0         Et0/1        10.0.0.21

```

Рис. 6.48. Таблиця просування пограничного маршрутизатора PE4

Згідно представлених таблиць просування можна зробити висновок, що всього IP-підмереж які використовуються 20 (колонка *Prefix*). Тобто, записів в таблиці маршрутизації на кожному маршрутизаторі буде також, як мінімум 20.

Використаємо аналітичні (бітові) моделі [181], що були запропоновані вище для проведення порівняльної характеристики, для даного прикладу (PE2 – P2 – P3 – PE4):

При IP-маршрутизації на кожному маршрутизаторі:

перевірка контрольної $KS = 16$ біт *NOTAND* 16 біт = 16 *NOTAND* операцій;

коректування часу життя пакету $TTL_{IP} = 8$ біт *OR* одиниця = 8 *OR* операцій

пошук не специфічного маршруту $NSR = IP_{\text{отримувача}} \text{ AND } M_i = (32 \text{ біт AND } 32 \text{ біт}) \times 20 \text{ записів (полів)} = 640 \text{ AND операцій.}$

Загальна сума елементарних операцій на одному маршрутизаторі в середньому складає $Q_{BIP} = KS + TTL_{IP} + NSP = 664$ елементарних операцій.

Загальна сума елементарних операцій на даному маршруті складає = $(KS + TTL_{IP} + NSR) \times \text{кількість IP-маршрутизаторів в шляху} = 2656$ елементарних операцій.

При використанні MPLS технології:

а) на пограничних маршрутизаторах LER (PE2, PE4) тіж самі дії, тобто $(KS + TTL_{IP} + NSR) = 664$ елементарних операцій. Операцією призначення MPLS-заголовку знехтуємо.

б) на LSR-комутаторах (P2, P3):

коректування часу життя мітки $TTL_{Label} = 8$ біт OR одиниця = 8 OR операцій;

знаходження значення вихідної мітки в таблиці просування
(20 біт AND 20 біт) $\times 15$ записів (полів) = 300 AND операцій;

перевірка признаку стеку міток $Bottom\ of\ Stack = 1$ біт AND одиниця = 1 AND операція.

Загальна сума елементарних операцій на одному LSR складає
 $Q_{BL} = TTL_{Label} + LV_{вих.} + Bottom\ of\ Stack = 309$ елементарних операцій.

Загальна сума елементарних операцій на даному маршруті складає
($KS + TTL_{IP} + NSR$) \times кількість LER в шляху + ($TTL_{Label} + LV_{вих.} + Bottom\ of\ Stack$)
 \times кількість LSR в шляху = $664 \times 2 + 309 \times 2 = 1328 + 618 = 1946$ елементарних операцій.

Також необхідно відмітити, що при використанні розроблених бітових моделей можна провести узагальнену порівняльну оцінку ефективності роботи активного обладнання по технології IP та MPLS, при допущенні приблизно однакового часу t виконання логічних функцій ($t_{AND} = t_{NOTAND} = t_{OR}$) мікропроцесором. Для цього застосуємо наступні розрахункові формули:

$$Q_{IP} = (24 + 32L_{IP}) \cdot D,$$

де: 24 – ($KS + TTL_{IP} = 8OR + 16NOTAND$) елементарних логічних операцій;
32 – ($NSP = 32AND$) логічних операцій; L_{IP} – кількість ліній зв'язку (ребер графа) IP -мережі в цілому; D – діаметр мережі (графа).

$$Q_{MPLS} = (24 + 32L_{IP}) \times 2 + (9 + 20L_{MPLS}) \cdot (D - 2),$$

де: $(24 + 32L) \times 2$ – кількість елементарних логічних операцій щодо обробки пакетів на двох граничних LER ; $(9 + 20L) \cdot (D - 2)$ – кількість елементарних логічних операцій в MPLS-доміні; L_{MPLS} – кількість ліній зв'язку (ребер графа) в

MPLS-домени. Звичайно, при виконанні умови $D > 2$, тобто існує хоча б один транзит в шляху передачі. На основі вище приведених розрахункових формул проведемо порівняльну характеристику операційних витрат при передачі пакетів при маршрутизації та MPLS-комутації. Зведені дані розрахунків, в залежності від розмірності та структури мережі при використанні однотипного обладнання приведені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7. – результати розрахунків на основі бітових моделей та моделювання в GNS 3.

Діаметр мережі (графа), D	Кількість ліній зв'язку, L_{IP}	Кількість ліній зв'язку, L_{MPLS}	Q_{IP}	Q_{MPLS}	Серед. час виконання логічної операції t_{LO} сек; 200ГГц	Загальний час обробки пакету при маршрутизації T_{IP}	Загальний час обробки пакету при комутації T_{MPLS}	$\Delta = T_{IP} - T_{MPLS} $
4	20	15	2656	1946	0,000001831	0,00487	0,00356	0,00130
10	50	40	16240	9720	0,000001831	0,02975	0,01781	0,01194
20	100	80	64480	35410	0,000001831	0,11812	0,06487	0,05325
30	150	120	144720	77100	0,000001831	0,26510	0,14123	0,12387
40	200	160	256960	134790	0,000001831	0,47071	0,24691	0,22380
50	250	200	401200	208480	0,000001831	0,73493	0,38190	0,35303

Згідно проведеного аналізу можна зробити висновок, що кількість елементарних операцій в випадку застосування MPLS-технології зменшилась приблизно на 50% при кількості транзитних вузлів більше 30 та 150 ліній зв'язку. Це наглядно демонструє отриманий графік на рис. 6.49.

В свою чергу використання бітової моделі, яка розроблена з врахуванням обов'язкових дій щодо обробки повідомлень в процесі передачі дозволяє кількісно оцінити величину ефекту від впровадження технології MPLS над IP-маршрутизацією. Це пояснюється тим, що за рахунок зменшення операцій при обробці міток в випадку перегляду таблиць просування (MPLS) в порівнянні обробкою пакетів та переглядом таблиць маршрутизації (IP-маршрутизація) збільшується швидкість просування пакетів.

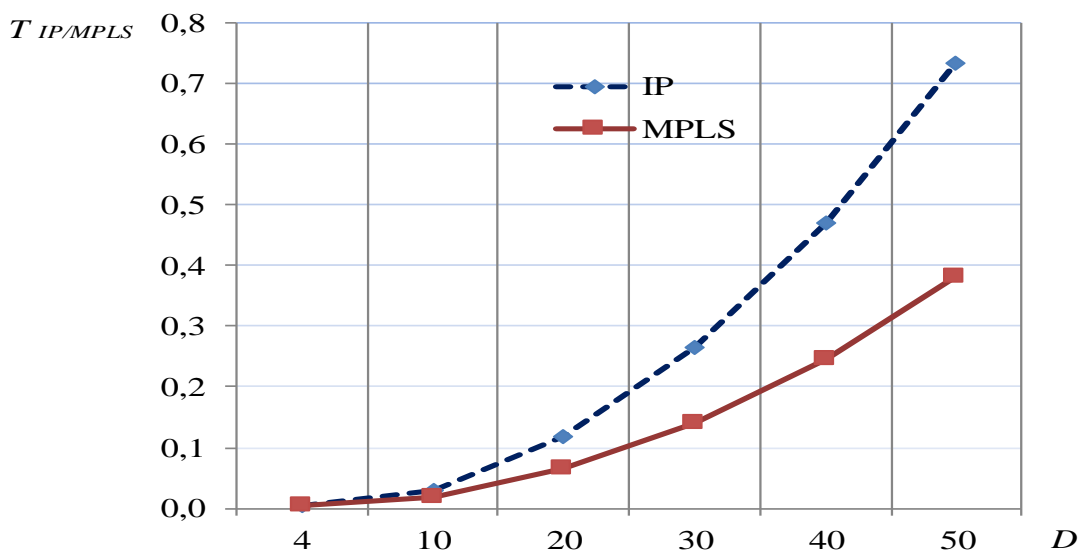


Рис. 6.49. Залежність часу на обробку пакету T від діаметру мережі D

6.5. Розробка моделей оцінки ефективності функціонування VoIP телефонії при обслуговуванні трафіка реального часу на основі технологій віртуалізації

Сьогоднішній етап розвитку електронних комунікацій вказує на широке використання сучасних ІТ-технологій на всіх рівнях та сегментах інфраструктури мережі. Постійне вдосконалення і поширення мережевих технологій, які базуються на стеку протоколів TCP/IP та перехід на програмну реалізацію для надання сервісів призвело до створення VoIP телефонії, яка ґрунтується на використанні Internet протоколів та SIP-серверів, здатних перетворювати в цифрову форму звичайний голосовий сигнал [185 – 187]. А також, дозволяє істотно економити необхідну смугу пропускання каналів, що неминуче веде до зниження тарифів, особливо на міжміські і міжнародні телефонні розмови.

Одним із проектів з відкритим програмним кодом, який використовує ядро IP АТС Asterisk являється Elastix, який має зручний керуючий web-інтерфейс для

адміністрування [188]. Необхідно відміти, що використання IP PBX Elastix, дозволяє об'єднувати різномірні сегменти мережі за рахунок уніфікації обробки повідомлень сигналізації, що відповідає вимогам концепції NGN.

На теперішній час, при розгортанні або модернізації інфраструктури електронних комунікаційних мереж, а також мереж операторів комунікаційних послуг достатньо велика увага приділяється технологіям віртуалізації [189–192]. В свою чергу, розвиток та впровадження технологій віртуалізації дозволяє підвищити ефективність використання серверного обладнання, а також надійність та безвідмовність надання інформаційних послуг. Віртуалізація може бути включена з використанням багатьох технологій, у тому числі найбільш популярними такими як серверна віртуалізація на основі гіпервізорів та контейнеризація [183–197].

В зв'язку з цим постає завдання оцінки показників функціонування IP АТС Private Branch eXchange Elastix (ядро Asterisk) з використанням технології віртуальних машин та контейнерів, за допомогою відповідних інструментів дослідження стану в реальному часі [198–200].

Для цього було здійснено дослідження роботи сегменту IP-мережі на платформі IP PBX Elastix, при використанні контейнерної віртуалізації та віртуальних машин, а також досліджено вплив різних технологій віртуалізації на обчислювальні потужності серверного обладнання при різних рівнях навантаження.

Проекти віртуалізації були в центрі уваги багатьох ІТ-організацій досить довгий час, основною метою яких є консолідація серверів або центрів обробки даних, зниження капітальних витрат та капіталовкладень (операційні витрати). Віртуалізацію в простих термінах можна визначити як консолідацію обчислювальних потужностей, пам'яті, пропускної здатності мережі та ємкості сховища з використанням меншої кількості апаратних ресурсів та можливість оптимально розподіляти ресурси на серверах [201–204].

Для оцінки ефективності застосування даних технологій проведемо дослідження при використанні IP PBX Elastix в якості мережевої служби. Для

проведення практичного експерименту та визначення ефективності роботи IP-АТС було побудовано сегмент корпоративної мережі (рис. 6.50), де в якості платформи використовувався віртуальний сервер на базі ESXi [205, 206].

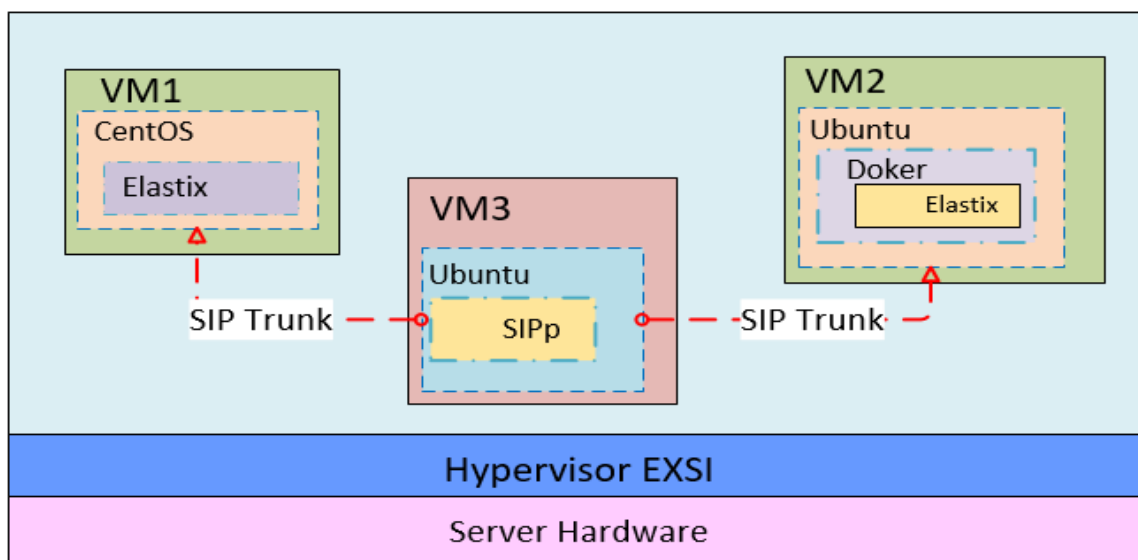


Рис. 6.50. Сегмент IP-телефонії на основі віртуальних машин та контейнерів при використанні віртуального сервера

Далі сегмент IP-телефонії був розгорнутий на фізичному сервері при використанні контейнера (рис. 6.51). Тобто було інстальовано Ubuntu Server [207, 208] на якому розгорнуто Docker та сконфігуровано контейнер з IP PBX Elastix.

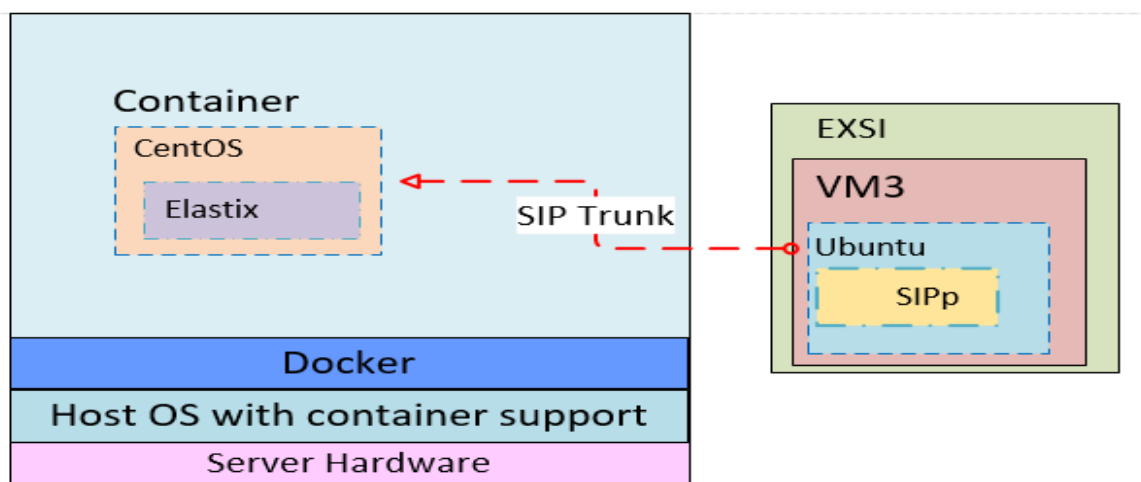


Рис. 6.51. Сегмент IP-телефонії на основі Docker та контейнера при використанні фізичного сервера

В подальшому на базі даних віртуальних моделей було проведено тестування при різних значеннях вхідного навантаження [209].

Перед тестуванням, в реальному масштабі часу утилітою моніторингу системи Scots realtime були зняті показники використаних ресурсів IP PBX Elastix при використанні віртуальної машини (рис. 6.52) та IP PBX Elastix на базі контейнера (рис. 6.53)

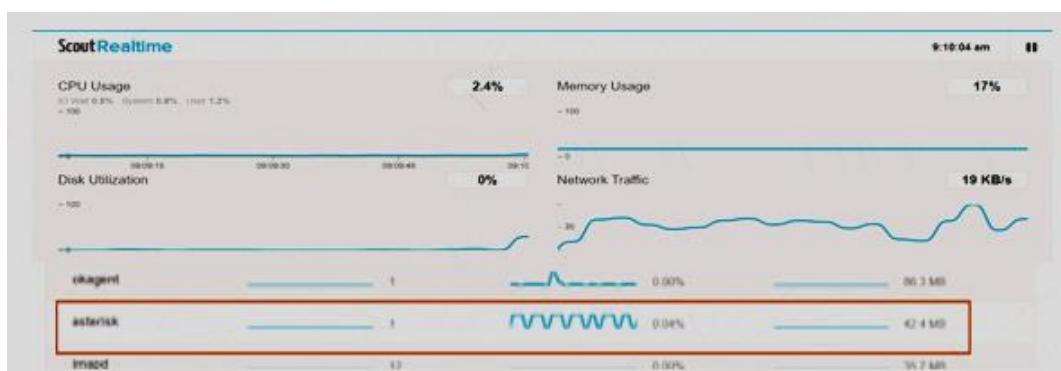


Рис. 6.52. Статистика використання ресурсів віртуальною машиною IP PBX Elastix при використанні гіпервізора ESXi

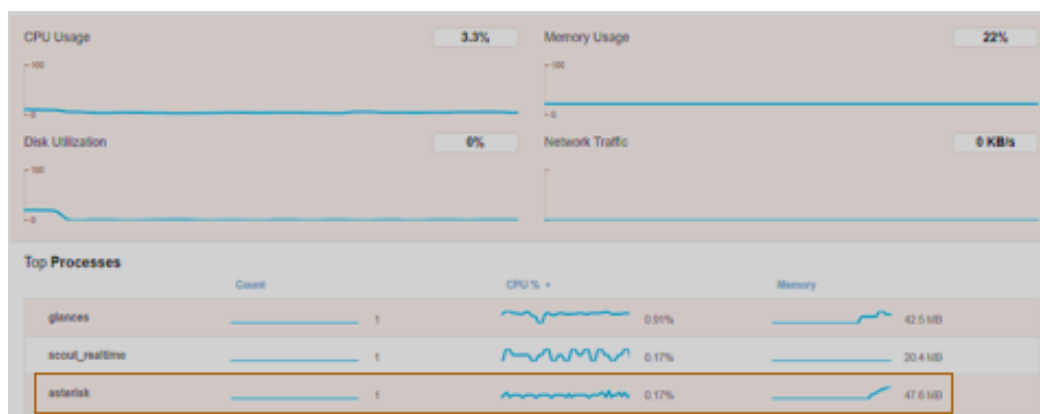


Рис. 6.53. Статистика використання ресурсів контейнером IP PBX Elastix при використанні Docker

Як можна спостерігати на рисунку 6.52 та 6.53 віртуальна машина загалом використовує прийнятну для системи кількість оперативної пам'яті та незначну кількість *CPU* в порівнянні з контейнером.

Проведемо короткий опис основних компонентів та системних утиліт, що були використані для створення віртуальної моделі згідно рис. 6.50.

На фізичному сервері встановлений автономний гіпервізор ESXi від компанії VMware, який не потребує встановлення операційної системи та інсталюється безпосередньо на апаратну частину сервера. На гіпервізорі розгорнуто три віртуальні машини:

1. На першій віртуальній машині (VM1) встановлений дистрибутив CentOS на якому розгорнута IP PBX Elastix. Тобто IP PBX Elastix розгорнута при використанні технології віртуальних машин.

2. На другій віртуальній машині (VM2) встановлена ОС Ubuntu Server з підтримкою контейнерної обробки. На основі даної ОС розгорнутий Docker та створено контейнер в якому сконфігуровано IP PBX Elastix. Тобто в даному випадку IP-АТС створено в контейнері на віртуальному сервері в якості платформи для ОС.

3. На третій віртуальній машині (VM3) встановлена ОС Ubuntu Desktop на якій встановлена утиліта SIPp, що дозволяє створювати навантаження на IP PBX Elastix, а саме генерувати дзвінки.

Утиліта SIPp є відкритим інструментом з тестування та генерації трафіку SIP протоколу. Перевагою даного інструменту являється підтримка TLS, SIP аутентифікації, умовних сценаріїв, UDP ретрансмисій, регулярних виразів, можливості вставки довільних заголовків, логування, виконання системних команд в залежності від результату.

Далі було проведена *перша група тестів* для IP PBX Elastix розгорнутої при використанні технології віртуальних машин, тобто з VM3 було створено сценарій генерації дзвінків на VM1. А саме, за допомогою утиліти SIPp було створено сценарій який дозволяє створити SIP trunk (віртуальний канал) між VM3 і VM1 та генерувати вхідне навантаження на IP PBX Elastix. SIP trunk дозволяє підключити потрібну кількість номерів з безлімітним числом каналів по одному номеру (одночасних переговорів по одному номеру).

При створенні віртуального каналу зв'язку були встановлені наступні параметри (рис. 6.54):

тривалість дзвінків (розмови), задається ключем: *-d 210 c* (3,5 хвилини);

максимальна кількість одночасних дзвінків, задається ключем: `-l 500` (500 одночасних дзвінків);

максимальна швидкість дзвінків в секунду, задається ключем: `-r 10` (не більше 10 дзвінків/сек.);

тривалість тестів складало приблизно 8 хв (500 с).

```

sysadmin@sysadmin-virtual-machine:~$ sipp 192.168.0.243 -s 2005 -i 192.168.0.253 -d 210s -l 500 -aa
-mi 192.168.0.253 -rtp_echo -nd trace_err
Resolving remote host '192.168.0.243'... Done.
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call rate (length) Port Total-time Total-calls Remote-host
10,0(210000 ms)/1,000s 5060 571.42 s 1016 192.168.0.243:5060(UDP)
-----
Successful call 0 1000
Failed call 0 0
-----
Response Time 1 00:00:00:000000 00:00:00:000000
Call Length 00:02:22:897000 00:02:22:897000
----- Test Terminated -----

```

Рис. 6.54. Результати налаштування *SIPr* та тестування IP PBX Elastix (VM1) при 500 одночасних дзвінків

Як бачимо з рисунку 6.54 всі дзвінки оброблені IP PBX Elastix, неопрацьованих нема. На рисунках 6.55, 6.56 приведена статистика у вигляді графіків отримана встановленим агентом Okmeter, що дозволяє оцінити кількість використаних ресурсів віртуальною машиною при різних умовах навантаження. На рисунку 6.57 відображено завантаження пам'яті відповідними службами ОС віртуальної машини включаючи ядро Asterisk.

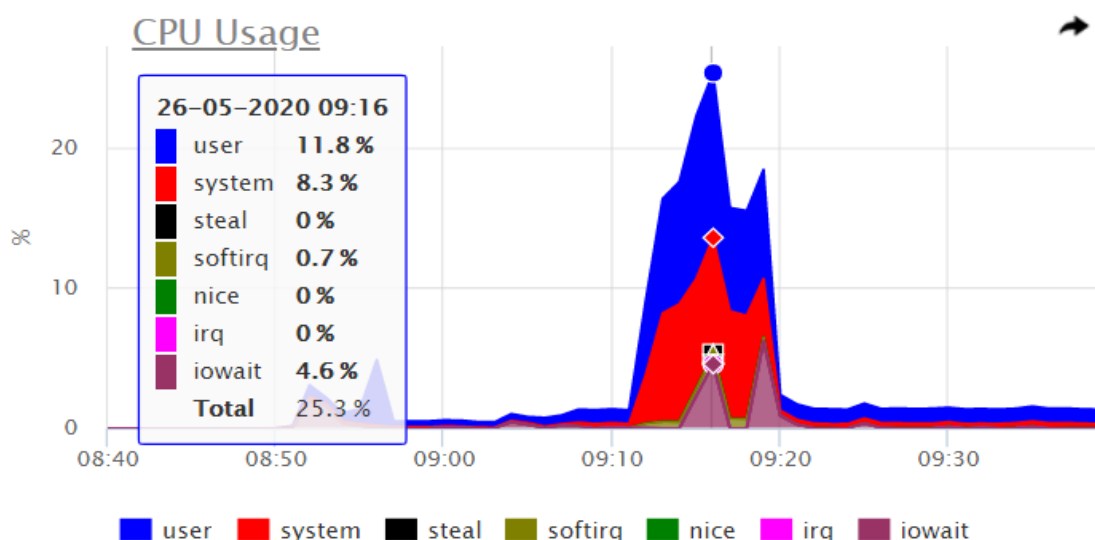


Рис. 6.55. Результати використання *CPU* IP PBX Elastix (VM1) при 500 одночасних дзвінків

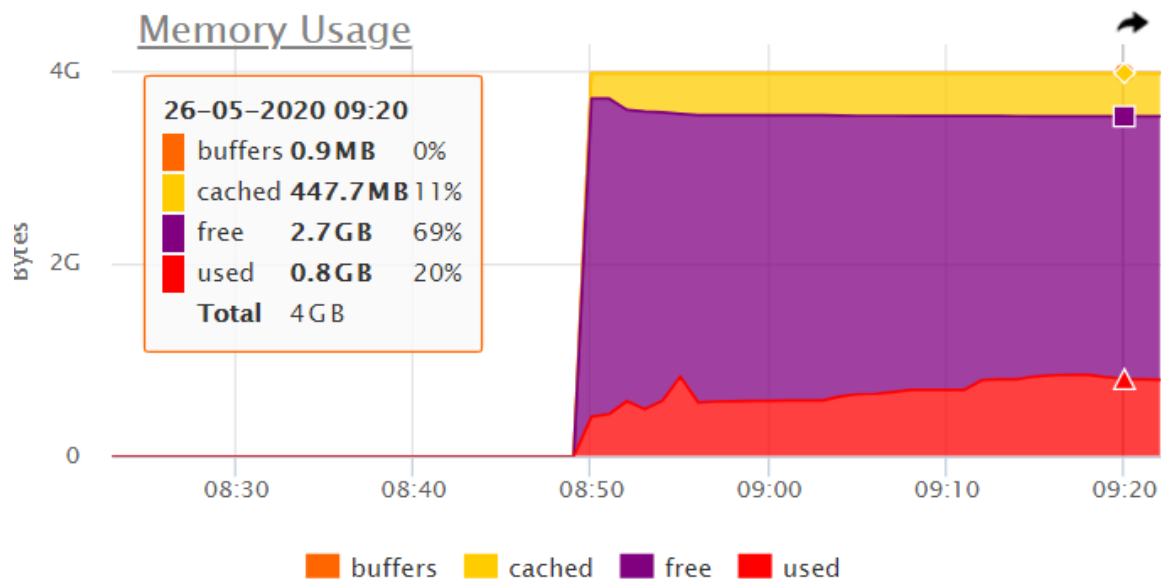


Рис. 6.56. Результати використання пам'яті IP PBX Elastix (VM1) при 500 одночасних дзвінків

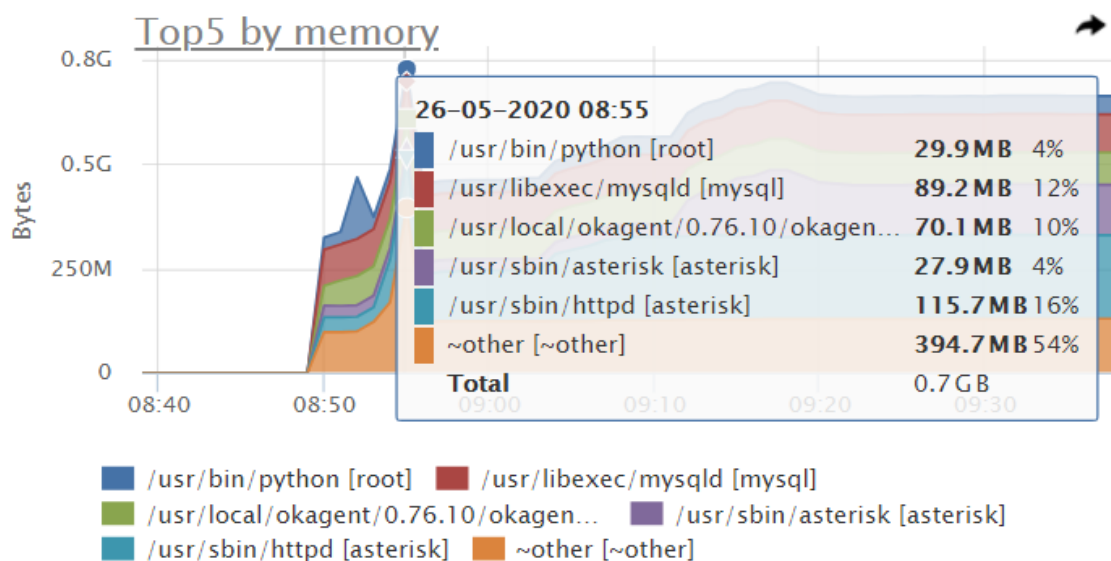


Рис. 6.57. Навантаження віртуальної машини службами при 500 одночасних дзвінків

В подальшому при тестуванні змінювались лише кількість одночасних дзвінків по *SIP trunk*, а саме -1 600 700, 800, 900, 1000, результати яких зведено в таблицю 6.8.

Таблиця 6.8. – результати тестування IP PBX Elastix на основі гіпервізора

Кількість одночасних дзвінків	Середнє навантаження на CPU (%)	Середнє навантаження на пам'ять		Кількість відкинутих дзвінків
		GB	%	
500	25	0.8	20	-
600	30,6	0.9	22	-
700	35,1	0.9	23	-
800	39,6	0.9	23	-
900	40,7	0.9	24	29
1000	45,7	1	24	174

Як видно з таблиці 6.8. при генеруванні 900 і 1000 одночасних викликів, деякі з них не опрацювались, тобто було відмовлено в обслуговуванні.

Потім була проведена друга група тестів для IP PBX Elastix в контейнері на основі віртуального сервера, тобто з *SIPp* VM3 було створено сценарій генерації дзвінків на VM2. Для проведення тестування IP PBX Elastix при контейнерній обробці (віртуальний стенд рис. 6.50) було також проведено експеримент з такими ж значеннями вхідного навантаження. А саме, на основі вище описаного сценарію був створений канал зв'язку між *SIPp* (VM3) та IP PBX Elastix в контейнері (VM2) з наступними параметрами (рис. 5.58):

тривалість дзвінків: *-d 210* і (3,5 хвилини);

максимальна кількість одночасних дзвінків: *-l 500* (не більше 500);

максимальна швидкість дзвінків в секунду: *-r* (не більше 10 дзвінків/секунду);

тривалість тестів складало приблизно 8 хв (500 с).

```

sysadmin@sysadmin-virtual-machine:~$ sipp 192.168.0.203 -s 2020 -i 192.168.0.253 -d 210s -l 500 -aa -mi 192.168.0.253 -rtp_echo -nd -r 10 -trace_err
Resolving remote host '192.168.0.203'... Done.
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call rate (length) Port Total-time Total-calls Remote-host
10,0(210000 ms)/1,000s 5060 478.51 s 1000 192.168.0.203:5060(UDP)
-----
Successful call | 0 | 1000
Failed call | 0 | 0

```

Рис. 6.58. Результати налаштування *SIPp* та тестування контейнера з IP PBX Elastix на основі віртуального сервера при 500 одночасних дзвінків

Як бачимо з рисунку 6.58 всі дзвінки оброблені, відмов нема. На рисунках 6.59, 6.60 приведена статистика у вигляді графіків для оцінки кількості використаних ресурсів при різних умовах навантаження. На рисунку 6.61 відображено завантаження пам'яті службами контейнера.

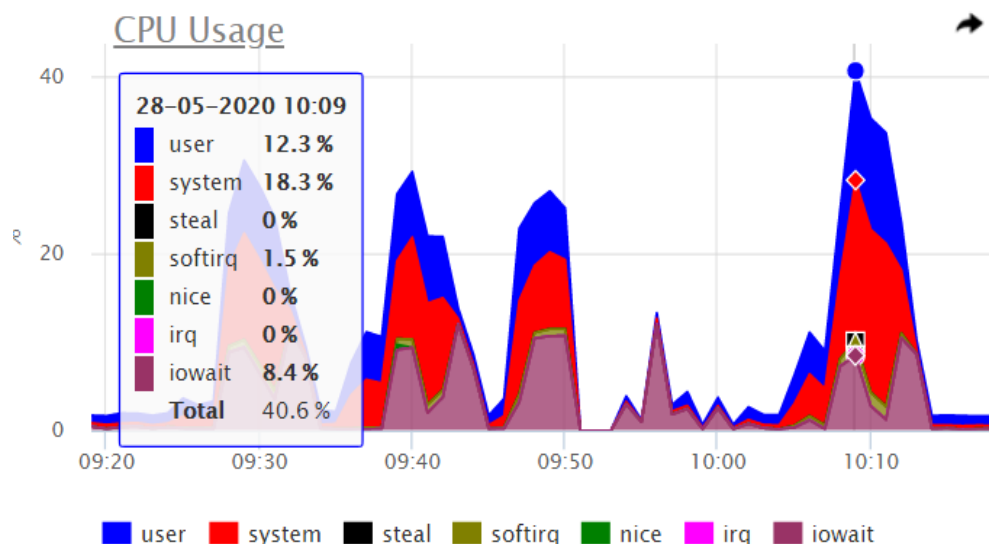


Рис. 6.59. Результати використання *CPU* при 500 одночасних дзвінків на контейнер при використанні віртуального серверу

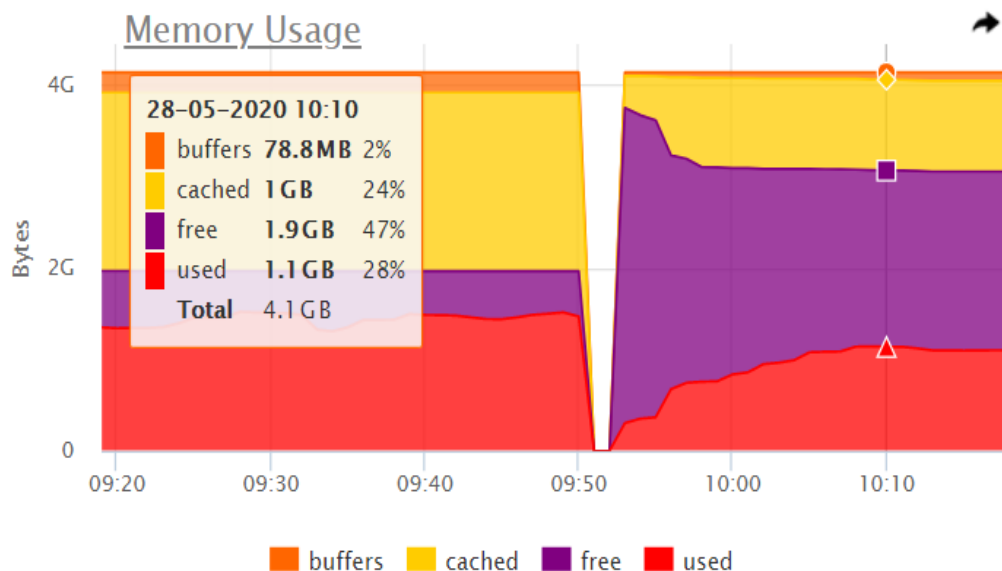


Рис. 6.60. Результати використання пам'яті контейнером при 500 одночасних дзвінків

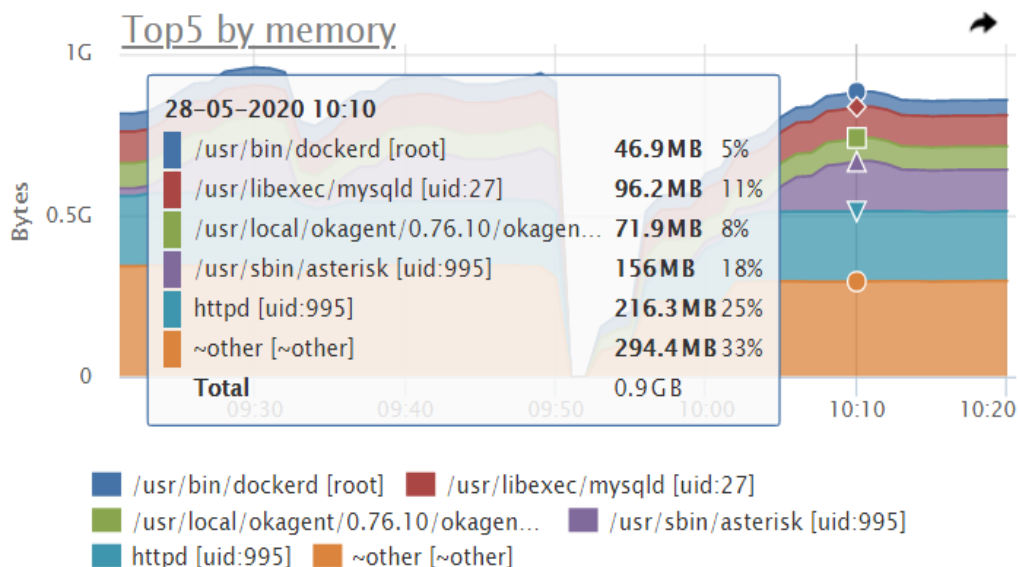


Рис. 6.61. Навантаження віртуальної машини з контейнером та службами ОС при 500 одночасних дзвінків

В подальшому при тестуванні змінювались лише кількість одночасних дзвінків по *SIP trunk*, а саме - 600, 700, 800, 900, 1000, результати яких зведено в таблицю 6.9.

Таблиця 6.9. – результати тестування контейнера з IP PBX Elastix на основі віртуального сервера

Кількість дзвінків	Середнє навантаження на CPU (%)	Середнє навантаження на пам'ять		Кількість відкинутих дзвінків
		GB	%	
500	40,6	1.1	28	-
600	44,1	1.2	29	-
700	40,6	1.2	29	200
800	38,7	1.2	29	322
900	43,6	1.2	30	411
1000	43,5	1.3	31	349

З приведеної таблиці можна спостерігати, що при 700 одночасних викликів на контейнер починається відмова в обслуговуванні.

Також була проведена *третя група тестів* при використанні фізичного сервера в якості платформи для контейнера з IP PBX Elastix (рис. 6.51). Для початку, проведемо опис основних компонентів відповідно до стенду рисунок 6.51:

1. На фізичному сервері встановлено ОС Ubuntu Server з підтримкою контейнерної віртуалізації. На основі даної ОС розгорнутий Docker та створено контейнер в якому сконфігуровано IP PBX Elastix. Тобто в даному випадку IP-АТС створено в контейнері на фізичному сервері.

2. На віртуальній машині (VM) встановлена ОС Ubuntu Desktop на якій встановлена утиліта *SIPp*, що дозволяє створювати навантаження для IP PBX Elastix згідно SIP протоколу.

Далі по аналогії вище проведених тестів був створений канал зв'язку між *SIPp* (VM) та IP PBX Elastix в контейнері з наступними параметрами (рис. 6.62):

тривалість дзвінків: *-d 210* і (3,5 хвилини);

максимальна кількість одночасних дзвінків: *-l 500* (не більше 500);

максимальна швидкість дзвінків в секунду: *-r* (не більше 10 дзвінків/секунду);

тривалість тестів складало приблизно 8 хв (500 с).

```

sysadmin@sysadmin-virtual-machine:~$ sipp 192.168.0.243 -s 2828 -i 192.168.0.253 -d 210s -l 500 -aa -mi 192.168.0.253 -rtp_echo -nd -r 10 -trace_err
Resolving remote host '192.168.0.243'... Done.
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call rate (length) Port Total-time Total-calls Remote-host
10,0(210000 ms)/1,000s 5060 498.21 s 1000 192.168.0.243:5060(UDP)
-----
Successful call | 0 | 1000
Failed call | 0 | 0

```

Рис. 6.62. Результати налаштування *SIPp* та тестування контейнера з IP PBX Elastix на базі фізичного сервера при 500 одночасних дзвінків

На рисунку 6.63 приведено статистика у вигляді графіків для оцінки кількості використаних ресурсів при різних умовах навантаження на основі фізичного сервера.

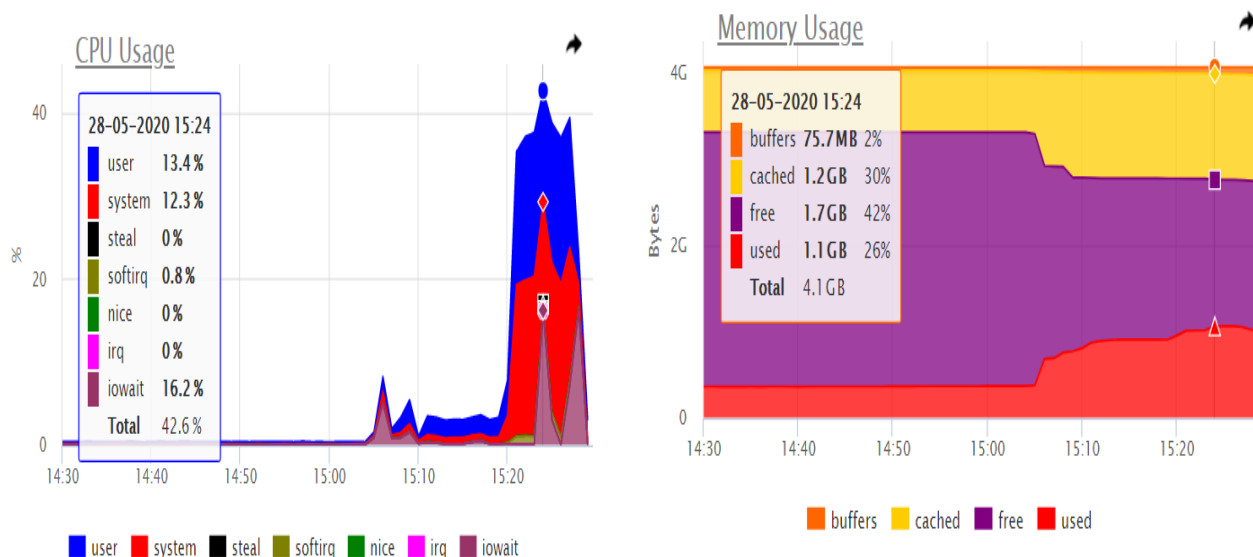


Рис. 6.63. Результати використання ресурсів контейнера при 500 одночасних дзвінків на основі фізичного сервера

В подальшому при тестуванні змінювались лише кількість одночасних дзвінків по *SIP trunk*, а саме -1 600 700, 800, 900, 1000, результати яких зведено в таблицю 6.10.

Таблиця 6.10. – результати тестування контейнера IP PBX Elastix на основі фізичного сервера

Кількість дзвінків	Середнє навантаження на CPU (%)	Середнє навантаження на пам'ять		Кількість відкинутих дзвінків
		GB	%	
500	42,6	1.1	26	-
600	51,9	1.1	27	-
700	60,3	1.1	27	-
800	61,8	1.2	29	-
900	62,6	1.2	30	-
1000	70	1.2	30	-

На основі аналізу проведених експериментів можна відмітити, що частка використання CPU при розгортанні IP PBX Elastix на основі віртуальної машини

менша в середньому на 22% від контейнерної віртуалізації. Натомість використання оперативної пам'яті майже не відрізняється та менше в середньому на 5%. Продуктивність IP PBX Elastix на віртуальній машині значно краща в порівнянні з контейнером IP PBX Elastix платформі *ESXi*, так як вже при навантаженні в 700 одночасних викликів контейнер не обслуговує практично 29 % вхідних викликів (в подальшому кількість відмов тільки зростає).

Однак, якщо порівнювати використання IP PBX Elastix на основі віртуальної машини та контейнера на фізичному сервері, то тут контейнери пропонують кращу стабільність роботи при максимальних рівнях навантаження втрати відсутні.

Висновки до розділу 6

Оцінка ефективності розробленого науково-методологічного апарату проводилась в порівнянні з існуючим за відомими мережевими показниками із врахуванням зазначених особливостей розробленої інтеграційної архітектури ЕКМ та особливостей функціонування системи сигналізації та моніторингу. В результаті було проведено аналітичне та імітаційне моделювання процесу обслуговування трафіка реального часу на різних рівнях гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

А саме, для перевірки удосконаленого методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ та удосконаленого методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу було проведено аналітичне моделювання для сегменту ЕКМ. В результаті аналітичного моделювання було з'ясовано, що використання двох незалежних шляхів передачі в кожному інформаційному напрямку дозволяє збільшити пропускну спроможність мережі, а також зменшити втрати в кожному інформаційному напрямку.

В свою чергу, при однакових вхідних даних та параметрів мережі, використання запропонованих удосконалень на основі квазістатичного методу формування плану розподілу навантаження, а також використання не менше двох незалежних шляхів в ІН дозволяє збільшити пропускну спроможність мережі в середньому на 19 – 20 %. А також дозволяє, зменшити втрати в ІН в середньому на 35 %. Необхідно відмітити, що використання розроблених методів призводить до більш рівномірного розподілу навантаження між гілками мережі і відповідно до збільшення коефіцієнта використання мережевого ресурсу в середньому в 1,15 рази.

Адекватність вище приведеного аналітичного науково-методологічного апарату підтверджується шляхом проведення імітаційного моделювання обслуговування трафіку реального часу в мережевому симуляторі дискретних подій Network Simulator 2. Проведений аналіз статистичних даних серії експериментів на імітаційній моделі показав, що корегування плану розподілу навантаження при незмінній структурі електронної комунікаційної мережі та об'єму мережевого ресурсу призводить до виграшу пропускну спроможності в середньому на 16 – 18 % навіть при допустимих граничних значеннях втрат в інформаційних напрямках.

Також, це дозволяє більш рівномірно розподілити навантаження між гілками мережі відповідно збільшується KBMP (K_m) в середньому в 1,12 рази. Тобто використання методів Traffic Engineering дозволяє покращити QoS трафіку реального часу та збільшити пропускну спроможність без введення додаткових мережевих ресурсів.

В даному розділі, також була проведена оцінка ефективності впровадження ядра IMS на рівні управління ЕКМ на основі розробленої імітаційної моделі в емуляторі комп'ютерної мережі Mininet з графічним інтерфейсом MiniEdit. Тестування проводилось для трьох типів мережевих технологій: сегменту ІР мережі, мережі IMS та для мережі з доменною структурою IMS. Аналіз результатів проведених експериментів дозволяє зробити висновок, що при використанні в якості показника ефективності

RTT (середній час відклику системи) в процесі обслуговуванні трафіку реального часу, застосування архітектури IMS дозволяє покращити функціонування в середньому на 15% в порівнянні із IP мережею, а використання доменної структури IMS дозволяє отримати вигоду в середньому на 19 %.

В подальшому була проведена серія експериментів, для трьох типів мережевих технологій, в режимі перенавантаження для найбільш довгих за кількістю транзитів шляхів передачі. Аналіз отриманих результатів вказує на те, що при збільшенні вхідного трафіку об'єм якого перевищує пропускну спроможність в 1,5 рази максимальні втрати характерні для найбільш віддалених інформаційних напрямків. Тобто, чим довші шляхи передачі (по кількості транзитів) тим більші втрати пакетів. При чому, втрати в мережі IMS в середньому на 15 % менші ніж в IP мережі, а в мережі IMS із доменною структурою на 17 % в порівнянні із IP мережею.

Також в даному розділі представлені результати аналітичного моделювання часу обробки службових повідомлень в контурі управління системи моніторингу. Дослідження даного питання тим, що від своєчасності отримання даних про стан елементів і ділянок мережі, залежить ефективність прийнятих рішень системою управління трафіком реального часу для доведення характеристик ЕКМ до необхідних норм.

Результати розрахунків на основі удосконаленої моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу для різних значень інтенсивності трафіка реального часу та трафіка моніторингу вказують на те, що збільшення інтенсивності опитування та розмірності мережі (кількості транзитних вузлів у контурі циклу управління) призводить до значень затримок передачі SNMP-повідомлень, що більші допустимих. Тобто, перевищення таймауту щодо повторного запиту призведе до різкого збільшення інтенсивності службового трафіку і відповідно може привести до перевантажень в мережі. Суттєве зменшення часу обробки службових повідомлень спостерігається при збільшенні швидкості передачі інформації до значення 8 Мбіт/с та не перевищує 10 % від загальної швидкості в каналі передачі. В свою, чергу використання групи

NMS-менеджерів для обслуговування трафіку моніторингу приводить також до зменшення загального часу обробки повідомлення в системі управління.

Основні вимоги, що висуваються до мережевих технологій транспортних мереж є: висока пропускна спроможність, мале значення затримки обробки повідомлень та її масштабованість.

Використання технології MPLS має ряд переваг в порівнянні з існуючими, основна з яких це можливість інтеграції з існуючими технологіями та мережевими протоколами, а також використання методів Traffic Engineering. Для визначення ефективності впровадження MPLS була проведена порівняльна оцінка даної технології з IP мережею, на основі розроблених бітових моделей вхідні данні для яких формується за допомогою імітаційних моделей в програмному середовищі GNS3.

В свою чергу використання бітових моделей, які розроблені з врахуванням обов'язкових дій щодо обробки повідомлень в процесі передачі дозволяє кількісно оцінити величину ефекту від впровадження технології MPLS над IP-маршрутизацією. Згідно проведеного аналізу можна зробити висновок, що кількість елементарних операцій в випадку застосування MPLS-технології зменшилась приблизно на 50% при кількості транзитних вузлів більше 30 та 150 ліній зв'язку в ЕКМ.

Головною тенденцією розвитку сучасних ЕКМ є широке застосування технологій віртуалізації, в тому числі для розгортання сервісу VoIP на базі власного серверного обладнання. Для оцінки впливу різних технологій віртуалізації, на процес функціонування VoIP телефонії та обчислювальні потужності серверного обладнання, проведено дослідження розроблених віртуальних моделей на основі IP PBX Elastix при використанні контейнерної віртуалізації та віртуальних машин.

На основі аналізу проведених експериментів можна відмітити, що частка використання *CPU* при розгортанні IP PBX Elastix на основі віртуальної машини менша в середньому на 22% від контейнерної віртуалізації. Натомість використання оперативної пам'яті майже не відрізняється та менше в середньому

на 5%. Продуктивність IP PBX Elastix на віртуальній машині значно краща в порівнянні з контейнером IP PBX Elastix платформі ESXi, так як вже при навантаженні в 700 одночасних викликів контейнер не обслуговує практично 29 % вхідних викликів (в подальшому кількість відмов тільки зростає).

Однак, якщо порівнювати використання IP PBX Elastix на основі віртуальної машини та контейнера на фізичному сервері, то тут контейнери пропонують кращу стабільність роботи при максимальних рівнях навантаження втрати відсутні.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна наукова проблема, що полягає в розвитку методології управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів. За підсумками розв'язання поставленої наукової проблеми можна зробити наступні висновки:

1. У відповідності до Закону України „Про електронні комунікації” поставленні завдання щодо інтеграції електронних комунікацій України у глобальні електронні комунікації, гармонізації національних стандартів, забезпечення норм та якості обслуговування та видів електронних комунікаційних послуг та їх приведення до міжнародних та європейських стандартів. Вирішення даної проблеми можливе шляхом формування загального електронного комунікаційного середовища при застосуванні єдиних стандартів, протоколів, концепцій побудови, інтеграційних архітектурних рішень систем сигналізації, що забезпечать надання необхідних сервісів із гарантованою якістю обслуговування.

2. Особливостями функціонування ЕКМ при обслуговуванні трафіку реального часу є: висока динаміка зміни структури та об'єму вхідного навантаження; обмежений мережевий ресурс; значна розмірність мережі; дотримання заданих показників якості обслуговування (QoS); розрізнені за технологіями побудови мережі доступу та транспортна мережа; розрізнені архітектурні рішення систем сигналізації; відсутнє управління потоками трафіка реального часу при оренді мережевих ресурсів; достатньо великий час реакції та нормалізації у випадку перевантажень; обмеження використання технологій TE; відсутність оперативного інтегрування новітніх мережевих технологій (сервісів) в роботу операторів комунікаційних послуг.

3. Формалізовано опис системного дослідження та запропоновано інтеграційну архітектуру ЕКМ на основі переваг концепцій NGN та IMS, що дозволяє об'єднати несумісне обладнання, різнорідні мережеві технології та різнотипні системи сигналізації для гарантованої якості обслуговування трафіка реального часу.

4. Розроблено науково-методологічний апарат управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах:

4.1. Розроблена нова модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ, яка на відміну від існуючих, враховує забезпечення показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу за інформаційними напрямками, при суперпозиції ймовірнісних потоків в гілках мережі, в процесі встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній електронній комунікаційній мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, згідно моделі Integrated Service. Модель дозволяє визначити ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання між абонентами для трафіка реального часу в інформаційних напрямках мереж із обхідними шляхами передачі, в залежності від структури мережі, кількості незалежних шляхів передачі, інтенсивності та закону розподілу вхідних потоків, плану розподілу навантаження, кількості віртуальних каналів в гілках мережі.

4.2. Удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ, який на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження з урахуванням рівня навантаженості та втрат на гілках мережі, а також враховує різні типи кодеків на кінцевому обладнанні мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє проводити оцінку пропускної спроможності ЕКМ із забезпеченням нормованих показників якості

обслуговування (QoS) трафіка реального часу та визначати доступні резерви пропускної спроможності в інформаційних напрямках та у гілках мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Тобто, метод дозволяє підвищити пропускну спроможність ЕКМ при виконанні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу за рахунок ефективного використання мережевого ресурсу ЕКМ з обхідними шляхами передачі. Виграш за показником якості обслуговування (QoS) в ІН складає 30 %; за показником пропускної спроможності в середньому складає 16 – 18 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

4.3. Удосконалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, який на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження, за найкоротшими та незалежними шляхами передачі для кожного інформаційного напрямку, в залежності від рівня навантаженості та коефіцієнту використання ресурсу гілок ЕКМ із технологією віртуальних каналів або тунелів. Метод дозволяє провести визначення достатнього мережевого ресурсу гілок ЕКМ при використанні обхідних шляхів передачі із технологією віртуальних каналів або тунелів для обслуговування трафіку реального часу із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) по всіх інформаційних напрямках мережі. А саме, метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс в гілках ЕКМ, який забезпечить нормовану якість обслуговування трафіка реального часу в інформаційних напрямках за рахунок використання не менше двох незалежних шляхів передачі з урахуванням завантаженості гілок мережі в процесі формування плану розподілу навантаження. Виграш за показником якості обслуговування в ІН складає 35 %; виграш за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; виграш за показником пропускної спроможності 19 – 20 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

4.4. Розроблений метод проектування системи сигналізації гетерогенної ЕКМ. Новизна методу полягає в декомпозиції функцій ядра підсистеми сигналізації IMS при інтеграції різнорідних мереж сигналізації, що дозволяє розрахувати обсяг службового трафіку при його транскодуванні до стандартизованого вигляду, а також забезпечити нормовані рівні показників якості обслуговування трафіку сигналізації в залежності від структури гетерогенної ЕКМ, різних типів протоколів сигналізації, вхідного навантаження та кількості абонентів. Метод дозволяє визначити достатній мережевий ресурс для трафіку сигналізації в ядрі IMS гетерогенної ЕКМ та провести обґрунтування необхідної продуктивності та кількості програмно-функціональних блоків системи сигналізації. Тобто, метод дозволяє сформулювати вимоги до необхідної кількості мережевого ресурсу мережі сигналізації із врахуванням транскодування різних типів протоколів сигналізації, а також визначити необхідну кількість та продуктивність програмно-функціональних блоків ядра IMS в системі сигналізації. Виграш, при впровадженні рівня IMS, за показником середнього часу відклику системи (RTT) складає 15 % в порівнянні із класичною IP мережею, а використання доменної структури IMS дозволяє отримати виграш в середньому на 19 %.

4.5. Удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ яка на відміну від існуючих, враховує випадковий час обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускної спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі. Модель дозволяє провести обґрунтування максимально допустимого обсягу службового трафіку системи моніторингу в залежності від значення

інтервалу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів та функціонуючого корисного навантаження трафіка реального часу в гілках гетерогенної ЕКМ.

5. Розроблено методологію управління пропускною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу та проведено оцінку ефективності розробленого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в ЕКМ за нормованими показниками QoS якості обслуговування, а також за мережевими показниками: пропускна спроможність, коефіцієнт використання мережевого ресурсу, кількість та зв'язність вузлів (розмірність та структурна надмірність мережі), середній час відклику системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gyasi-Agyei A. Telecommunications Engineering. WORLD SCIENTIFIC, 2019. URL: <https://doi.org/10.1142/11277> (date of access: 12.03.2020).
2. Freeman R. L. Fundamentals of Telecommunications. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2005. URL: <https://doi.org/10.1002/0471720941> (date of access: 25.07.2020).
3. Нестеренко М.М. Принципи побудови системи управління базовою телекомунікаційною мережею ЗСУ на основі концепції IMS. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО*: зб. тез доп. X науково-практ. конф., м. Київ, 9 – 10 лист. 2017 р. С. 56 – 60.
4. Castaldo A., Fiorini A., Reganati F. Next-generation networks as general-purpose technologies. *Society and Technology*. 2020. P. 29–48. URL: <https://doi.org/10.4324/9780429278945-3> (date of access: 14.09.2021).
5. ITU-T Recommendation Y.2011. General principles and general reference model for Next Generation Networks. Effective from 2004-10-07. Official edition. Switzerland Geneva, 2005. 27 p.
6. IP Multimedia Subsystem (IMS) Handbook / ed. by M. Ilyas, S. A. Ahson. Boca Raton : CRC Press, 2018. 560 p. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315219011> (date of access: 22.03.2019).
7. Нестеренко М.М., Толюпа С.В., Успенський О.А. Проблема інваріантності в інфокомунікаційних системах зв'язку. *Збірник наукових праць «Information Technology and Security» Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”*. 2012. Т. 1, № 2(2). С. 53 – 60.

8. ITU-T Recommendation M.3060/Y.2401. Principles for the Management of Next Generation Networks. Official edition. Geneva : Switzerland Geneva, 2006. 57 p.

9. ITU-T Recommendation Y.2021. IMS for Next Generation Networks. Official edition. Geneva : Switzerland Geneva, 2006. 13 p.

10. Unmehopa M., Vemuri K., Bennett A. Parlay/OSA. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd, 2006. URL: <https://doi.org/10.1002/0470028246> (date of access: 19.07.2015).

11. Ohrtman F. Softswitch: Architecture for VoIP, Second Edition. 2nd ed. McGraw-Hill Professional, 2007. 400 p.

12. Douskalis B. Putting VoIP to work: Softswitch network design and testing. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2001. 327 p.

13. Romanov O., Dong T., Nesterenko M. The Possibilities for Deployment Eco-Friendly Indoor Wireless Networks Based on LiFi Technology. *8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT)*. March 2020. P. 41–48. URL: <http://dx.doi.org/10.25673/32747>

14. Романов О.І., Нестеренко М.М., Донг Т.Т., Федюшина Д.М. Модель системи бездротового доступу на базі технології Li-Fi. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2018. №1. С. 83 – 89.

15. Романов О.І., Кутир С.С., Нестеренко М.М. Оцінка ймовірності помилки в DWDM-системі. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2011. №2. С. 101– 111.

16. Романов О.І., Нестеренко М.М., Рудько Н.Д. Оцінка продуктивності мережевих технологій каналного рівня в умовах перевантажень. *Збірник наукових праць ВІТІ ДУТ*. 2014. №1. С. 55 – 66.

17. Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Оцінка якості обслуговування в DWDM-системі на базі Q-фактора. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: зб. тез доп. VI науково-практ. семінар, м. Київ, 20 жовт. 2011 р.* С. 155.

18. Metz C. Layer 2 over IP/MPLS. *IEEE Internet Computing*. 2001. Vol. 5, no. 4. P. 77–82. URL: <https://doi.org/10.1109/4236.939453> (date of access: 10.01.2011).
19. Johnston A. B. SIP: Understanding the Session Initiation Protocol. 3rd ed. Boston : Artech House, 2009. 395 p.
20. Романов О.І., Нестеренко М.М., Гордашник Є.С. Аналіз функціональних особливостей побудови IP-мереж на базі Softswitch. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2015. №1. С. 69 – 80.
21. Romanov O., Nesterenko M., Mankivskyi, V Zhuk, O. Principles of Building Modular Control Plane in Software-Defined Network. *Progress in Advanced Information and Communication Technology and Systems*. Cham, 2022. P. 333 – 355. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16368-5_17
22. Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О. Аналіз сучасних технологій віртуалізації для побудови інформаційно-телекомунікаційних систем. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2019. №1. С. 82 – 90.
23. Romanov O., Nesterenko M., Boggia G., Striccoli D. Construction and Methods for Solving Problems at the SDN Control Level. *Emerging Networking in the Digital Transformation Age*. Cham, 2023. P. 85–101 URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_6
24. Nadeau T. D., Gray K. SDN: Software Defined Networks. O'Reilly Media, Incorporated, 2013.
25. Нестеренко М.М., Топорков М.А. Мова програмування P4 мережевих пристроїв SDN. *Перспективи телекомунікацій ПТ-2021*: матеріали П'ятнадцятого міжнар. науково-техн. конф. і Тринадцятого студент. науково-техн. конф., м. Київ, 12 – 16 квіт. 2021 р. С. 106 – 109.
26. Нестеренко М.М., Сколець С.С., Марінов А.І. Особливості побудови розподіленої мережевої системи ONOS. *Перспективи телекомунікацій ПТ-2023*: матеріали Сімнадцятого міжнар. науково-техн. конф. і П'ятнадцятого студент. науково-техн. конф., м. Київ, 18 – 20 квіт. 2023 р. С. 137 – 140.

27. Романов О.І., Нестеренко М.М. Побудова транспортної телекомунікаційної мережі Збройних Сил України з урахуванням рекомендацій міжнародного союзу електрозв'язку ІТУ. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку, автоматизації та кібербезпеки в операції Об'єднаних сил.* зб. тез доп. XIII науково-практ. конф., м. Київ, 3 груд. 2020 р. С. 77 – 82.

28. Романов О.І., Нестеренко М.М., Верес Л.А. Аналіз особливостей функціонування сервісів реального часу в системі IMS на базі сучасних протоколів IP-телефонії. *Збірник наукових праць ВІТІ.* 2017. №4. С. 111 – 120.

29. Globa L., Skulysh M., Romanov O., Nesterenko M. Quality Control for Mobile Communication Management Services in Hybrid Environment. *Lecture Notes in Electrical Engineering.* Cham, 2019. P. 76–100. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_4

30. CRC Handbook of Modern Telecommunications / ed. by P. A. Morreale, K. Terplan. CRC Press, 2017. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420078084>.

31. Романов О. І., Нестеренко М. М. Розвиток систем управління телекомунікаційними мережами на базі стандарті TMN. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. V науково-практ. семінар, м. Київ, 22 жовт. 2009 р. С. 109.

32. Sathyan J. Fundamentals of EMS, NMS and OSS/BSS. New York : Auerbach Publications, 2010. 588 p. URL: <https://doi.org/10.1201/b15748> (date of access: 05.08.2015).

33. Iannone E. Telecommunication Networks. Boca Raton : CRC Press, 2017. 918 p. URL: <https://doi.org/10.1201/b1136>.

34. Harrington D., Presuhn R., Wijnen B. An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks. RFC Editor, 2002. URL: <https://doi.org/10.17487/rfc3411> (date of access: 19.01.2018).

35. Network Models and Optimization. London : Springer London, 2008. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-181-7> (date of access: 05.07.2020).

36. Jue J. P., Vokkarane V. M. Optical Burst Switched Networks. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2005. 147 p.
URL: <https://doi.org/10.1007/b102280> (date of access: 03.05.2019).

37. Нестеренко М. М., Березань Ю.В. Методи забезпечення якості обслуговування в мережах з комутацією пакетів. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення*: зб. тез доп. VI науково-практ. семінар, м. Київ, 20 жовт. 2011 р. С. 154.

38. Нестеренко М. М., Висоцький Г. В. Моделі забезпечення QoS на базі механізмів TRAFFIC ENGINEERING. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. VII науково-практ. семінар, м. Київ, 24 жовт. 2013 р. С. 155.

39. Evaluating IP, MPLS and MPLS RSVP-TE Networks. *Communications on Applied Electronics*. 2015. Vol. 3, no. 1. P. 28–31.
URL: <https://doi.org/10.5120/cae2015651865> (date of access: 12.02.2017).

40. Kappler C. UMTS Networks and Beyond. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2009. 353 p.

41. Quality of service management in NGN networks / L. N. Berkman et al. *Telecommunication and information technologies*. 2020. Vol. 69, no. 2.
URL: <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2020.020412> (date of access: 13.01.2023).

42. Prasad R., Velez F. WiMAX networks: Techno-economic vision and challenges. Dordrecht : Springer, 2010. 488 p.

43. Телекомунікаційні системи та мережі наступного покоління : навч. посіб. / В. Заїка та ін. Київ : ДУТ, 2019. 315 с.

44. ITU-T E.800. Definitions of terms related to quality of service. Effective from 2008-09-23. Official edition. Switzerland Geneva, 2008. 23 p.

45. ITU-T Recommendation Y.1560. Parameters for TCP connection performance in the presence of middleboxes. Effective from 2003-09-13. Official edition. Geneva, 2003. 11 p.

46. ITU-T Recommendation E.520. Number of circuits to be provided in automatic and/or semiautomatic operation, without overflow facilities. Official edition. 1993. 3 p.

47. ITU-T Recommendation E.521. Calculation of the number of circuits in a group carrying overflow traffic. Official edition. 1993. 11 p.

48. Recommendation ITU-T E.812. Crowdsourcing approach for the assessment of end-to-end quality of service in fixed and mobile broadband networks. Effective from 2020-05-29. Official edition. Switzerland Geneva, 2020. 22 p.

49. Recommendation ITU-T Y.2617. Quality of service guaranteed mechanisms and performance model for public packet telecommunication data networks. Effective from 2016-06-13. Official edition. Switzerland Geneva, 2016. 9 p.

50. Про електронні комунікації : Закон України від 16.12.2020 р. № 1089-IX : станом на 11 груд. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text> (дата звернення: 17.12.2023).

51. Про деякі питання якості надання універсальних електронних комунікаційних послуг голосових електронних комунікацій у фіксованому місці : Наказ Адмін. Держ. служби спец. зв'язку та зах. інформації України від 23.01.2023 р. № 50. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0362-23#Text> (дата звернення: 27.01.2023).

52. Про затвердження Показників якості послуг із передачі даних, доступу до Інтернету та їх рівнів : Наказ Адмін. Держ. служби спец. зв'язку та зах. інформації України від 28.12.2012 р. № 803. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0135-13#Text> (дата звернення: 30.01.2018).

53. Про затвердження Вимог щодо рівня якості послуг рухомого (мобільного) зв'язку : Наказ Адмін. Держ. служби спец. зв'язку та зах. інформації України від 20.09.2021 р. № 576. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1298-21#Text> (дата звернення: 03.05.2022).

54. Нестеренко М. М., Семеріч П. Ю. Основні підходи щодо побудови систем управління конвергентних телекомунікаційних мереж. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. V науково-техн. конф., м. Київ, 20 – 21 жовт. 2010 р. С. 185 – 186.

55. Quality of Service and Telecommunication Impairments. *Fundamentals of Telecommunications*. New York, USA. P. 43–55. URL: <https://doi.org/10.1002/0471224162.ch3> (date of access: 21.06.2021).

56. Лемешко О. В., Євдокименко М. О. Вдосконалення потокової моделі маршрутизації в мультисервісній телекомунікаційній мережі із забезпеченням якості обслуговування. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 1(61), С. 31–43. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.04>.

57. Lundqvist P., Barreiros M. QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2016. 256 p.

58. Lemeshko A. V., Evseeva O. Y., Garkusha S. V. Research on tensor model of multipath routing in telecommunication network with support of service quality by greate number of indices. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2014. Vol. 73, no. 15. P. 1339–1360. URL: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v73.i15.30>

59. The solution to the problem of the QoS characteristics definition for self-similar traffic serviced by the W/M/1 QS / I. Strelkovskaya et al. *2016 Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 4–6 October 2016. 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2016.7905330> (date of access: 07.12.2016).

60. Поповський В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем : підручник. Харків : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 564 с.

61. Ложковський А. Нові методи теорії телетрафіка. Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Поп., 2018. 80 с.

62. Ложковський А. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях : підручник. Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Поп., 2010. 112 с.

63. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посіб. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова : Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2018. 141 с.

64. Косолапов А. А. Аналітичні моделі масового обслуговування в задачах проектування інформаційних систем. Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазар. «LikePrint», ФОП Гечка, 2015. 186 с.

65. Taylor H. M., Karlin S. Introduction to Stochastic Modeling. Elsevier Science & Technology Books, 2014.

66. О.І. Романов, М.М. Нестеренко, В.Б. Маньківський, І.О. Сайченко Модель оптимального розподілу навантаження в мережі доступу мобільного оператора. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2020. № 3. С. 20 – 29. URL: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2020.200346>

67. Воробієнко П., Нікітюк Л., Резніченко П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : підручник. Київ : САММІТ-Кн., 2010. 708 с.

68. An overview of routing optimization for internet traffic engineering / N. Wang et al. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2008. Vol. 10, no. 1. P. 36–56. URL: <https://doi.org/10.1109/comst.2008.4483669> (date of access: 17.01.2009).

69. Hendling K., Franzl G., Bengi K. Internet traffic engineering. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*. 2004. Vol. 121, no. 6. P. 239–242. URL: <https://doi.org/10.1007/bf03055356> (date of access: 01.05.2010).

70. Khan M. MPLS Traffic Engineering in ISP Network. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Vol. 59, no. 4. P. 23–32. URL: <https://doi.org/10.5120/9536-3972> (date of access: 04.07.2013).

71. Романов О.І., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Регресійна модель коефіцієнта використання каналів гілки телекомунікаційної мережі. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2009. №1. С. 106 – 116.

72. Romanov O.I., Nesterenko M.M., Tikhonov V.I. The Task of the Telecommunication Flow Control Solution Based on the Channel Utilization Model.

Information and Telecommunication Sciences. 2014. No. 1. P. 20 – 23.

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Telnau_2014_1_1_6

73. Шахно С. М. Чисельні методи лінійної алгебри : навч. посіб. Львів : ЛНУ, 2007.

74. Задачин В., Конюшенко І. Чисельні методи : навч. посіб. Харків : ХНЕУ ім. С.Кузнеця, 2014. 180 с.

75. Руденко В. М. Математична статистика : навч. посіб. Київ : «Центр учб. літ.», 2012. 304 с.

76. Голоскоков О. Основи регресійного аналізу. Харків : НТУ „ХПІ”, 2008. 93 с.

77. Бахрушин В. Математичні основи моделювання систем : навч. посіб. Запоріжжя : Класич. приват. ун-т, 2009. 224 с.

78. A constrained multipath traffic engineering scheme for MPLS networks / Youngseok Lee et al. IEEE International Conference on Communications, New York, NY, USA. URL: <https://doi.org/10.1109/icc.2002.997280> (date of access: 22.10.2022).

79. Чисельні методи : навч. посіб. / Л. Волонтир та ін. Вінниця : Вінниця: ВНАУ, 2020. 322 с.

80. Турчин В. М. Теорія ймовірностей і математична статистика : основні поняття, приклади, задачі: підруч. для студентів ВНЗ. Дніпропетровськ : ДНУ, 2006. 476 с.

81. Слюсарчук П. В. Теорія ймовірностей та математична статистика : підруч. для студ. вищ. навч. закл. Ужгород : Карпати, 2005. 184 с.

82. Пасічник Я. Вища математика. Вид-во Нац. ун-ту «Острозька акад.», 2021. 432 с. URL: <https://doi.org/10.25264/978-617-8041-03-8> (дата звернення: 25.01.2022).

83. Свердан П. Л. Вища математика : мат. аналіз і теорія ймовірностей : підруч. Київ : Знання, 2008. 450 с.

84. Romanov O. I., Nesterenko M. M., Mankivskiy V. B. The usage of regress model coefficient utilization of channels for creating the load distribution plan in

network. *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. 2016. №67. P 34 – 42. URL: <https://doi.org/10.20535/radap.2016.67.34-42>

85. Пустовойтов П. Математичні моделі мереж зв'язку : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2019. 105 с.

86. Воропаєва В., Бессараб В., Турупалов В. Теорія телетрафіку : навч. посіб. Донецьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. 202 с.

87. Medhi J. Stochastic Models in Queueing Theory, Second Edition. Academic Press, 2002. 450 p.

88. Romanov O., Siemens E., Nesterenko M., Mankivskyi V. Mathematical Description of Control Problems in SDN Networks. *9th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIT)*. April 2021. 2021. P. 33 – 39. URL: <http://dx.doi.org/10.25673/36582>

89. Romanov O., Nesterenko M., Mankivskyi V. The Method of Redistributing Traffic in Mobile Network. *Data-Centric Business and Applications*. Cham, 2021. P. 159–182. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_7

90. Скулиш М.А. Романов О.І., Нестеренко М.М. Принцип прогнозування необхідного віртуального ресурсу хмарної системи для оператора мобільного зв'язку. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2018. №2. С. 113 – 119.

91. Clark M. P. Data Networks, IP and the Internet: Protocols, Design and Operation. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2003. 866 p.

92. Interconnection Networks. Elsevier, 2003. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-1-55860-852-8.x5000-7> (date of access: 17.04.2018).

93. Kenyon T. High Performance Data Network Design. Elsevier Inc. All, 2002. 623 p. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-1-55558-207-4.x5000-9> (date of access: 03.04.2018).

94. Agbinya J. I. IP Communications and Services for NGN. Auerbach Publications, 2009. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420070910> (date of access: 16.01.2021).

95. Collins D., Natsvlshvili I. Carrier Grade VoIP. 3rd ed. McGraw-Hill Osborne Media, 2010. 608 p.
96. Тарбаєв С. NGN та нові пакетні транспортні технології. Поточний стан. *Вісник ДУІКТ*. 2012. Т. 10, № 1. С. 30 – 35.
97. Ali S. R. Next-Generation Network (NGN). *Signals and Communication Technology*. Cham, 2018. P. 1–27. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01647-0_1 (date of access: 13.09.2019).
98. Salina J. L., Salina P. Next Generation Networks: Perspectives and Potentials. Wiley & Sons, Limited, John, 2008. 252 p.
99. Wilkinson N. Next Generation Network Services: Technologies and Strategies. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2002. 210 p.
100. Janevski T. NGN Architectures, Protocols and Services. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd, 2014. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118607381> (date of access: 01.09.2016).
101. Wilmot C., Swale R. VoIP and Multimedia with H.323. *Voice Over IP (internet protocol): systems and solutions*. The Institution of Engineering and Technology, Michael Faraday House, Six Hills Way, Stevenage SG1 2AY, UK. P. 225–258. URL: https://doi.org/10.1049/pbbs003e_ch10.
102. Tromparent M.-M. Network Resource Management: From H.323 to SIP. *Universal Multiservice Networks*. Berlin, Heidelberg, 2004. P. 257–266. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-30197-4_26.
103. Russell T. Session Initiation Protocol (SIP): Controlling convergent networks. New York : McGraw-Hill, 2008. 264 p.
104. Fathi H., Chakraborty S. S., Prasad R. On SIP Session Setup Delay for VoIP Services Over Correlated Fading Channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2006. Vol. 55, no. 1. P. 286–295. URL: <https://doi.org/10.1109/tvt.2005.861213> (date of access: 11.08.2010).
105. Internet Telephony / ed. by L. W. McKnight, W. Lehr, D. D. Clark. The MIT Press, 2001. URL: <https://doi.org/10.7551/mitpress/3873.001.0001> (date of access: 02.03.2021).

106. Handbook of Computer Networks / ed. by H. Bidgoli. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2007.
URL: <https://doi.org/10.1002/9781118256107> (date of access: 16.03.2021).

107. Tanenbaum A. S., Wetherall D. Computer Networks, Global Edition (6th Edition). Pearson Education, Limited, 2021.

108. Romanov O. I., Nesterenko M. M., Veres L. A. Integration Of Modern Protocols Ip-Telephony In Ims Architecture. *2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 10 – 14 September 2018. 2018.
URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047587>

109. Нестеренко М.М., Верес Л.А. Взаємодія різних видів телефонних мереж із сучасними мережами передачі даних на базі платформи IMS. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2018*: матеріали Дванадцята міжнар. науково-техн. конф. і Десята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 16 – 20 квіт. 2018 р. С. 95 – 97.

110. Wuthnow M., Stafford M., Shih J. Ims: A New Model for Blending Applications. Boca Raton : Auerbach Publishers, Incorporated, 2010. 360 p.

111. Sharma R. The IP Multimedia Subsystem (IMS). *IETE Technical Review*. 2006. Vol. 23, no. 4. P. 241–245.
URL: <https://doi.org/10.1080/02564602.2006.11657951> (date of access: 27.01.2016).

112. Poikselka M., Mayer G. IMS: IP Multimedia Concepts and Services. 3rd ed. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2009. 502 p.

113. Abhayawardhana V. S., Babbage R. A Traffic Model for the IP Multimedia Subsystem (IMS). *2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference*, Dublin, Ireland, 22–25 April 2007. 2007.
URL: <https://doi.org/10.1109/vetecs.2007.171>.

114. El Mahdi Boumezzough M., Idboufker N., Ait Ouahman A. Evaluation of SIP Call Setup Delay for VoIP in IMS. *Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, 2013. P. 16–24. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38227-7_6 (date of access: 01.02.2014).

115. Camarillo G., García-Martín M.-A. 3G IP Multimedia Subsystem: Merging the Internet and the Cellular Worlds. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2011. 664 p.

116. Pérez A. The IMS Network. *Mobile Networks Architecture*. Hoboken, NJ USA, 2013. P. 227–252. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118562116.ch6> (date of access: 27.01.2023).

117. Copeland R. Converging NGN Wireline and Mobile 3G Networks with IMS. Auerbach Publications, 2008. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420013788> (date of access: 25.01.2020).

118. Zhu X., Liao J. The IMS: IP multimedia concepts and services in the mobile domain. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2007. Vol. 58, no. 11. P. 1705–1706. URL: <https://doi.org/10.1002/asi.20623> (date of access: 17.01.2017).

119. Loshin P. IPv6: Theory, protocol, and practice. 2nd ed. Amsterdam : Morgan Kaufmann, 2004. 536 p.

120. King K., Rufa G. SS7 over IP - Signalling Transport Protocols. *Voice Over IP (internet protocol): systems and solutions*. The Institution of Engineering and Technology, Michael Faraday House, Six Hills Way, Stevenage SG1 2AY, UK. P. 137–160. URL: https://doi.org/10.1049/pbibt003e_ch6 (date of access: 27.06.2017).

121. Robar A. FreePBX 2.5 powerful telephony solutions: Configure, deploy, and maintain an enterprise-class VoIP PBX. Birmingham, UK : Packt Publishing, 2009.

122. Li Y., Li W., Jiang C. A Survey of Virtual Machine System: Current Technology and Future Trends. *2010 Third International Symposiums on Electronic Commerce and Security (ISECS)*, Nanchang City, China, 29–31 July 2010. 2010. URL: <https://doi.org/10.1109/isecs.2010.80> (date of access: 04.07 .2017).

123. Романов О.І., Нестеренко М.М. Еволюція технологій телекомунікаційних мереж. *Досягнення в телекомунікаціях 2019: монографія / ред.: М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук*. Київ, 2019. С. 88 – 105.

124. Романов О.І., Верес Л.А., Нестеренко М.М. Методика розрахунку безвідмовної роботи системи IMS на базі віртуальних машин. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2020*: матеріали Чотирнадцята міжнар. науково-техн. конф. і Дванадцята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 13 – 17 квіт. 2020 р. С. 132 – 134.

125. Нестеренко М.М., Потапенко І.В. Стандарти відеоконференцзв'язку в сучасних телекомунікаційних мережах. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. тез доп. VII науково-практ. семінар, м. Київ, 24 жовт. 2013 р. С. 156.

126. Romanov O. I., Nesterenko M. M., Veres L. A., Hordashnyk Y. S. IMS: Model and calculation method of telecommunication network's capacity . *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, 11–15 September 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmico.2017.8095412>

127. Romanov, O., Nesterenko, M., Veres, L., Kamarali, R., Saychenko, I. Methods for Calculating the Performance Indicators of IP Multimedia Subsystem (IMS) *Advances in Information and Communication Technology and Systems*. Cham, 2020. P. 229–256. URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_13

128. Bhosure S., Asthana R. Functional Requirements of Network Management System based on Simple Network Management Protocol. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2023. Vol. 12, no. 9. P. 1332–1338. URL: <https://doi.org/10.21275/sr23916225254> (date of access: 10.12.2023).

129. Шестоपालов С. Дослідження та проектування комп'ютерних систем та мереж : конспект лекцій. Одеса : Од. нац. акад. харч. технологій, 2017. 82 с.

130. Нестеренко М.М., Криховецький Г.Я. Моделі управління транспортними мережами на основі сучасних протоколів моніторингу. *Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах*: зб. тез доп. XIX міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 2017 р. С. 221.

131. Нестеренко М.М., Сірко І.М., Бібик М.О. Моделі управління IP-мережами на базі сучасних протоколів моніторингу. *Пріоритетні напрямки*

розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: зб. тез доп. VII науково-техн. конф., м. Київ, 23 – 24 жовт. 2014 р. С. 136.

132. Горбенко В., Картавих В., Субач І. Модель моніторингу домену управління інформаційної мережі. Системи обробки інформації. 2013. Т. 111, № 4. С. 118 – 122.

133. Нестеренко М.М., Татарський А.Д. Аналіз сучасних систем контролю ефективності роботи мережевих служб інформаційно-телекомунікаційних мереж військового призначення. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення з урахуванням досвіду АТО*: зб. тез доп. VIII науково-практ. конф., м. Київ, 29 жовт. 2015 р. С. 139.

134. RFC 2572. Message Processing and Dispatching for the Simple Network Management Protocol (SNMP). Official edition. 1999. 44 p. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2572/> (date of access: 01.01.2012).

135. RFC 2571. An Architecture for Describing SNMP Management Frameworks. Official edition. 1999. 62 p. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2571/> (date of access: 17.11.2009).

136. RFC 1157. Simple Network Management Protocol (SNMP). Official edition. 1990. 36 p. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc1157/> (date of access: 19.08.2011).

137. Hare C. Simple Network Management Protocol (SNMP). *Encyclopedia of Information Assurance*. 2010. P. 2721–2727. URL: <https://doi.org/10.1081/e-eia-120046385> (date of access: 18.09.2024).

138. Mauro D., Schmidt K. Essential SNMP: Help for System and Network Administrators. O'Reilly Media, Incorporated, 2005.

139. Akimaru H., Kawashima K. Teletraffic: Theory and applications. 2nd ed. London : Springer, 1999. 225 p.

140. Gibbens R. J. Teletraffic Theory. *The Cable and Telecommunications Professionals' Reference*. 2007. P. 394–414. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-240-80747-8.50026-5> (date of access: 09.10.2008).

141. Самойленко М., Скоков Б. Дослідження операцій (Математичне програмування. Теорія масового обслуговування) : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2005. 181 с.
142. Романов О.І., Нестеренко М.М. Аналітична модель інтенсивності службового трафіку згідно SNMP-протоколу. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2012. №2. С. 75 – 83.
143. Kleinrock L. *Queueing systems: Problems and solutions*. New York : Wiley, 1996. 227 p.
144. Gail R., Kleinrock L. *Queueing Systems: Problems and Solutions*. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2008. 240 p.
145. Томашевський В. М. Моделювання систем : підруч. для студентів ВНЗ. Київ : Вид. група BHV, 2007. 352 с.
146. Обод І., Заволодько Г., Свид І. Математичне моделювання систем : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», Друк. МАДРИД, 2019. 268 с.
147. Уривський Л. О., Мошинська А. В., Осипчук С. О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 202 с.
148. Bossel H. *Modeling and Simulation*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 1994. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-663-10822-1> (date of access: 11.08.2022).
149. Fujimoto R. M., Riley G. F., Perumalla K. S. Introduction. *Network Simulation*. Cham, 2007. P. 1–4. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-79977-8_1 (date of access: 18.05.2014).
150. Issariyakul T., Hossain E. Introduction to Network Simulator 2 (NS2). *Introduction to Network Simulator NS2*. Boston, MA, 2011. P. 21–40. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1406-3_2 (date of access: 03.08.2020).
151. Єрмаков А.В., Наритник Т.М., Романов О.І., Нестеренко М.М., Новогрудська Р.Л., Маньківський В.Б. Система формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних Sfolnetworks : пат. UA 123629 U Україна :

G06F 9/315 (2018.01). № и 2016 12529 ; заявл. 09.12.2016 ; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5. 8 с.

152. Модель процесу управління захистом від перенавантажень мереж передачі даних : а. с. 66937 Україна / О. І. Романов, А.В. Єрмаков, М.М. Нестеренко, М.Б. Маньківський, А.О. Москвитіна. Опубл. 29.07.2016. 1 с.

153. Monge A. S., Szarkowicz K. G. MPLS in the SDN Era: Interoperable Scenarios to Make Networks Scale to New Services. O'Reilly Media, Incorporated, 2016. 917 p.

154. Minei I., Lucek J. MPLS-Enabled Applications: Emerging Developments and New Technologies. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2011. 628 p.

155. Muelas D., Ramos J., Vergara J. E. L. d. Assessing the Limits of Mininet-Based Environments for Network Experimentation. *IEEE Network*. 2018. Vol. 32, no. 6. P. 168–176. URL: <https://doi.org/10.1109/mnet.2018.1700277> (date of access: 14.05.2021).

156. Chithaluru P., Prakash R. Simulation on SDN and NFV Models Through Mininet. *Advances in Systems Analysis, Software Engineering, and High Performance Computing*. 2018. P. 149–174. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3640-6.ch007> (date of access: 04.07.2020).

157. Rosen R. Internet Control Message Protocol (ICMP). *Linux Kernel Networking*. Berkeley, CA, 2013. P. 37–61. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6197-1_3 (date of access: 07.12.2023).

158. Goralski W. Internet Control Message Protocol. *The Illustrated Network*. 2017. P. 221–246. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811027-0.00008-4> (date of access: 07.12.2023).

159. Перевозчикова О. Л. Основи системного аналізу об'єктів і процесів комп'ютеризації. Київ : КМ Акад., 2003. 432 с.

160. Medhi D., Ramasamy K. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures. Elsevier Science & Technology Books, 2017. 1018 p.

161. Hu F. Network Innovation Through OpenFlow and SDN: Principles and Design. Taylor & Francis Group, 2014. 495 p.

162. Simple Network Management Protocol-SNMP. *Network Tutorial*. 2003. P. 495–498. URL: <https://doi.org/10.1201/9781482280876-123> (date of access: 12.09.2023).
163. Kunes M. Simple Network Management Protocol SNMP. *Industrial Electronics*. 2004. P. 461–479. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420036336.ch32> (date of access: 24.01.2022).
164. Harnedy S. J. Total SNMP: Exploring the Simple Network Management Protocol. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall PTR, 1998. 642 p.
165. Thomopoulos N. T. Fundamentals of Queuing Systems Statistical Methods for Analyzing Queuing Models. Boston, MA : Springer US, 2012. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3713-0> (date of access: 02.04.2013).
166. Голоскоков О., Голоскокова А., Мошко Є. Основи теорії експоненціальних систем масового обслуговування : навч. посіб. Харків : НТУ "ХПИ", 2017. 312 с.
167. Schoenwaelder J. Simple Network Management Protocol (SNMP) Traffic Measurements and Trace Exchange Formats. RFC Editor, 2008. URL: <https://doi.org/10.17487/rfc5345> (date of access: 13.07.2022).
168. SNMP Trace Analysis Definitions / G. van den Broek et al. *Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, 2008. P. 134–147. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-70587-1_11 (date of access: 14.07.2022).
169. Нестеренко М.М., Саєнко Б.В., Кукліна А.С. Аналіз методів побудови корпоративних мереж на основі VPN-технологій. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2017*: матеріали Одинадцята міжнар. науково-техн. конф. і Дев'ята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 18 – 21 квіт. 2017 р. С. 153 – 155.
170. Toy M. Networks and Services: Carrier Ethernet, PBT, MPLS-TP, and VPLS. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2012. 432 p.
171. Seel N. NGN Strategies for Incumbents. *Business Strategies for the Next-Generation Network*. 2006. P. 225–240. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420013603-13> (date of access: 25.03.2007).

172. Pepelnjak I., Guichard J. MPLS and VPN Architectures. Cisco Press, 2002. 512 p.
173. Metz C. Layer 2 over IP/MPLS. *IEEE Internet Computing*. 2001. Vol. 5, no. 4. P. 77–82. URL: <https://doi.org/10.1109/4236.939453> (date of access: 10.01.2011).
174. Big book of MPLS (multiprotocol label switching) RFCs / ed. by L. Peter. San Diego : Morgan Kaufmann, 2001.
175. Thomas T. M. OSPF network design solutions. 2nd ed. Indianapolis, IN : Cisco Press, 2003. 747 p.
176. Tadimety P. R. Link State Advertisements. *OSPF: A Network Routing Protocol*. Berkeley, CA, 2015. P. 75–90. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1410-7_16 (date of access: 23.11.2016).
177. Ghein L. D. MPLS fundamentals. Indianapolis, Ind : Cisco Press, 2007. 626 p.
178. Azizi M., Benaini R., Ben Mamoun M. MPLS-TP: OAM Discovery Mechanism. *Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, 2013. P. 25–32. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38227-7_7 (date of access: 07.02.2015).
179. Романов О.І., Нестеренко М.М., Хазрон І.О. Порівняльна оцінка розрахункової складності порядку обробки пакетів в IP та MPLS мережах. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2012. №1. С. 96 – 108.
180. Катренко А. В. Системний аналіз : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2011. 396 с.
181. Нестеренко М.М. Комплексні аналітичні моделі оцінки ефективності функціонування транспортних мереж IP / MPLS. *Збірник наукових праць «Information Technology and Security» Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*. 2017. Т. 5. №1 (8). С. 96 – 106.
182. Нестеренко М. М., Маньківський В. Б., Доманчук В. С. Використання VM VIRTUAL BOX для розширення можливостей GNS3 при моделюванні роботи DNS-служби. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2014* :

матеріали Восьма міжнар. науково-техн. конф. і Шоста студент. науково-техн. конф., м. Київ, 22 – 25 квіт. 2014 р. С. 179 – 181.

183. Romanov A. I., Nesterenko N. N. Systems networks IP/MPLS monitoring model using NetFlow protocol. *2014 24th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo)*, Sevastopol, Ukraine, 7–13 September 2014. 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/crmico.2014.6959424>

184. Label Distribution Protocols. *Connection-Oriented Networks*. Chichester, UK, 2005. P. 149–180. URL: <https://doi.org/10.1002/0470016361.ch7> (date of access: 13.01.2012).

185. HU F., LIU Z. Next Generation Campus Network Deployment Project Based on Softswitch. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*. 2011. Vol. 1, no. 4. P. 47–54. URL: <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2011.04.07> (date of access: 18.04.2013).

186. Big Data and Software Defined Networks / ed. by J. Taheri. Institution of Engineering and Technology, 2018. URL: <https://doi.org/10.1049/pbpc015e> (date of access: 07.02.2020).

187. Clark C., Jackson B. Asterisk Hacking. Syngress, 2007. 275 p.

188. Puente G. B. Elastix Unified Communications Server Cookbook. Packt Publishing, 2015. 348 p.

189. Gray K., Nadeau T. D. Network Function Virtualization. *Network Function Virtualization*. 2016. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802119-4.00001-8>.

190. Chu W. NFV and NFV-based Security Services. *A Comprehensive Guide to 5G Security*. Chichester, UK, 2018. P. 347–372. URL: <https://doi.org/10.1002/9781119293071.ch15> (date of access: 11.08.2022).

191. SDN and NFV Security / ed. by R. Khondoker. Cham : Springer International Publishing, 2018. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71761-6> (date of access: 31.01.2024).

192. O. Romanov, M. Nesterenko, N. Fesokha, V. Mankivskyi Evaluation of productivity virtualization technologies of switching equipment telecommunications

networks. *Information and Telecommunication Sciences*. 2020. No. 1. P. 53–58.
URL: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.53-58>

193. Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О. Віртуалізація як спосіб організації інфраструктури інформаційно-телекомунікаційних мереж. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2019*: матеріали Тринадцята міжнар. науково-техн. конф. і Одинадцята студент. науково-техн. конф., м. Київ, 15 – 19 квіт. 2019 р. С. 43 – 45.

194. The Best Damn Server Virtualization Book Period. Elsevier, 2007.
URL: <https://doi.org/10.1016/b978-1-59749-217-1.x0001-9> (date of access: 11.05.2012).

195. Нестеренко М.М., Романов А.О. Аналіз методів захисту серверів від розподілених TCP SYN-FLOOD атак. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2016*: матеріали Десята міжнар. науково-техн. конф. і Восьма студент. науково-техн. конф., м. Київ, 19 – 22 квіт. 2016 р. С. 176 – 178.

196. Нестеренко М.М., Буханевич Д.А., Бойко С.В. Принципи побудови сервісів технології Internet of Things. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил*: зб. тез доп. XI науково-практ. конф., м. Київ, 9 – 10 лист. 2018 р. С. 163.

197. Huawei Technologies Co., Ltd. Cloud Computing Technology. Singapore : Springer Nature Singapore, 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-19-3026-3> (date of access: 12.11.2023).

198. Jangla K. Accelerating Development Velocity Using Docker. Berkeley, CA : Apress, 2018. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3936-0> (date of access: 21.01.2019).

199. Нестеренко М.М., Доманчук В.С. Методи захисту мережевих служб від TCP SYN-FLOOD атак. *Проблеми телекомунікацій ПТ-2015* : матеріали Дев'ята міжнар. науково-техн. конф. і Сьома студент. науково-техн. конф., м. Київ, 21 – 24 квіт. 2015 р. С. 152 – 154.

200. UNIX and Linux System Administration Handbook / E. Nemeth et al. 5th ed. Pearson Education, Limited, 2017. 1232 p.
201. Babu N. R. Smart Grid Systems. Apple Academic Press, 2018. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315111124> (date of access: 31.01.2024).
202. Freeman A. Essential Docker for ASP.NET Core MVC. Berkeley, CA : Apress, 2017. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2778-7> .
203. Нестеренко М.М., Лінник В.Ю. Аналіз особливостей побудови SDN мережі при використанні технології TRAFFIC ENGINEERING. *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку*: матеріали III міжнар. науково-тех. конф., м. Київ, 30 лист. 2023 р. С. 224 – 225.
204. Нестеренко М.М., Ткаченко Б.О. Програмний модуль конфігурування та управління сегментом віртуальної мережі SDN. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил*: зб. тез доп. XII науково-практ. конф., м. Київ, 14 – 15 лист. 2019 р. С. 165.
205. Virtualization with VMware ESX Server. Elsevier, 2005. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-1-59749-019-1.x5040-1> .
206. Marshall D., Reynolds W. A., McCrory D. Advanced Server Virtualization. Auerbach Publications, 2006. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420013160>.
207. Шеховцов В. А. Операційні системи : підруч. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Вид. група BHV, 2005. 576 с.
208. Yao R. Linux Command Line, Cover All Essential Linux Commands, a Reference Guide!. Independently Published, 2020. 168 p.
209. Романов О.І., Нестеренко М.М., Фесьоха Н.О., Шрамко О.В., Ворожко А.М. Оцінка показників функціонування IP PBX ELASTIX на базі віртуальних машин та контейнерів. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2020. №2. С. 64 – 74.

ДОДАТОК А

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора

Навчально-наукового інституту

телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Гліб АВДЕСНКО

«20» _____ 2023р.



АКТ

впровадження результатів наукових досліджень

Нестеренка Миколи Миколайовича, заступника начальника кафедри комп'ютерних інформаційних технологій факультету інформаційних технологій Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут в освітньому процесі кафедри телекомунікацій Навчального-наукового інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

Комісія у складі:

Голова комісії – завідувач кафедри телекомунікацій, д.т.н., професор Кравчук Сергій Олександрович;

члени комісії – доцент кафедри телекомунікацій, к.т.н., с.н.с. Міночкін Дмитро Анатолійович, доцент кафедри телекомунікацій, к.т.н., доцент Явіся Валерій Сергійович, розглянула матеріали наукових досліджень Нестеренка М.М. та склала даний акт в тому, що отримані наукові результати використані при читанні лекцій, проведенні практичних занять та лабораторних робіт на кафедрі телекомунікацій Навчального-наукового інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського по наступним дисциплінам:

1. Керування інфокомунікаційними мережами

В рамках даної навчальної дисципліни було використано розроблений науково-методологічний апарат, який враховує забезпечення показників пропускнуєї спроможності та якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу для всіх інформаційних напрямків на основі методів управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі, а також дозволяє сформулювати вимоги до обслуговування трафіка сигналізації та моніторингу на всіх рівнях гетерогенної електронної комунікаційної мережі, а саме:

визначено інтеграційну архітектуру електронної комунікаційної мережі на основі переваг концепцій Next Generation Network та IP Multimedia Subsystem, яка дозволяє об'єднати несумісне мережне обладнання, різномірні мережні технології та різномірні системи сигналізації на рівні управління;

модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі.

Рис. А.1. Акт впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес у Навчальному-науковому інституті телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

2. Архітектури, служби та технології інфокомунікацій

При цьому використовувались наступні наукові результати, які отримані Нестеренком М.М. в процесі дослідження:

удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі;

удосконалений метод визначення достатньої кількості мережного ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу.

3. Програмно-конфігуровані мережі SDN

В рамках навчальної дисципліни були використані наступні результати дослідження Нестеренка М.М.:

метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі;

удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Також в рамках даної навчальної дисципліни були використані розроблені імітаційні моделі для оцінки ефективності запропонованого науково-методологічного апарату при застосуванні симулятора мережі із дискретними подіями Network Simulation 2 та мережного емулятора MiniEdit.

Розроблені в дисертаційній роботі моделі та методи дозволяють обґрунтовано сформулювати вимоги, щодо впровадження інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі, забезпечити задані показники пропускної спроможності та якості обслуговування трафіку реального часу на всіх рівнях складної гетерогенної мережі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання при створенні спеціального математичного та програмного забезпечення в цілях системи управління трафіком реального часу для забезпечення нормованих показників якості обслуговування (QoS), за рахунок використання обхідних шляхів передачі та технологій Traffic Engineering в умовах перевантажень.

Підписи членів комісії:
голова комісії



Сергій КРАВЧУК

члени комісії



Дмитро МІНОЧКІН



Валерій ЯВІСЯ

Рис. А.2. Акт впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес у Навчальному-науковому інституті телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

Прим. № 1

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Начальник Військового інституту
 телекомунікацій та інформатизації
 імені Героїв Крут
 генерал-майор
 Віктор ОСТАПЧУК
 «10» _____ 2023 року

АКТ

впровадження результатів наукових досліджень
 підполковника Нестеренка Миколи Миколайовича,
 заступника начальника кафедри комп'ютерних інформаційних
 технологій факультету інформаційних технологій

Комісія у складі:

голови комісії: начальника Наукового центру зв'язку та інформатизації
 ВІТІ полковника Миколи МАСЕСОВА;

членів комісії: старшого наукового співробітника НДВ
 (розвитку мереж доступу та електромагнітної сумісності) НДУ (перспектив
 розвитку телекомунікаційних систем) Наукового центру зв'язку та
 інформатизації ВІТІ підполковника Василя МАКАРЧУКА; старшого
 наукового співробітника НДВ (розвитку транспортних мереж) НДУ
 (перспектив розвитку телекомунікаційних систем) Наукового центру зв'язку
 та інформатизації ВІТІ пр. ЗСУ Леоніда БОНДАРЕНКА у період з 07 по 10
 листопада 2023 року вивчила матеріали, які представлені у звіті про
 науково-дослідну роботу (НДР), шифр "КОНУС".

Комісія встановила, що наукові положення розроблені особисто
 підполковником Нестеренко М.М., а саме:

1. Удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі
 моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної
 мережі. Дана модель, на відміну від існуючих, враховує випадковий час
 обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого
 обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень

Рис. А.3. Акт реалізації результатів наукових досліджень дисертаційної роботи
 у Науковому центрі зв'язку та інформатизації ВІТІ ім. Героїв Крут

інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускної спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Модель дозволяє провести обґрунтування максимально допустимого обсягу службового трафіку системи моніторингу в залежності від значення інтервалу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів та функціонуючого корисного навантаження трафіка реального часу в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Результати доцільно використовувати для формування технічних вимог щодо обслуговування трафіка моніторингу в гетерогенній електронній комунікаційній мережі, а також для визначення допустимих значень інтервалів опитування SNMP-агентів при налаштуванні NMS-менеджерів в залежності: від структури та конфігурації системи моніторингу; заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі.

Голова комісії:



Микола МАСЕСОВ

Члени комісії:



Василь МАКАРЧУК

Леонід БОНДАРЕНКО

Рис. А.4. Акт реалізації результатів наукових досліджень дисертаційної роботи у Науковому центрі зв'язку та інформатизації ВІТІ ім. Героїв Крут

ЗАТВЕРДЖУЮ
 В.о. проректора з наукової роботи
 Національного авіаційного
 університету

Олександр КОРИЧЕНКО
 " 11 " 01 року



АКТ

**про реалізацію результатів дисертаційної роботи
 Нестеренка Миколи Миколайовича на тему „Методологія управління
 пропускнуною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального
 часу в гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними
 шляхами” представлену на здобуття ступеня доктора технічних наук
 за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі
 в освітньому процесі Національного авіаційного університету**

Комісія у складі: голови комісії – завідувача кафедри засобів захисту інформації факультету кібербезпеки та програмної інженерії Національного авіаційного університету доктора технічних наук, професора Козловського В.В. та членів комісії – професора кафедри засобів захисту інформації доктора технічних наук, професора Лазаренко С.В., доцента кафедри засобів захисту інформації кандидата технічних наук, Німченко Т.В. у період з 8 по 11 січня 2024 року провела роботу по встановленню фактичного використання в навчальному процесі на кафедрі засобів захисту інформації факультету кібербезпеки та програмної інженерії Національного авіаційного університету результатів дисертаційної роботи Нестеренка Миколи Миколайовича.

На основі поданої дисертаційної роботи та наукових статей комісія встановила, що в навчальному процесі та науковій діяльності Національного авіаційного університету реалізовано наступні результати:

модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі;

удоскопалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускнуною спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі;

удоскопалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу;

Рис. А.5. Акт про реалізацію результатів дисертаційної роботи в освітній процес Національного авіаційного університету

метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі;

удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі.


Результати дисертаційної роботи використовуються:

в рамках науково-дослідної роботи: „Інформаційна та авіаційна безпека об'єктів критичної інфраструктури” (ДР №0119U102297);

у навчальному процесі кафедри засобів захисту інформації факультету кібербезпеки та програмної інженерії Національного авіаційного університету при проведенні лабораторних та практичних робіт згідно з програмою навчальних дисциплін „Спеціальні вимірювання” та „Засоби приймання та обробки сигналів в системах технічного захисту інформації” зі спеціальності 125 „Кібербезпека”.

Голова комісії:

Завідувач кафедри
Засобів захисту інформації
д. т. н., професор

 Валерій КОЗЛОВСЬКИЙ

Члени комісії:

Професор кафедри
Засобів захисту інформації
д. т. н., професор

 Сергій ЛАЗАРЕНКО

Доцент кафедри
Засобів захисту інформації
к. т. н.

 Тетяна НІМЧЕНКО

Рис. А.6. Акт про реалізацію результатів дисертаційної роботи в освітній процес Національного авіаційного університету

ДОДАТОК Б
Патент на корисну модель



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123629** (13) **U**(51) МПК
G06F 9/315 (2018.01)**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

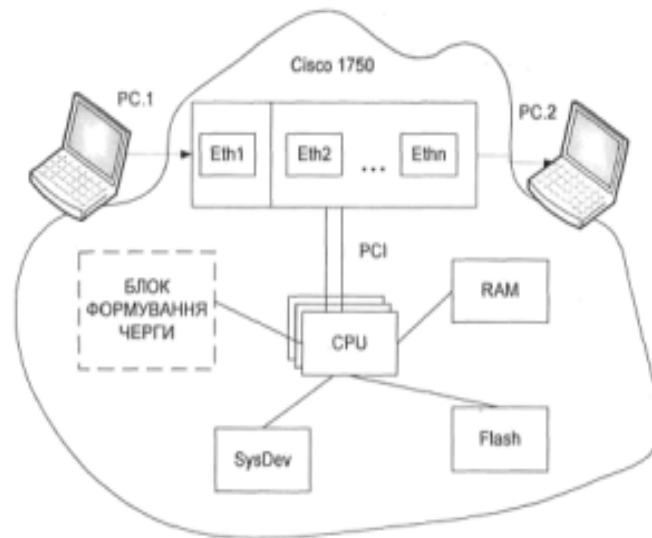
<p>(21) Номер заявки: u 2016 12529</p> <p>(22) Дата подання заявки: 09.12.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.03.2018</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.03.2018, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Єрмаков Антон Валерійович (UA), Наритник Теодор Миколайович (UA), Романов Олександр Іванович (UA), Нестеренко Микола Миколайович (UA), Новгородська Ріна Леонідівна (UA), Маньківський Володимир Броніславович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО", пр-кт Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)</p>
---	--

(54) СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ЧЕРГИ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ SFOL-NETWORKS**(57) Реферат:**

Система формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних містить маршрутизатор, який поєднано з блоком формування черги у вигляді чипа. При цьому чип виконаний з можливістю в процесі передачі трафіку адаптивно налаштувати порогові значення для середньої довжини черги, контролювати навантаження в рамках черги та при виявленні перевантаження або стану, близького до перевантаження, здійснювати ймовірне скидання пакетів порогових значень "minth" і "maxth".

UA 123629 U

UA 123629 U



Фіг. 3

UA 123629 U

Запропонована корисна модель належить до спеціальної телекомунікаційної техніки, що забезпечує обмін інформацією мережевим передаванням даних з використанням протоколу IP.

Відома система формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних SFoI-Networks забезпечує параметри якості обслуговування та аналізує кількість прийнятих та втрачених пакетів в процесі передачі даних.

Базова архітектура IP-маршрутизатора містить такі основні компоненти: кілька мережкових інтерфейсів для підключення мереж, модулі обробки, модулі буферизації і пристрій для внутрішніх комунікацій (комутаційна матриця). Пакети надходять через вхідний інтерфейс, обробляються і зберігаються в буфері. Далі вони прямують через комутаційну фабрику на вихідний інтерфейс, а потім - на наступний транзитний маршрутизатор.

Маршрутизатор обробляє пакети, що надходять з усіх вхідних інтерфейсів, буферизує їх і відправляє на вихідні інтерфейси. Тому модулі пам'яті і обробки можуть встановлюватися або повністю, або частково на мережові інтерфейси з метою забезпечення паралельних обчислень.

Узагальнена архітектура IP-маршрутизатора представлена на Фіг. 1 (а, б). На Фіг. 1а приведено базова конструкція типового маршрутизатора: вона включає плату управління з контролером, з'єднувальну панель і інтерфейсну карту. Контролер виконує функції обчислення маршруту, обслуговування протоколів маршрутизації і маршрутною таблиці. Інтерфейсні карти містять адаптери, які приймають і відправляють пакети, і можуть в ряді випадків кешувати записи маршрутною таблиці або навіть виробляти інтенсивну обробку пакетів. З'єднувальна панель відповідає за передачу пакетів між платами.

Базова функціональність маршрутизатора може бути розбита на три категорії: обробка маршрутів, просування пакетів, які є основними функціями (схема 1 б) і спеціальні сервіси.

Обробка маршрутів включає: конструювання та управління маршрутною таблицею з використанням протоколів маршрутизації, з метою отримати уявлення про топологію мережі, а також поширення інформації про досяжність тієї чи іншої мережі. Оновлення таблиці може також виконуватися вручну, шляхом додавання або видалення маршрутів.

Для просування пакетів у типовому випадку необхідно виконати наступні дії:

- перевірка коректності IP-пакета (номер версії, довжина заголовка, обчислення контрольної суми заголовка);

- аналіз IP-адреси і пошук в маршрутною таблиці адреси вихідного порту;
- коригування значення TTL (Time-to-Live), щоб уникнути нескінченної циркуляції пакета між мережами;
- обчислення нової контрольної суми заголовка.

В категорію спеціальні сервіси потрапляють всі перетворення пакетів, інкапсуляція, встановлення пріоритетів трафіків, аутентифікація і служби доступу, такі як фільтрація пакетів, забезпечення безпеки.

IP-маршрутизатори першого покоління реалізувалися за допомогою ПЗ (програмного забезпечення), що виконувалась на одному ЦП загального призначення. Вона містила кілька інтерфейсних карт, пов'язаних між собою розділюваною шиною. Пакети, що надходять на вхідні порти, прямували до процесора, який визначав адресу наступного транзитного маршрутизатора і відправляв їх на відповідний вихідний порт. Це призводило до необхідності їх подвійного пересилання по шині. Крім цього, весь набір функцій виконувався одним процесором, що сумарно позначалося на продуктивності. Така архітектура погано масштабувалася і не могла задовольнити високі вимоги мультігабітних мережкових інтерфейсних карт.

Новим є те, що для поліпшення шинної архітектури є створення маршрутизаторів з розподіленим виконанням функцій просування пакетів і кешування маршрутів. Установка швидких процесорів і кеш-пам'яті для часто використовуваних адрес, а також буферів для вхідних і вихідних пакетів на інтерфейсних картах (схема 2).

У цій архітектурі ЦП маршрутизатора управляє центральною маршрутною таблицею, а сателітні процесори на інтерфейсних картах використовують невеликий кеш недавно затребуваних маршрутів. Якщо шуканий маршрут для першого пакета в кеш-пам'яті не виявляється, то ЦП здійснює пошук в центральній таблиці і знайдений маршрут додається в кеш. Таким чином, наступні пакети для даного адресата обробляються локально на інтерфейсній карті. При високих швидкостях центральна таблиця легко може стати вузьким місцем, оскільки пошук в ній маршрутів є відносно тривалою операцією. Крім того, пропускна здатність пристроїв на базі такої архітектури залежить від характеру трафіку: при частій зміні адрес мереж-одержувачів вона знижується за рахунок звернень до центральною таблиці.

Недоліками є:

- пропускна здатність пристроїв залежить від об'єму трафіку;
- пошук здійснюється в центральній таблиці, яка стає вузьким місцем на великій швидкості.

UA 123629 U

Найбільш близьким до заявленої корисної моделі є US006675220B1 USA [2]. Новим є те, що до маршрутизатора встановлюється функціональний блок формування черги у вигляді чипа, це необхідно для того щоб мережеве обладнання відповідало критеріям: гнучкість, безліч варіантів доступу, мала вартість експлуатації, захист інвестицій та безпека.

5 Підтримка нових сервісів глобальних мереж (далі по тексту - WAN), таких як інтеграція служб передачі голосу і даних (multiservice voice / data integration), віртуальні приватні мережі (virtual private networks - далі за текстом VPN), і забезпечення ширококанального доступу.

Інтеграція безлічі мережевих функцій, з можливістю використання firewall і пристроїв обслуговування даних / каналу (DSU / CSU), для спрощення управління мережею. Ці
10 можливості забезпечує маршрутизатор Cisco 1750, забезпечений ПЗ Cisco IOS. Cisco 1750 побудована за модульною RISC архітектурою.

Гнучкість - модульний маршрутизатор Cisco 1750 легко пристосовується до зростаючих потреб бізнесу. Взаємозамінні інтерфейсні карти дозволяють розширити або змінити конфігурацію без необхідності міняти маршрутизатор цілком. Модульні роз'єми даних і голосу
15 дозволять користувачеві пристосувати маршрутизатор під актуальні завдання. З огляду на уніфікації інтерфейсних карт для безлічі платформ маршрутизаторів Cisco, використання саме Cisco 1750 дозволить значно скоротити витрати на складування необхідного асортименту запасних частин. На додаток до цього, автовизначення порту локальної мережі 10 / 100 BaseT Fast Ethernet забезпечує зручний перехід до високошвидкісної локальної мережі.

20 Безліч варіантів доступу - Cisco 1750 забезпечить можливість заощадити кошти на міжміських/міжнародних переговорах між офісами компанії за допомогою використання голосових додатків типу інтегрованих поштових систем і центрів обробки дзвінків на основі Web технології. Cisco 1750 працює з існуючою телефонною інфраструктурою - телефонами, факсами, системами введення інформації з клавіатури телефонного апарата (key telephone systems (KTS)
25 units).

Менша вартість експлуатації - маршрутизатор Cisco 1750 є універсальне рішення по інтегруванню даних і голосу, що робить зайвим установку і обслуговування великої кількості окремих пристроїв. Є можливість скомбінувати такі функції, як шлюз голосових повідомлень, динамічний firewall, VPN tunnel server, DSU/CSU, ISDN network termination-1 (NT1) device та інші,
30 що значно знизить витрати на обслуговування та мережеве управління. Особливо варто відзначити, що маршрутизатором можна управляти дистанційно, використовуючи програми мережевого управління CiscoWorks та CiscoView або будь-яку іншу на основі SNMP.

Захист інвестицій - RISC архітектура Cisco 1750, програмне забезпечення Cisco IOS і модульні роз'єми - це зручний перехід до мультисервісної інтеграції даних, голосу, відео, VPN і
35 забезпечення ширококанального доступу. Роз'єм на материнській платі забезпечує можливість апаратно-програмного шифрування даних на швидкостях аж до T1/E1.

Безпека - властивості Cisco IOS Firewall включають в себе контекстне управління доступом для динамічного фільтрування в firewall, виявлення та попередження атак типу "denial of service", блокування Java, попередження в реальному часі і шифрування. Вибірково (тільки за
40 допомогою певних програм, з динамічним контролем доступу) дозволить локальним користувачам отримати безпечний доступ до Інтернет і запобіжить локальну мережу від проникнень неавторизованих користувачів ззовні.

Вирішення вказаних недоліків в системі формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних, яка містить маршрутизатор, який поєднано з блоком формування черги у вигляді чипа, при цьому чип виконаний з можливістю в процесі передачі трафіку адаптивно
45 налаштовувати порогові значення для середньої довжини черги, контролювати навантаження в рамках черги та при виявленні перевантаження або стану, близького до перевантаження, здійснювати ймовірне скидання пакетів порогових значень "miujh" і "maxth".

Система формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних SFol-Networks, працює наступним чином: CPU (ЦП) - виконує інструкції операційної системи, такі як системна ініціалізація, функції маршрутизації і комутації. RAM (оперативна пам'ять) зберігає інструкції, і дані,
50 які повинні бути виконані ЦП, а також використовується, щоб зберегти ці компоненти:

- Операційна система (ОС): копіюється в RAM під час початкового завантаження.
- Завданням конфігураційного файлу: конфігураційний файл зберігає архітектуру маршрутизації і параметри його інтерфейсів, які в даний час використовує ОС комутатора. За
55 рідкісним винятком всі команди, сконфігуровані на комутаторі, збережені в робочому файлі конфігурації, відомому як робоча конфігурація.

- Кеш ARP: Цей кеш містить адресу IPv4 з відображенням MAC-адреси, подібним кешу ARP на персональному комп'ютері (PC).

UA 123629 U

RAM - енергозалежна пам'ять і втрачає її вміст, коли маршрутизатор вимкнений або перезапущений. Однак, комутатор також містить постійні області збереження, такі як Flash і SRAM.

- Flash-пам'ять - незалежна пам'ять комп'ютера, яка може бути електрично збережена і стерта. Flash використовується як постійне зберігання для операційної системи. У більшості моделей маршрутизаторів ОС постійно збережена у флеш-пам'яті і копіюється в RAM під час процесу початкового завантаження, звідки потім вона виконується ЦП. Деякі моделі маршрутизаторів виконують ОС безпосередньо від флеш-пам'яті. Флеш-пам'ять не втрачає свій зміст, коли маршрутизатор втрачає живлення або перезапущається. SRAM - статична оперативна пам'ять з довільним доступом (SRAM, static random access memory) - оперативна пам'ять, в якій зберігається таблиця комутації і інші компоненти, необхідні для передачі даних на потрібний порт. PCI (Peripheral component interconnect - взаємозв'язок периферійних компонентів) - шина введення/виводу для підключення периферійних пристроїв до материнської плати комп'ютера. SysDev (System Device) - інші системні деталі необхідні для роботи пристрою однак не беруть участі в комутації, такі як годинник, живлення, чип-мережі обслуговуючі шину і т.д.

- ASIC (Application-specific integrated circuit) - спеціалізована для вирішення конкретного завдання. На відміну від інтегральних схем загального призначення, спеціалізовані інтегральні схеми застосовуються в конкретному пристрої і виконують строго обмежені функції, характерні тільки для Вашого пристрою, за рахунок цього, виконання функцій відбувається швидше. У всіх комутаторах використовуються замовлені спеціалізовані ASIC, які оптимізовані для виконання основних операцій комутації. Блок формування черги (БФЧ) - формує оптимальну довжину черги, зменшує час очікування обслуговування підвищує якість обслуговування абонентів.

- Завданням чипа є організація управління потоками черг шляхом відкидання пакетів з подальшим коригуванням верхньої та нижньої границь для значень середньої довжини черги.

- Одним з можливих шляхів боротьби з перевантаженнями є використання механізмів створення, розподілу і порядку обробки черги (Queueing Mechanism), які можуть бути класифіковані як:

- механізм FIFO (First-In, First-Out);
- черги пріоритетів (Priority Queueing);
- зважений алгоритм кругового обслуговування (Weighted Round Robin, WRR);
- конфігуровані черги (Custom Queueing).

- Одним з найбільш ефективних алгоритмів, покладених в основу управління потоками черг, став алгоритм AQM (Active Queue Management), яскравим прикладом реалізації якого є алгоритм RED.

- Рішення, що пропонується: функція RED закладається у згладжуванні тимчасових сплесків трафіку і попередження тривалого перевантаження мережі шляхом повідомлення джерел трафіку про необхідність зниження інтенсивності передачі інформації. Практично це реалізується тим, що для всіх пакетів, що потрапляють у систему на обробку у - буфер черги, розраховується вірогідність скидання пакетів. Математична модель - де описаний процес, представлений формулами нижче.

- При надходженні пакетів до маршрутизатора розраховується значення середньої довжини черги Q_{avg}

$$Q_{avg} = (1 - w)Q_{avg_1} + wQ, \quad (1)$$

- де Q_{avg_1} - попередній розмір черги, Q - поточний розмір черги, w - вага черги, пропорційна співвідношенню поточного і середнього розміру черги.

- Ймовірність відкидання пакетів P_b являє собою функцію, що залежить від оцінки середньої довжини черги, розрахованої за формулою (1), мінімальної min_th та максимальної max_th порогових значень та параметра max_p , що визначає частину відкинутих пакетів при досягненні середньою чергою порогового значення max_th і розраховується за формулою:

$$P_b = \max_p \frac{Q_{avg} - min_th}{max_th - min_th}, \quad (2)$$

- таким чином, значення P_b може змінюватися в межах $[0; max_p]$.

- Пакети відкидаються на основі показників ймовірності до тих пір, поки буфер не розвантажиться.

- Суть моделі, запропонованої у даній роботі, полягає в тому, що в процесі передачі трафіку можна адаптивно налаштувати порогові значення для середньої довжини черги. Дана корисна модель дозволяє контролювати навантаження в рамках черги і при виявленні

UA 123629 U

перевантаження або стану, близького до перевантаження, здійснювати імовірнісне скидання пакетів. Новизна моделі в тому, що кожне скидання пакетів змінюватиме порогові значення \min_th і \max_th , забезпечуючи більшу прохідність при незмінній швидкості передачі.

Алгоритм RED налаштовується у маршрутизаторі і припускає виконання таких основних блокових дій: відправка пакетів, обчислення середньої довжини черги Q_{avg} , визначення границь порогових значень для Q_{avg} , розрахунок ймовірності скидання пакетів P_b та відкидання tail drop, формування черги count та прийом пакетів. Значення Q_{avg} , розраховане за формулою (1) зберігається у буфері пам'яті, як показано на Фіг. 4, а при наступних розрахунках середньої довжини черги використовуватиметься як Q_{avg_1} . Після обчислення Q_{avg} маршрутизатор приймає рішення стосовно порогових значень для Q_{avg_1} . Мінімальне значення визначається як \min_th , максимальне \max_th . Якщо передбачуваний трафік буде мати пульсуючий характер (пікові перепали в навантаженні), значення \min_th має бути досить високим, щоб забезпечити роботу мережі з високою якістю. Для трафіку високої пропускної здатності низьке значення нижнього порогу призведе до непринятно низького завантаження каналу. Значення Q_{avg} має перебувати в межах мінімального та максимального порогів \min_th і \max_th . При розрахунку вірогідності скидання пакетів маршрутизатор виконує ряд перевірок.

- Якщо значення Q_{avg} більше максимального порога \max_th - пакет відкидається за алгоритмом tail drop, а значення \max_th збільшується.

- Якщо середній розмір черги Q_{avg} вище \min_th , то пакет може бути відкинута відповідно до ймовірності P_b (2). Відкинута, таким чином, пакет призводить до збільшення значення \min_th .

- Якщо середній розмір черги не вище \min_th , то пакет проходить далі без затримок.

Якщо середнє значення черги перебуває в допустимих межах $\min_th < Q_{avg} < \max_th$, то пакети відкидаються відповідно до ймовірності P_b .

Фактично відкидання пакета обумовлюється лише значенням \max_th : якщо P_b більше \max_th , пакет відкидається і мінімальний поріг збільшується.

Усі не відкинута з попереднього етапу пакети додаються в лічильник кількості пакетів, які прийшли в чергу з моменту останнього скидання count - чим більше пакетів прийшло, тим вище ймовірність скидання. Значення count має бути достатнім для того, щоб знизити значення мінімального порогу \min_th .

Ймовірність маркування або скидання пакетів обчислюється за допомогою лічильника count (3). Такий підхід гарантує, що алгоритм RED не буде очікувати занадто довго, щоб відкинути пакет пропорційно навантаженню P_a

$$P_a = \frac{P_b}{1 - \text{count} \cdot P_b} \quad (3)$$

Алгоритм функціонування RED спрямований на таку реалізацію, яка дозволить відкидати пакети з дотриманням принципів "справедливого розподілу ресурсів", щоб уникнути глобальної синхронізації.

На основі запропонованого математичного аналізу побудована імітаційна модель, яка відображає ефективність запропонованої моделі.

Для моделювання обрано симулятор NS2, що дозволяє гнучко налаштовувати мережеві моделі, які досліджують саме перенавантажені мережі.

Для дослідження розглядалась модель, представлена на Фіг. 5. Вона представлена двома маршрутизаторами R1 і R2, до кожного з яких підключені по два джерела, що генерують трафік. Термінали S1, S2, S3 та S4 виступають як передавачами, так і приймачами трафіку. Транспорт для передачі формується за допомогою TCP протоколу, на який накладається FTP трафік. Для дослідження перенавантаженої мережі - взяті клієнтські лінії з пропускною здатністю 500 Mb, і з'єднання між роутерами, яке імітуватиме вузьке місце в мережі з пропускною здатністю 0,2 Mb.

При однакових умовах для двох різних алгоритмів RED та покращеного RED досліджувалася зміна параметрів прийнятих (packetsent) та втрачених пакетів (packetlost).

Також досліджується завантажена мережа при умові, що одночасно генерується сім потоків трафіку. Отже, для RED при моделюванні отримали наступні показники: як бачимо, канал

UA 123629 U

завантажений - неповністю (схема 6), таким чином, з економічної точки зору канал не є вигідним. Разом із тим отримані показники переданих пакетів є sent 483 і lost 21 втрачений.

Розглянемо тепер результати для моделювання покращеного алгоритму RED. На відміну від ілюстрації завантаження каналу, показаного на Фіг. 6, на Фіг. 7 для покращеного алгоритму RED бачимо, що канал завантажений більш рівномірно, що можна вважати більш вигідно з економічної точки зору. Крім того, маємо sent 641 переданий пакет та lost 16 втрачених проти sent 483 переданих та lost 21 втраченого для звичайного алгоритму RED.

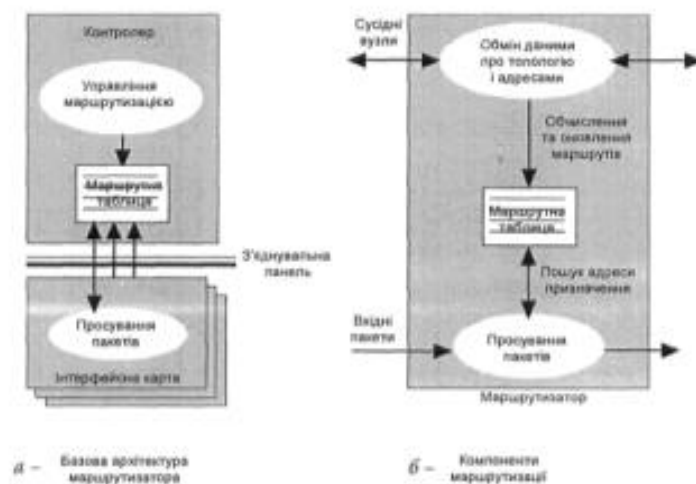
Джерела інформації:

1. S. Floyd, V. Jacobson, Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance, IEEE/ACM Transactions on Networking 1 (4) (1993) 397-413.

2. Techniques for the hardware implementation of Random Early Detection mechanisms: pat. US006675220B1 USA / D. Bergamasco, T.J. Edsall, G.M. Morandin, K. McCloghrie. Publ. Jan. 6, 2014.

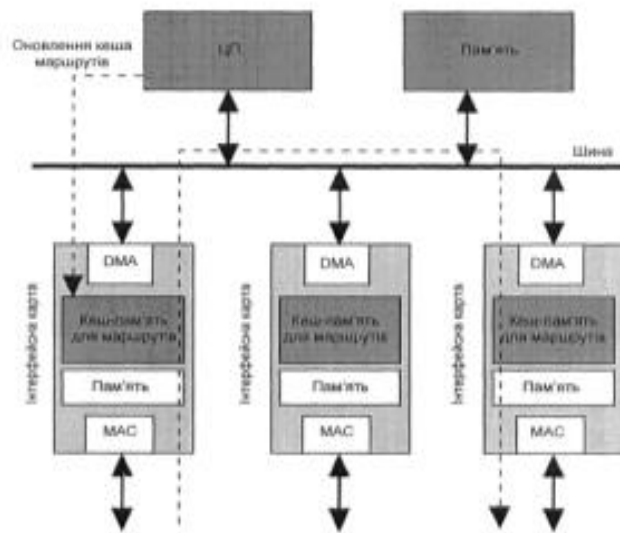
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Система формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних, яка містить маршрутизатор, який поєднано з блоком формування черги у вигляді чипа, при цьому чип виконаний з можливістю в процесі передачі трафіку адаптивно налаштовувати порогові значення для середньої довжини черги, контролювати навантаження в рамках черги та при виявленні перевантаження або стану, близького до перевантаження, здійснювати ймовірне скидання пакетів порогових значень "minth" і "maxth".

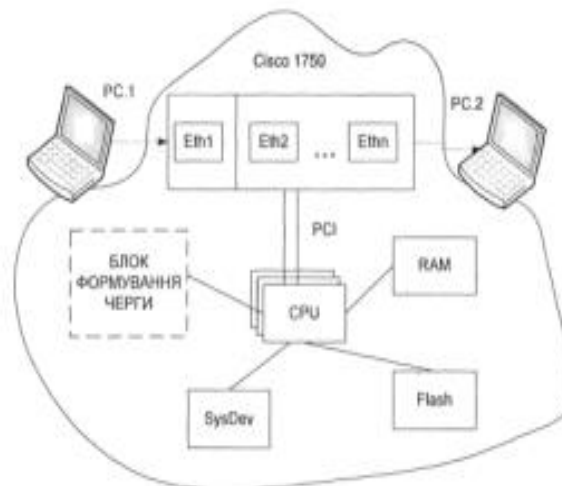


Фіг. 1

UA 123629 U



Фиг. 2



Фиг. 3

UA 123629 U

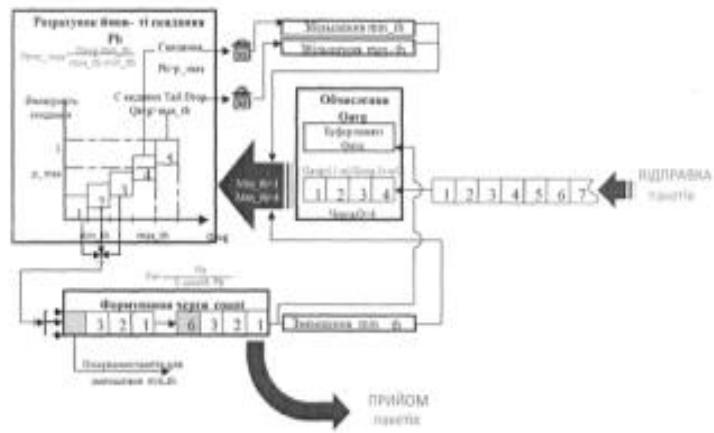


Fig. 4

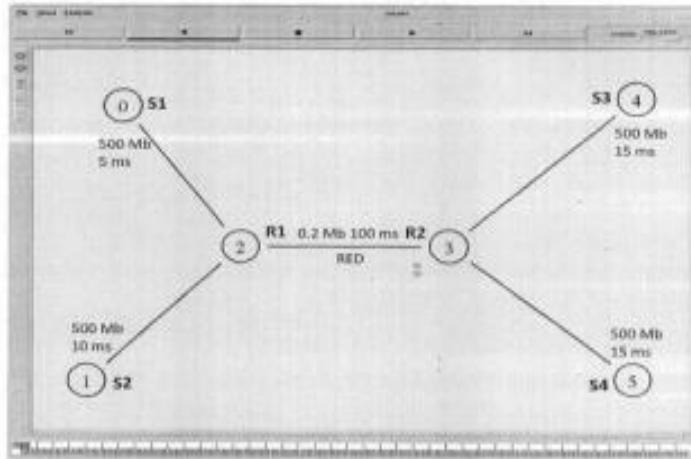


Fig. 5

Packet sent483 lost21

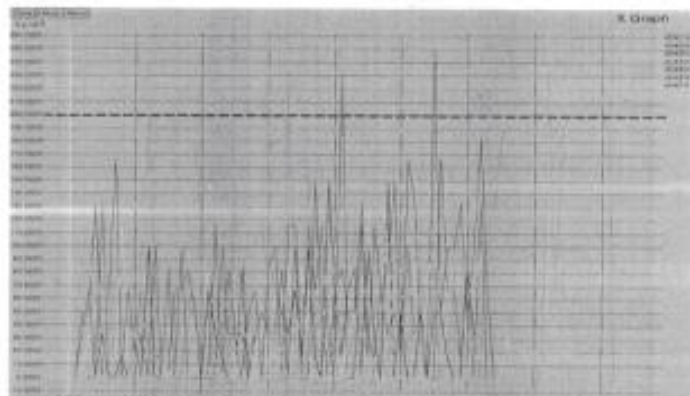


Fig. 6

UA 123629 U

Packet sent641 lost16

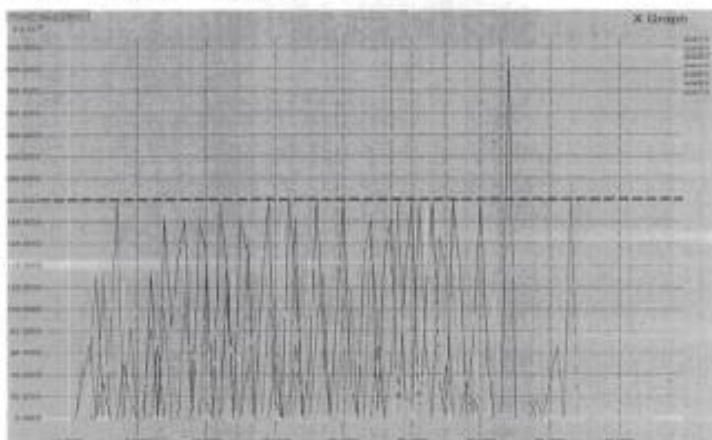


Fig. 7

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

ДОДАТОК В

Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 66937

Науковий твір "Модель процесу управління захистом від перевантажень мереж передачі даних"

(вид, назва твору)

Автор(и) Романов Олександр Іванович, Срмаков Антон Валерійович, Нестеренко Микола Миколайович, Мацьківський Володимир Броніславович, Москвитіна Анастасія Олександрівна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 29.07.2016




Голова Державної служби інтелектуальної власності України
В.С. Голови А.А. Малиш