

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НЕСТЕРЕНКО Микола Миколайович

УДК 621.391.1

**Методологія управління пропускнуою спроможністю та
якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних
електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами**

Спеціальність 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних інформаційних технологій факультету інформаційних технологій Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут Міністерства оборони України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Конахович Георгій Филімонович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри телекомунікаційних та
радіоелектронних систем

доктор технічних наук, професор
Хлапонін Юрій Іванович,
Київський національний університет будівництва і
архітектури,
завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної
інженерії

доктор технічних наук, професор
Гаврилко Євген Володимирович,
Національний технічний університет України „Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”,
професор кафедри інженерії програмного забезпечення в
енергетиці Навчально-наукового інституту атомної та
теплової енергетики

Захист відбудеться „21” березня 2024 року о “13⁰⁰” годині, ауд. 111/11 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий „16” лютого 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19
кандидат технічних наук, доцент

Денис БАХТІЯРОВ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми, обґрунтована на підставі аналізу досвіду розвинених країн світу, 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 ЕКМ із різнорідним мережевим обладнанням та систем управління. При цьому, особлива увага приділяється питанням теорії і практики розвитку новітніх мережевих технологій передачі трафіку реального часу, так як він найбільш складний в обслуговуванні та вимагає забезпечення нормованих показників якості QoS.

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 пропускнуої 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 пропускнуою 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, різнорідні технології та системи сигналізації на рівні управління. В свою чергу був розроблений науково-методологічний апарат, який враховує забезпечення показників пропускнув 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 пропускнув 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 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. Актуальність проведення дисертаційного дослідження, також підкреслюється, вимогами Закону України „Про електронні комунікації”, 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).

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення пропускнув 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.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі сформульовані та вирішені **часткові взаємозв’язані завдання дослідження:**

1. Аналіз стану проблематики управління якістю обслуговування (QoS) трафіка реального часу в складних гетерогенних ЕКМ та визначення особливостей побудови сучасних концепцій з урахуванням міжнародних стандартів.

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

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

4. Розробка методу оцінки пропускнув спроможності ЕКМ при забезпеченні якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу в процесі експлуатації.

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

6. Розробка методу проектування мережі сигналізації в залежності від продуктивності програмно-функціональних блоків ядра IMS гетерогенної ЕКМ.

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

8. 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.

9. Розробка методології управління пропускнув спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу, а також оцінка ефективності розробленого

науково-методологічного апарату шляхом імітаційного моделювання процесів обслуговування трафіка реального часу при дотриманні заданих показників якості обслуговування.

Об'єктом досліджень в дисертаційній роботі є процеси обслуговування трафіка реального часу в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах в умовах коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів, **предметом 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.

Методи дослідження. Для аналізу особливостей процесу функціонування ЕКМ, систем сигналізації та моніторингу використовувались методи системного аналізу та синтезу, методи декомпозиції, теорії адаптивного управління. Розробка моделей, методів управління пропускнуою спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних ЕКМ відбувалася з використанням теорії графів, теорії матриць, ймовірнісних поточкових моделей, методів системного аналізу та комбінаторики, теорії ймовірності, застосування положень теорії телетрафіка, теорії електронних комунікацій та Traffic Engineering.

Наукова новизна отриманих результатів. В дисертації отримані наступні 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 пропускнуої 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 пропускнуої спроможності електронної комунікаційної мережі із забезпеченням нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу та визначати доступні резерви пропускнуої 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, 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 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 інформаційному напрямку складає 35 %; виграш за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; виграш за показником пропускну 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 вигаши 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.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

Розроблена інтеграційна архітектура ЕКМ, в основу якої покладені переваги сучасних концепцій NGN та IMS дозволяє: створити загальне електронне комунікаційне середовище із мереж різних технологій, різнорідного несумісного мережевого обладнання у відповідності до вимог NGN та удосконалити ЕКМ на рівні управління та сигналізації, шляхом застосування вимог концепції IMS. Розроблені моделі і методи дозволяють сформулювати вимоги при впровадженні інтеграційної архітектури ЕКМ та забезпечити задані показники пропускнуої спроможності і QoS трафіку реального часу на всіх рівнях гетерогенної мережі. Результати дослідження можуть бути використані промисловими і науково-дослідними організаціями під час розробки сучасних ЕКМ, а також для обґрунтування вимог до систем сигналізації та моніторингу при проектуванні. Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості автоматизації розробленого науково-методологічного апарату для розширення функціоналу системи управління трафіком реального часу, з метою забезпечення нормованих показників якості обслуговування (QoS), за рахунок використання обхідних шляхів передачі та технологій TE в умовах перевантажень.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в науково-дослідні роботи: шифр „КОНУС” (акт впровадження результатів наукових досліджень № 1/56/49-520 від 10.11.2023 року) та „Інформаційна та авіаційна безпека об’єктів критичної інфраструктури” (ДР № 0119U102297), а також отримані науково-практичні результати впроваджені в освітньому процесі Навчально-наукового інституту 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 в освітньому процесі Національного авіаційного університету (акт про реалізацію результатів дисертаційної роботи в освітньому процесі №1/1 від 11.01.2024 року).

Особистий внесок автора. Усі наукові узагальнення, положення,

результати, висновки та рекомендації, викладені у дисертації, виконані автором особисто. 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 методику оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ; [15, 22] – удосконалено методику 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 результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наступних конференціях: *24th International Crimean Conference „Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo)*. 2014; *The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*. 2017; *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*. 2018; *8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIT)*. 2020; *9th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIT)*. 2021; VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV міжнародних науково-технічних конференціях „*Проблеми телекомунікацій*”. 2014 – 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-практичній конференції „*Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв’язку та автоматизації в АТО*”. 2017 р.; XI, XII науково-практичних конференціях „*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-практичній конференції „*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 міжнародній науково-технічній конференції „Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку". 2023 р.; XIX міжнародній науково-практичній конференції „Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах". 2017 р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 55 наукових працях. Серед 24 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць включених до Переліку наукових фахових видань України 1 опублікована в Web of Science та 5 Scopus. Також опубліковано: 28 тез доповідей на науково-практичних конференціях та семінарах державного та міжнародного рівнів, з них 5 Scopus; 1 монографія; 1 патент на корисну модель та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 322 сторінки, із них 253 сторінки – основного тексту. Робота містить 113 рисунків, 20 таблиць, 3 додатки. Список використаних джерел налічує 209 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та наукову проблему дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. У **першому розділі „Напрямки розвитку електронних комунікаційних мереж та систем сигналізації при обслуговуванні трафіка реального часу”** проведено аналіз сучасного стану ЕКМ при обслуговуванні трафіку реального часу, визначено недоліки існуючої системи та обмеженість існуючого науково-методологічного апарату, щодо забезпечення заданих показників пропускнуєї спроможності та якості обслуговування трафіку реального часу в умовах різноманітного мережевого обладнання та різноманітних систем сигналізації, коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів. На сьогоднішній день, інформаційно-комунікаційна система в сукупності з ЕКМ є складною, ієрархічною, розподіленою системою до складу якої входять різноманітні ЕКМ 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.).

При побудові ЕКМ 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 архітектурні рішення системи сигналізації.

Одним із можливих шляхів вирішення проблеми сумісності різноманітних ЕКМ є застосування концепції NGN. 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.

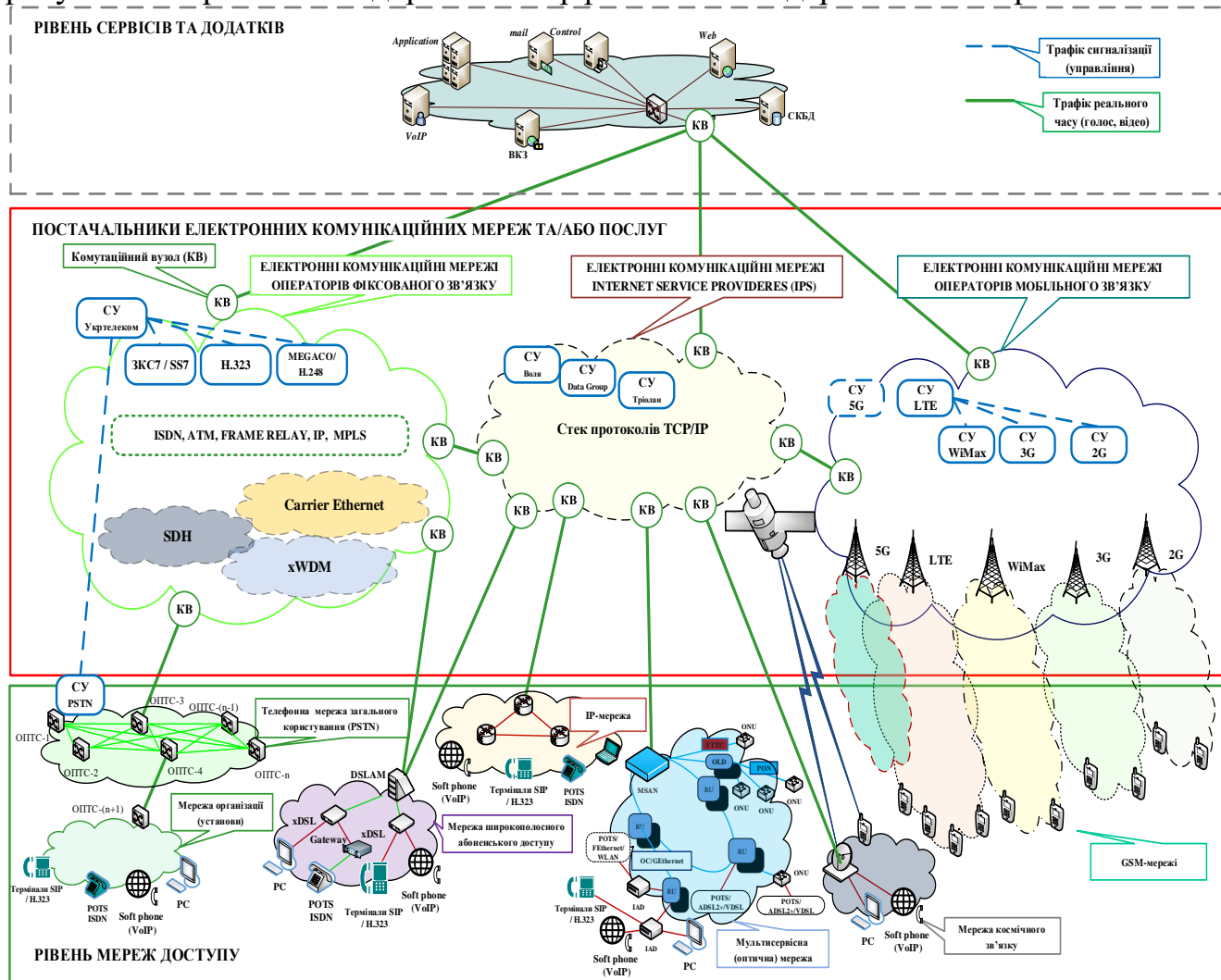


Рис. 1. Узагальнена структура гетерогенної інформаційно-комунікаційної системи

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. Використання запропонованих підходів дозволяє синтезувати інтеграційну архітектуру ЕКМ, яка представлена на рис. 2.

Вона складається із чотирьох рівнів: *рівень доступу*, який складається із розгорнутих на власних засобах оператора комунікаційних послуг мереж доступу; *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; *рівень управління (сигналізації)*, який повинен будуватись на базі власного серверного обладнання оператора комунікаційних послуг у відповідності з концепцією IMS; *рівень послуг та додатків*, на якому вирішуються прикладні задачі для надання відповідних сервісів користувачам.

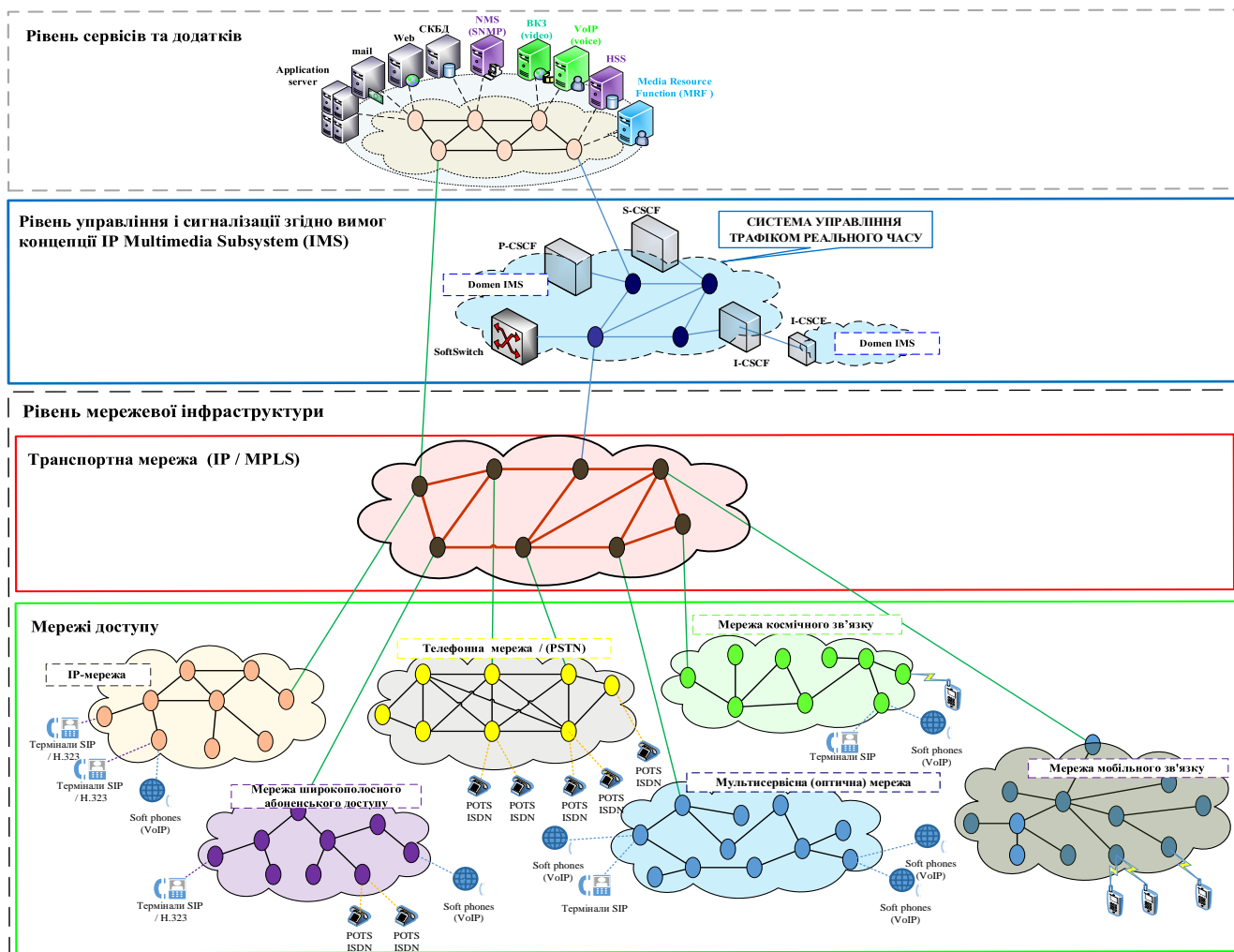


Рис. 2. Інтеграційна архітектура ЕКМ

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 та вимог сучасних концепцій побудови. Тому, для впровадження розробленої інтеграційної архітектури ЕКМ в дисертаційному дослідженні було вирішено комплекс взаємопов'язаних завдань на кожному рівні ЕКМ, на основі нового науково-методологічного апарату, який дозволяє ефективно використовувати наявний мережевий ресурс для гарантованого обслуговування потоків трафіку реального часу.

У другому розділі „Розвиток методології управління пропускною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних ЕКМ із обхідними шляхами” здійснено постановку проблеми управління розподілом повідомлень трафіка реального часу, трафіка сигналізації та моніторингу для забезпечення показників пропускної спроможності та якості обслуговування в гетерогенних ЕКМ при використанні технологій ТЕ.

Запропоновано узагальнену модель системи управління (СУ) трафіком реального часу ЕКМ, розглянуті принципи, функції, задачі управління при використанні моделей QoS та методів Traffic Engineering, запропонована схема

функціонування СУ трафіком реального часу в процесі забезпечення заданих показників якості обслуговування QoS. 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. Аналіз процесу функціонування ЕКМ при обслуговуванні трафіку реального часу дає змогу виділити три компоненти в моделі системи управління трафіка реального часу (рис. 3).

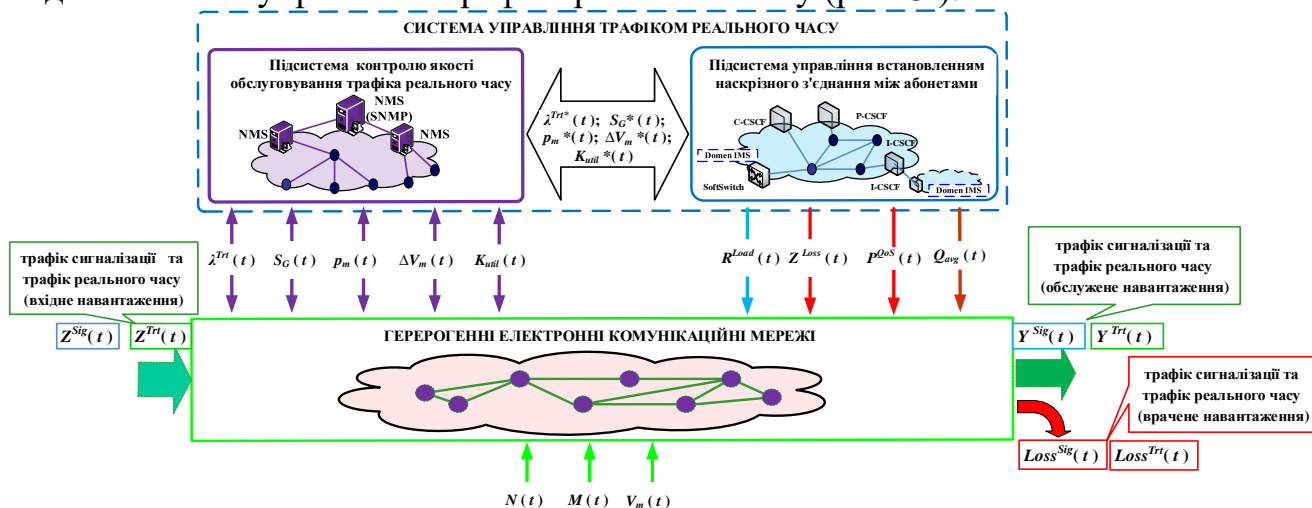


Рис. 3. Узагальнена модель СУ трафіком реального часу ЕКМ

В процесі наукового дослідження проведена класифікація основних задач управління трафіком реального часу в залежності від рівня гетерогенної ЕКМ (рис. 4), а також проведена класифікація моделей QoS та методів Traffic Engineering для забезпечення заданих показників якості обслуговування (рис. 5).

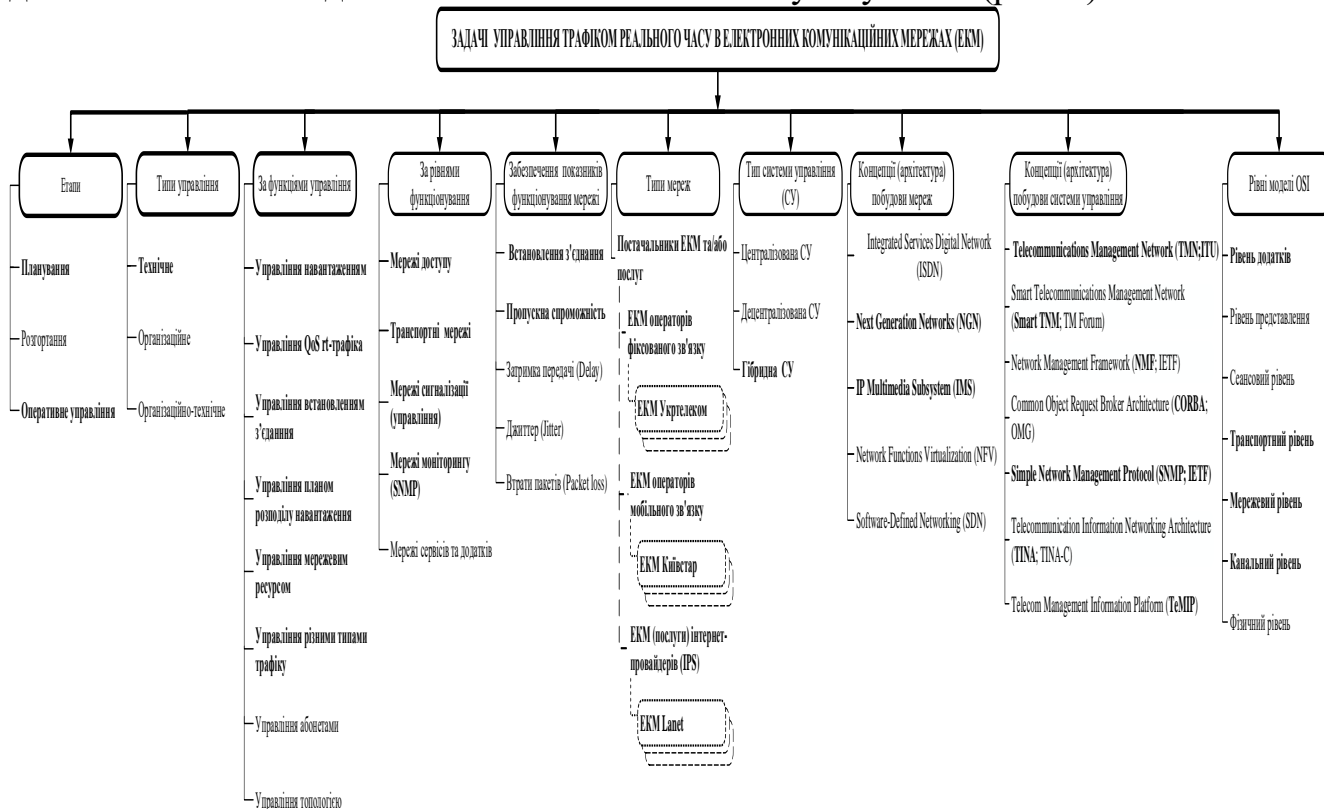


Рис. 4. Основні задачі управління трафіком реального часу на різних рівнях ЕКМ

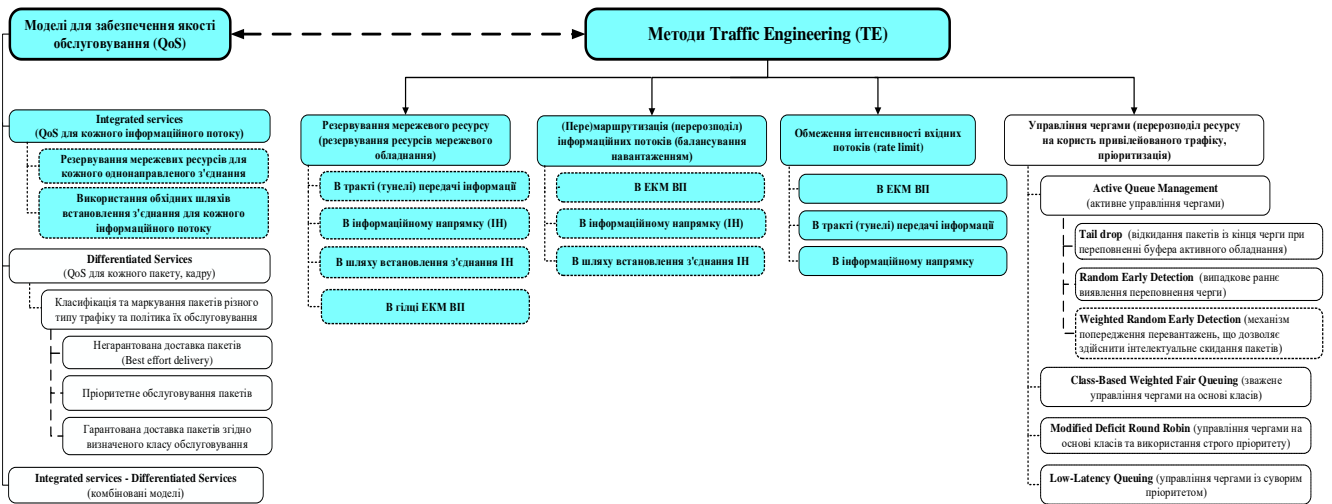


Рис. 5. Класифікація моделей QoS та методів TE для забезпечення заданих показників якості обслуговування

На рис. 6. приведена узагальнена схема функціонування СУ трафіком реального часу при застосуванні методів Traffic Engineering в залежності від поточної ситуації в ЕКМ з обхідними шляхами передачі.

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.



Рис. 6. Узагальнена схема функціонування СУ трафіком реального часу в процесі забезпечення QoS трафіка реального часу

Відповідно, *формалізований опис проблеми дослідження* може бути представлений наступним виразом:

$$P^{QoS}(t) = f\{G(t); Z_{gsd}^{Trt}(t, \tau); Z_{gsd}^{Sig}(t, \tau); Z^{CS}(t); V_m(t); R^{Load}(t)\} \geq P_{QoS}^{norm} \quad (1)$$

де: $P^{QoS}(t) = \{P_{Trt}^{QoS}(t); P_{Sig}^{QoS}(t)\}$ – показники якості обслуговування трафіка реального часу $P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{gsd}^{Trt}\|$ та трафіка сигналізації $P_{Sig}^{QoS}(t) = \|P_{gsd}^{Sig}\|$,

(s – вузол відправник, d – вузол отримувач $s, d \in \overline{1, N}; s \neq d$);
 $P_{QoS}^{norm} = \{P_{Trt}^{norm}; P_{Sig}^{norm}\}$ – нормоване значення ймовірності відмови встановлення
наскрізного з'єднання для трафіка реального часу $P_{Trt}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ та трафіка
сигналізації $P_{Sig}^{norm} = \|P_{g_{sd}}^{norm}\|$ в ІН (g_{sd});

($t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$) – моменти зміни структури ЕКМ та об'єму навантаження;

τ – коливання об'єму трафіка в годину найбільшого навантаження (ГНН);

$G(t) = G\{N(t), M(t)\} = \{G_{AN}(t); G_{IMS}(t); G_{TN}(t); G_{SC}(t)\}$ – структура гетерогенної
ЕКМ: $N(t)$ – кількість вузлів, $M(t)$ – кількість гілок, $G_{AN}(t) = \|G_{AN_{ou}}\|$ – структура

мережі доступу ($o, u = \overline{1, N}$); $G_{TN}(t) = \|G_{TN_{yw}}\|$ – структура транспортної мережі

($y, w = \overline{1, N}$), $G_{IMS}(t) = \|G_{IMS_{ab}}\|$ – структура системи сигналізації в ЕКМ

($a, b = \overline{1, N}$), $G_{SC}(t) = \|G_{TN_{ij}}\|$ – структура системи моніторингу ЕКМ

($i, j, o, u, a, b, y, w \in \overline{1, N}$);

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

$Z_{g_{sd}}^{Sig}(t, \tau) = \|Z_{g_{sd}}\|$ – навантаження трафіка сигналізації в g_{sd} ;

$Z^{CS}(t) = \|\lambda_{mij}^{smnp(UDP)}\|$ – навантаження трафіку моніторингу в гілках мережі;

$V_m(t) = \|V_{mij}^{bit}\|$ – швидкість передачі гілки (віртуального каналу або тунелю) ЕКМ,

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

$R^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ – сформований ПРН, це матриця сукупності незалежних шляхів
передачі $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, d = \overline{1, N}; s \neq d$) в кожному ІН (g_{sd}), із вказівкою черговості
 v ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$) їх заняття.

Обмеження та допущення: розглядається процес обслуговування трафіка
реального часу (голос, відео-конференц зв'язок) при використанні мережевих
протоколів із встановленням наскрізного з'єднання; використовується гібридна
мережа сигналізації згідно вимог IMS; підсистема моніторингу має ієрархічну та
зонаву структуру; передача трафіку моніторингу по протоколу UDP.

**У третьому розділі „Розробка удосконаленого методу оцінки
відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості
обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ”** розроблено нову
модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними
шляхами передачі в інформаційних напрямках (ІН) ЕКМ та удосконалено метод
оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості
обслуговування трафіка реального часу функціонуючої 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
встановленні з'єднанні між абонентами, а лише дають рекомендації максимум для
двох вузлової системи без врахування одночасного обслуговування потоків трафіка
реального часу від різних ІН. 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 ІН гетерогенної ЕКМ із технологією віртуальних каналів або тунелів при обслуговуванні трафіка реального часу рис. 7.

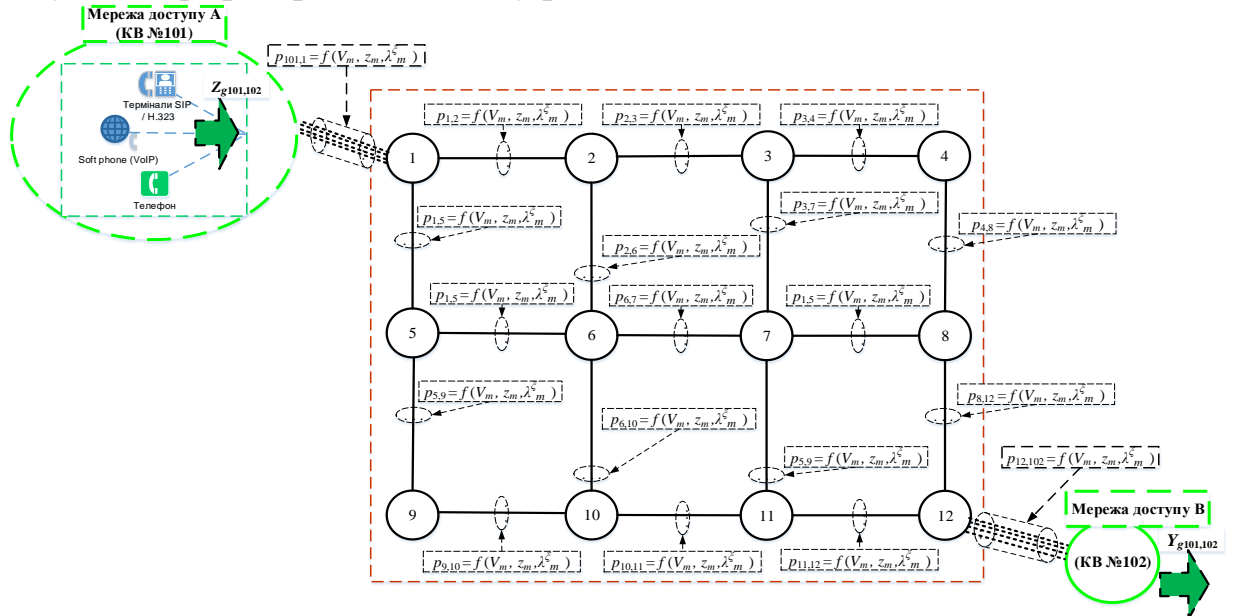


Рис. 7. Математичний опис ІН при встановленні наскрізного з'єднання

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 даної моделі полягає в тому рис. 7., що складові ЕКМ описуються багатоканальними системами масового обслуговування (СМО). Тобто, кожна гілка мережі являється окремою СМО, при чому враховуються втрати на кожній гілці мережі, яка входить до складу шляху встановлення з'єднання в ІН. Графічно процес обслуговування трафіку реального часу в ІН представлено рис. 8.

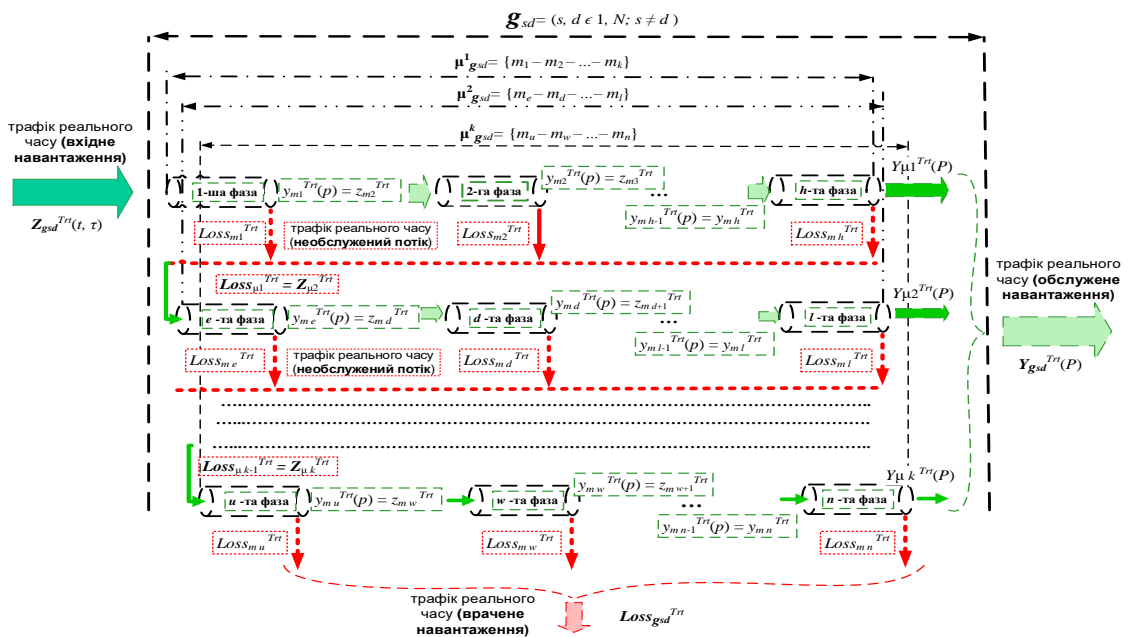


Рис. 8. Функціональна модель обслуговування трафіку реального часу в ІН

Вхідними даними для запропонованої моделі, являються:

$G_{MN}(t) = \parallel G_{MN_{ab}} \parallel$ – структура ЕКМ ($a, b = \overline{1, N}$);

$V_m^{vc}(t) = \parallel V_{m_{ij}}^{vc} \parallel$ – кількість віртуальних каналів в гілці мережі,
 i, j – номер (індекс) гілки мережі ($i, j \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

$z_m^{Trt}(t, \tau) = \parallel z_{m_{ij}} \parallel$ – навантаження трафіку реального часу, яке надходить на
 обслуговування в кожному гілку мережі m_{ij} в ГНН ($i, j \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

$\lambda^\xi(t) = \parallel \lambda_{m_{ij}}^\xi \parallel$ – ξ – тип вхідного ймовірнісного потоку в гілці ЕКМ;

$R_{static}^{Load}(t) = \parallel \mu_{g_{sd}}^v \parallel$ – ПРН, це матриця сукупності незалежних шляхів передачі
 $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$) в ІН, із вказівкою черговості їх заняття v ($v = \overline{1, k}$; $k \geq 2$) (параметр вибору – мінімальна кількість гілок в шляху).

Необхідно визначити:

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

$P_{Trt}^{QoS}(t) = \parallel P_{g_{sd}}^{Trt} \parallel$ – ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання в
 ІН g_{sd} ($s, d = \overline{1, N}$; $s \neq d$).

Формалізована постановка задачі сформульована наступним виразом:

$$P_{Trt}^{QoS}(t) = f_1\{G(t); R_{static}^{Load}(t); V_m^{vc}(t); z_m^{Trt}(t, \tau); \lambda^\xi(t); p_m^{Trt}(t)\}. \quad (2)$$

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 ЕКМ 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.

Також в даному розділі представлена **удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускнув спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ**. Суть методу полягає у визначенні відповідності показників пропускнув спроможності кожного ІН при забезпеченні нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу ЕКМ із технологією віртуальних каналів або тунелів, на етапі функціонування. 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 ПРН, який забезпечує

ефективне використання віртуальних каналів (тунелів) мережі, і як наслідок всього наявного мережевого ресурсу.

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 ІН) повинен не перевищувати: $\geq 1 \%$ (0,01) для міжнародних з'єднань, $\geq 5 \%$ (0,05) міжміські та $\geq 10 \%$ (0,1) місцевих з'єднань в ГНН. Критерієм ефективності обслуговування трафіка реального часу в ЕКМ виступає пропускна спроможність – здатність мережі забезпечувати обслуговування вхідних потоків повідомлень в інформаційних напрямках з урахуванням заданих вимог до якості обслуговування.

Вхідними даними методики являються:

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

N – кількість (індекс) вузлів мережі;

$$Z_{g_{sd}}^{Trt}(t, \tau) = \parallel Z_{g_{sd}} \parallel \quad \text{– навантаження трафіку реального часу в ІН}$$

$g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$ мережі доступу в ГНН τ ;

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

$C_{type}(t) = \parallel C_{m_{ou}} \parallel$ – 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;

$R_{static}^{Load}(t) = \parallel \mu_{g_{sd}}^v \parallel$ – ПРН, матриця сукупності незалежних шляхів передачі інформації $\mu_{g_{sd}}^v$ ($s, d = \overline{1, N}; s \neq d$), по гілках мережі m ($m = \overline{1, M}$), із вказівкою черговості v ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$) їх заняття;

$P_{Trt}^{norm} = \parallel P_{g_{sd}}^{norm} \parallel$ – граничне нормоване значення якості обслуговування QoS трафіка реального часу в кожному ІН $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$.

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:

$P_{Trt}^{QoS}(t) = \parallel P_{g_{sd}}^{Trt} \parallel$ – ймовірність відмови встановлення наскрізного з'єднання в кожному ІН $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$;

$R_{quasi-static}^{Load}(t) = \parallel \mu_{g_{sd}}^v \parallel$ – ПРН (квазістатичний метод) матриця 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 – мінімальна кількість гілок в шляху передачі, функціонуюче навантаження та втрати на гілках мережі);

$Y(P) = \parallel Y(P)_{g_{sd}} \parallel$ – пропускна спроможність кожного ІН g_{sd} ;

$y(p)_m = \|y(p)_{m_{ou}}\|$ – 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 ІН* $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$. Алгоритм вирішення даної підзадачі наступний: якщо ЕКМ знаходиться на етапі введення в експлуатацію (планування) то проводиться розрахунок $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{g_{sd}}^v\|$ на основі структури ЕКМ при використанні матричних методів визначення найкоротших незалежних шляхів передачі; у випадку коли ЕКМ знаходиться в експлуатації використовується маршрутна інформація із всього активного обладнання.

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 $C_{type}(t)$: $C_{type}(t) = \|C_{m_{ou}}\| \rightarrow \Delta RT = \|\Delta RT_{m_{ou}}\|$ (визначається необхідна смуга пропускання для резервування); $\|V_{m_{ou}}^{bit}\| \times \|\Delta RT_{m_{ou}}\|^T \rightarrow \|V_{m_{ou}}^{vc}\|$ (визначається кількість віртуальних каналів в гілках мережі).

Етап 3. *Розподіл навантаження в ІН по шляхам передачі першого вибору та визначення орієнтовних значень втрат в гілках мережі.*

Порядок розрахунку на даному етапі представлений на рис. 9.

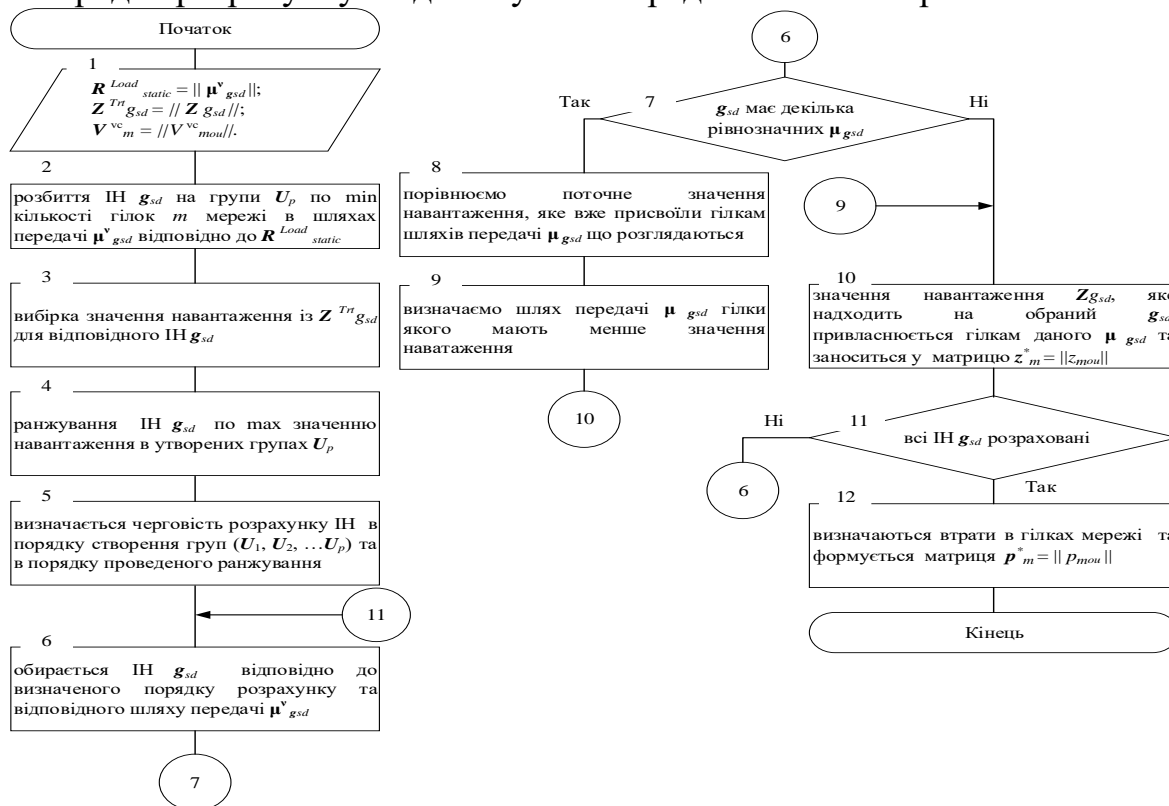


Рис. 9. Алгоритм розрахунку орієнтовних значень втрат на гілках ЕКМ

Етап 4. *Розрахунок ймовірності втрат в ІН та гілках мережі.* Отримані значення величини навантаження z_m^* та ймовірності втрат на гілках мережі p_m^*

(етап 3) являються орієнтованими. Тому необхідно провести корекцію значень z_m^* та p_m^* на гілках мережі, згідно алгоритму рисунок 10.

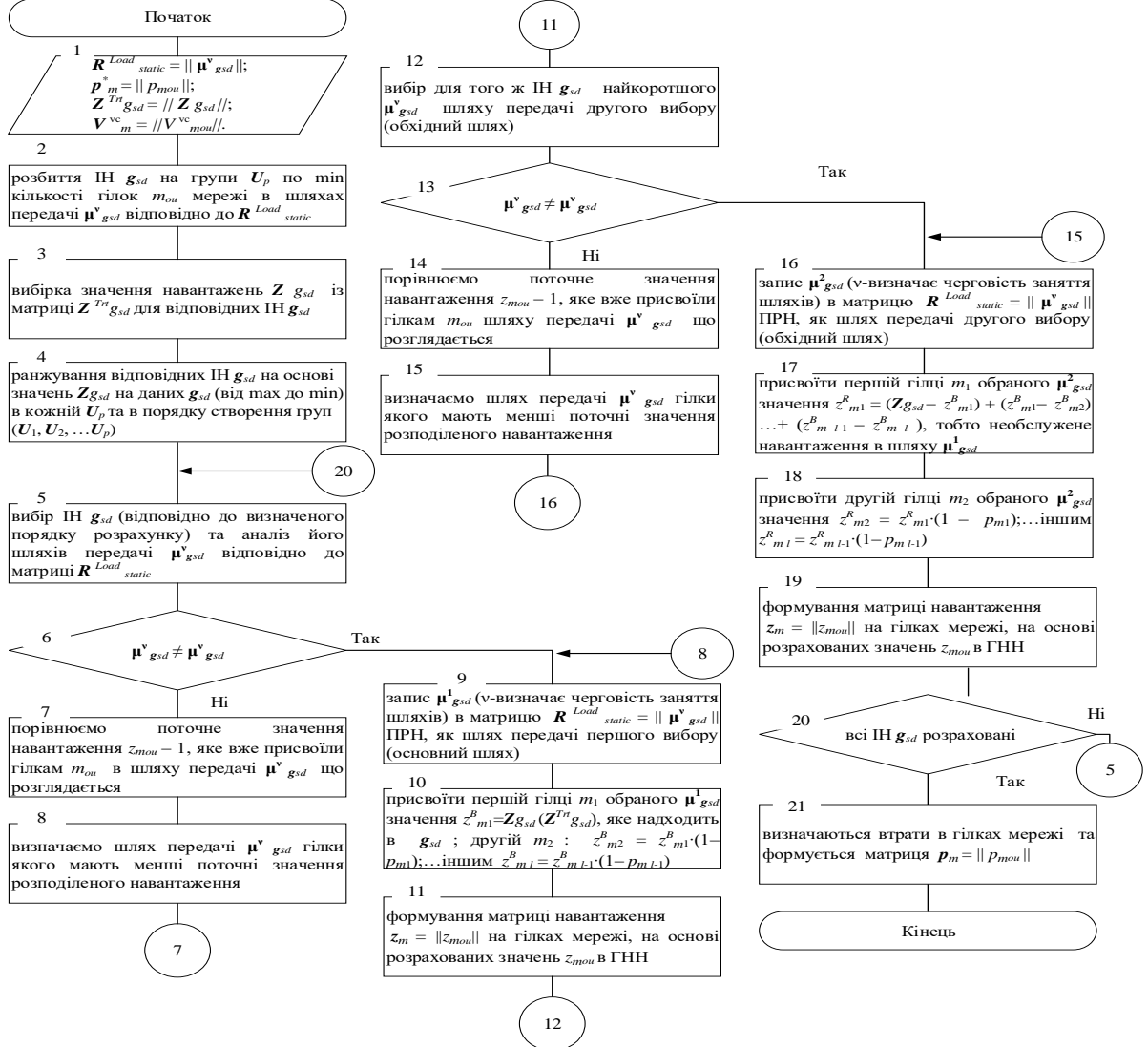


Рис. 10. Алгоритм коригування ймовірності втрат і навантаження на гілках мережі

Етап 5. *Оцінка пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу в ЕКМ.* Порівнюються розраховані втрати $P_{Trt}^{QoS}(t)$ із нормованими значеннями ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання P_{Trt}^{norm} та визначається пропускна спроможність $Y(P)$ всіх ІН ЕКМ. Алгоритм рішення наступний:

1. Розраховуємо значення втрат в ІН на основі рівняння (3) та згідно p_m :

$$P_{g_{sd}}^{Trt} = \prod_{k=1}^v [1 - \prod_{m=1}^M (1 - p_{m_{ou}})], \quad (3)$$

де v ($v = \overline{1, k}; k \geq 2$) – кількість та черговість заняття шляхів ($\mu_{g_{sd}}^v$); M – кількість гілок мережі m ($m = \overline{1, M}$) в $\mu_{g_{sd}}^v$, $p_{m_{ou}}$ – ймовірності втрат в гілках мережі, o, u – індекс гілки мережі ($o, u \in \overline{1, N}; m \in \overline{1, M}$).

2. Порівнюємо отримані значення втрат на всіх ІН $P_{Trt}^{QoS}(t) = \|P_{gsd}^{Trt}\|$ із нормованими значеннями $P_{Trt}^{norm} = \|P_{gsd}^{norm}\|$. У випадку невідповідності ($P_{gsd}^{Trt} > P_{gsd}^{norm}$) проводяться додаткові розрахунки.

3. Визначається пропускна спроможність всіх ІН $Y(P) = \|Y(P)_{gsd}\|$ та гілок $y(p)_m = \|y(p)_{mou}\|$ мережі доступу згідно формули:
 $Y(P)_{gsd} = Z_{gsd} \cdot (1 - P_{gsd}^{Trt}), s, d = \overline{1, N}; s \neq d.$

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.

У четвертому розділі „Розробка удосконаленого методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу”. 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 нормованих показників (QoS) трафіка реального часу в інформаційних напрямках, застосовується на етапі планування.

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 перерозподілити використовуючи обхідний шлях. Використання даних підходів реалізувати методи TE та більш ефективно використовувати мережевий ресурс згідно моделі IntServ.

Наступним удосконаленням методу є застосування розробленої **аналітичної моделі коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок ЕКМ.** Використання даної моделі дозволить уникнути неоднозначності щодо черговості вибору рівнозначних, за кількістю транзитів, незалежних шляхів передачі в ІН, при розподілі навантаження на гілки мережі. При використанні коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок (КВМР) мережі в стандартному вигляді (формула 4) є ряд незручностей: КВМР описується не диференційованими функціями; аналітичні вирази не дозволяють отримати залежність одного параметра через інші. Тому були розроблені наближені аналітичні вирази КВМР,

які відображають суть процесів, що протікають в мережі та диференціюються в діапазоні досліджуваних значень.

Для гілки мережі з протоколом встановлення з'єднання КВМР (K_m):

$$K_m = \frac{z_m \cdot (\sum_{a=0}^{V_{VC}} z_m^a / a! - z_m^{V_{VC}} / V_{VC}!) }{V_{VC} \cdot (\sum_{a=0}^{V_{VC}} z_m^a / a!)}, \quad (4)$$

де: z_m – обсяг навантаження в гілці мережі; V_{VC} – число віртуальних каналів (тунелів) в гілці мережі.

Для використання аналітичного виразу (4) на практиці, була здійснена його апроксимація за допомогою емпіричних функцій, методів найменших квадратів та лінійної інтерполяції при рівні значущості $\alpha = 0,05$ (розподіл Стюдента).

Розглянемо більш детально суть **удосконаленого методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу.**

Вхідні дані:

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

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

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

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

$P_{Trt}^{norm} = \left\| P_{g_{sd}}^{norm} \right\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання в кожному ІН $g_{sd}(s, d = \overline{1, N}; s \neq d)$.

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:

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

$R_{quasi-static}^{Load}(t) = \left\| \mu_{g_{sd}}^v \right\|$ – ПРН (квазістатичний метод), матриця 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 – мінімальна кількість гілок в шляху та КВМР).

Етап 1. *Визначення сукупності незалежних шляхів передачі в ІН* ($R_{static}^{Load}(t) = \left\| \mu_{g_{sd}}^v \right\|$). Визначаємо сукупність незалежних шляхів передачі в ІН. Так як вирішується задача синтезу, а саме ЕКМ знаходиться на етапі планування, використовується метод Шімбела.

Етап 2. *Нормування показників якості обслуговування на гілках ЕКМ.* На даному етапі використовуємо розроблену модель QoS трафіка реального із обхідними шляхами в ІН ЕКМ. Тобто, формується система нерівностей ($P_{Trt}^{QoS}(t) \geq \forall P_{Trt}^{norm}$) ЕКМ, на основі нормованих показників QoS трафіка реального часу та $R_{static}^{Load}(t) = \|\mu_{gsd}^v\|$ (етан 1). Число нерівностей визначається кількістю ІН (J_g): $J_g = N \cdot (N - 1)$, при $N > 3$; $N \geq M$.

В процесі обслуговування трафіка реального часу одна і та ж гілка може використовуватися декількома ІН. Тому, в першу чергу, нормування втрат потрібно проводити для гілок, які входять до складу найбільш довших шляхів μ_{gsd}^v та ІН з найбільш жорсткими вимогами до QoS. Однак, в процесі розрахунків на фінальній стадії виникає ситуація коли не виконується умова $P_{Trt}^{QoS}(t) \geq \forall P_{Trt}^{norm}$, що призводить до повторних розрахунків. Для усунення даної проблеми, запропоноване наступне евристичне правило: якщо при прогнозуванні втрат в гілках мережі в ІН невідома тільки одна гілка, то необхідно для всіх ще не розрахованих ІН провести повторну перевірку вимог до середніх втрат на гілках та ранжування (за критерієм мінімальних втрат).

Етап. 3. *Формування плану розподілу навантаження в ЕКМ* ($R_{quasi-static}^{Load}(t) = \|\mu_{gsd}^v\|$). А саме, здійснюється рівномірний розподіл навантаження від всіх ІН на гілки мережі, що входять до складу основного і обхідного шляхів передачі μ_{gsd}^v та визначаються пропускні спроможності гілок мережі. Однак, в процесі розрахунків є невизначеності порядку вибору рівнозначних (за кількістю транзитів) μ_{gsd}^v в ІН, тому пропонується використання розробленої моделі КВМР гілок, яка дозволяє на основі квазістатичного методу скорегувати ПРН.

Етап 4. *Визначення достатньої кількості віртуальних каналів та швидкості передачі в гілках ЕКМ.* На основі отриманих значень пропускних спроможностей та ймовірності втрат в гілках мережі визначаємо необхідну кількість віртуальних каналів в кожній гілці мережі, яка дозволить забезпечити виконання заданих показників QoS трафіка реального часу. А потім, отримуємо необхідну бітову швидкість в тракці передачі в залежності від типу кодеків в мережевому обладнанні.

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 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 всім інформаційним напрямкам мережі.

Метод дозволяє отримати вигравш: за показником якості обслуговування в ІН складає 35 %; за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; за показником пропускної спроможності 19 – 20 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

У п'ятому розділі „Розробка науково-методологічного апарату для обґрунтування вимог до системи сигналізації та моніторингу гетерогенної ЕКМ” розроблено науково-методологічний апарат, що дозволяє обґрунтувати вимоги до елементів системи сигналізації згідно концепції IMS та системи моніторингу складної гетерогенної ЕКМ.

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 ЕКМ, 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. 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. 11. представлено основні компоненти системи сигналізації та моніторингу, в складі ІКС.

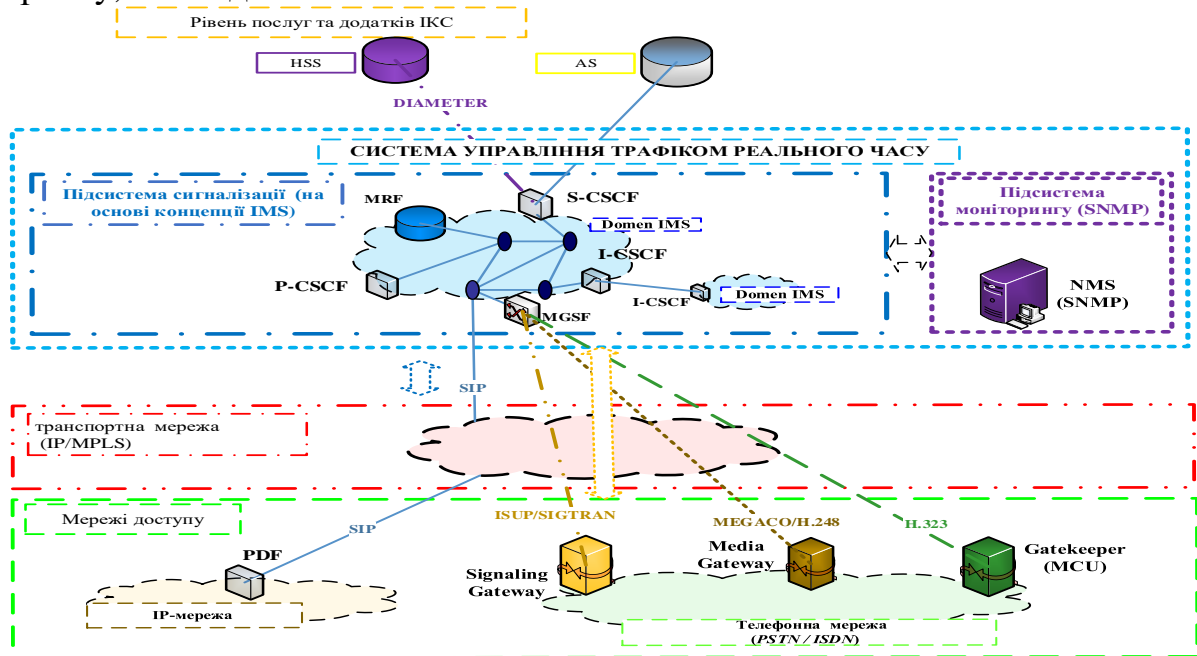


Рис. 11. Варіант побудови СУ трафіком реального часу

На основі вище приведеного був розроблений *метод проектування системи сигналізації гетерогенної ЕКМ*. Особливість даного методу полягає в тому, що було використано принцип декомпозиції ядра IMS при конвергенції різнорідних 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. 12). Суть 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.

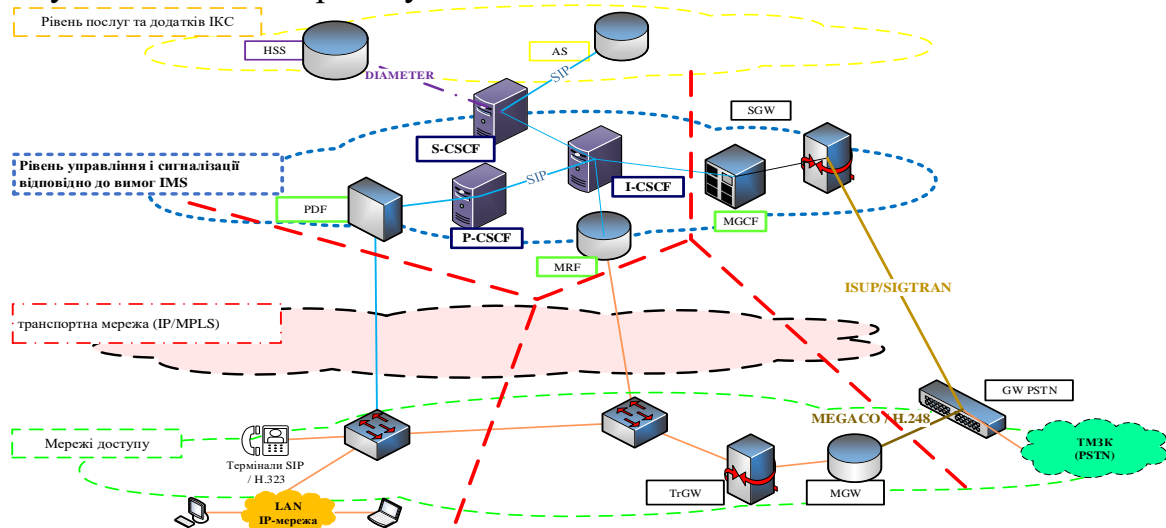


Рис. 12. Узагальнена схема декомпозиції ядра IMS

На рис. 13. представлені основні елементи ядра IMS та порядок обміну повідомленнями сигналізації в процесі функціонування.

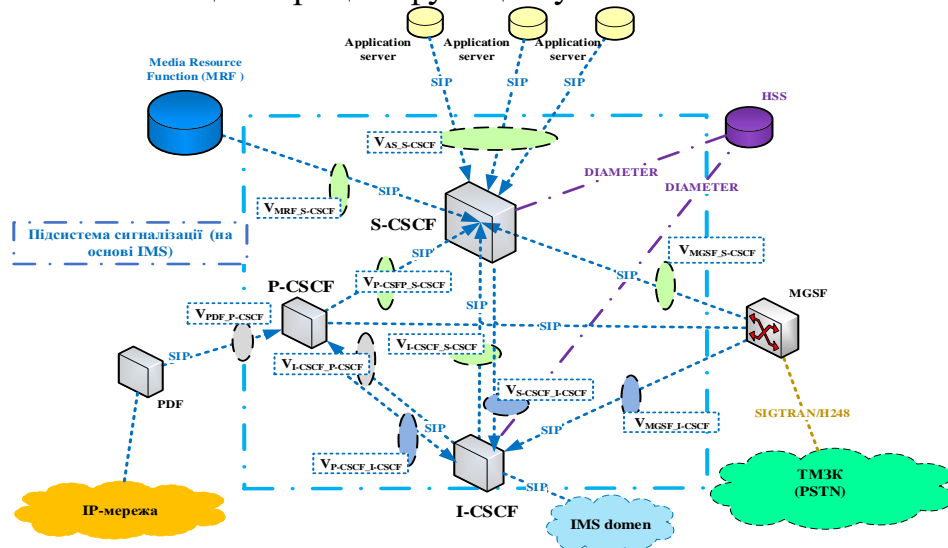


Рис. 13. Обмін службовими повідомленнями в підсистемі сигналізації ядра IMS

Вхідні дані:

$G_{IMS}(t) = \|G_{IMS_{ab}}\|$ – структура системи сигналізації, ядро IMS
($a, b = \overline{1, N}$);

$U_{sub}(t)$ – кількість абонентів із одностипними протоколами сигналізації;

$Sig_{type}(t)$ – тип протоколу сигналізації;

$P_{Sig}^{norm}(t) = \|P_{gsd}^{norm}\|$ – граничне нормоване значення ймовірності відмови встановлення наскрізного з'єднання для трафіка сигналізації в ІН;

k_{sig} – коефіцієнт на траскодування сигналізації.

Формалізована постановка задачі:

$$\begin{cases} Z_{gsd}^{Sig}(t, \tau) = f_4\{G_{IMS}(t); U_{sub}(t); Sig_{type}(t); k_{sig}; V_{S-CSCF}^{bit}; V_{P-CSCF}^{bit}; V_{I-CSCF}^{bit}\} \\ V_m^{Sig}(t) = f_5\{G_{IMS}(t); Z_{gsd}^{Sig}(t, \tau); P_{Sig}^{norm}(t)\} \rightarrow \min \end{cases}$$

Необхідно визначити:

$Z_{gsd}^{Sig}(t, \tau) = \|Z_{gsd}\|$ – навантаження сигналізації в кожному ІН в ГНН τ ;

V_{S-CSCF}^{bit} – необхідна швидкість передачі трафіка сигналізації для програмно-функціональних блоків Serving Call Session Control Function (S-CSCF);

V_{P-CSCF}^{bit} – необхідна швидкість передачі трафіка сигналізації для програмно-функціональних блоків Proxy Call Session Control Function (P-CSCF);

V_{I-CSCF}^{bit} – необхідна швидкість передачі трафіка сигналізації для програмно-функціональних блоків Interrogating Call Session Control Function (I-CSCF);

$V_m^{Sig}(t) = \|V_{mab}^{Sig}\|$ – достатній мережевий ресурс для трафіка сигналізації.

Введемо наступні позначення:

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 звернення до Media Resource Function (MRF); $Y\%$ – відсоток викликів до серверів додатків (AS); V_{MGCF_S-CSCF} – швидкість передачі між MGCF і S-CSCF; V_{AS_S-CSCF} – швидкість передачі між AS і S-CSCF, V_{MRF_S-CSCF} – швидкість передачі між MRF і S-CSCF; V_{I-CSCF_S-CSCF} – швидкість передачі між I-CSCF і S-CSCF.

Тоді необхідна швидкість передачі для S-CSCF при взаємодії з іншими елементами ядра IMS 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 до MGCF ($P_{SX} = k_{PSTN} \cdot P_{PSTN} \cdot U_{PSTN}$; k_{PSTN} – коригуючий коефіцієнт для PSTN, P_{PSTN} – інтенсивність потоку викликів від PSTN, U_{PSTN} – кількість абонентів в PSTN).

Розрахуємо необхідну швидкість передачі для I-CSCF:

$$V_{I-CSCF}^{bit} = V_{MGCF_I-CSCF} + V_{P-CSCF_I-CSCF} + V_{P-CSCF}^{bit}$$

де: V_{I-CSCF_S-CSCF} було визначено раніше; V_{MGCF_I-CSCF} – швидкість передачі між MGCF та I-CSCF ($V_{MGCF_I-CSCF} = k_{sig} \cdot L_{SIP} \cdot N_{SIP5} \cdot P_{SX} \cdot V_{bit}$, N_{SIP5} – середнє число SIP-повідомлень при обслуговуванні одного виклику між MGCF та I-CSCF).

Також визначимо необхідну швидкість передачі для P-CSCF з боку мережі SIP (H.323) при взаємодії з I-CSCF та PDF.

$$V_{P-CSCF}^{bit} = V_{PDF_P-CSCF} + V_{P-CSCF_I-CSCF}.$$

де: V_{PDF_P-CSCF} – швидкість передачі між PDF та P-CSCF, яка дорівнює $V_{PDF_P-CSCF} = k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP6} \cdot P_{SX_SH}) \cdot V_{bit}$; N_{SIP6} – середнє число SIP-повідомлень при обслуговуванні одного виклику між P-CSCF та PDF; P_{SX_SH} – загальна інтенсивність потоку запитів на P-CSCF ($P_{SX_SH} = k_{SH} \cdot P_{SH} \cdot U_{LAN} + k_{SH} \cdot P_{SH} \cdot U_{LAN}$; k_{SH} – коригуючий коефіцієнт для SIP або H.323; P_{SH} – інтенсивність потоку запитів від терміналів SIP або H.323; U_{LAN} – кількість абонентів в мережі SIP; U_{SH} – кількість абонентів в мережі H.323).

Необхідна швидкість передачі між P-CSCF і I-CSCF (V_{P-CSCF_I-CSCF}) обчислюється за наступною формулою:

$$V_{P-CSCF_I-CSCF} = k_{sig}(L_{SIP} \cdot N_{SIP7} \cdot P_{SX_SH}) \cdot V_{bit},$$

де: N_{SIP7} – середнє число SIP-повідомлень між P-CSCF і I-CSCF.

Таким чином, використовуючи даний метод визначається обсяг навантаження трафіка сигналізації, яка функціонує між елементами ядра IMS $Z_{gsd}^{SIG}(t, \tau)$. Далі, задавшись показниками QoS трафіка сигналізації $P_{Sig}^{norm}(t)$, розраховується 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 %.

Також в даному розділі було розроблено *удосконалену модель 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. 14. приведено варіант структури підсистеми моніторингу.

Відповідно до наявних евристичних правил, інтенсивність потоку SNMP-повідомлень повинна ≤ 10 % від загальної інтенсивності трафіку реального

часу в мережі. Для математичного опису процесів обробки трафіку моніторингу згідно протоколу SNMP була отримана функціональна модель рис. 15.

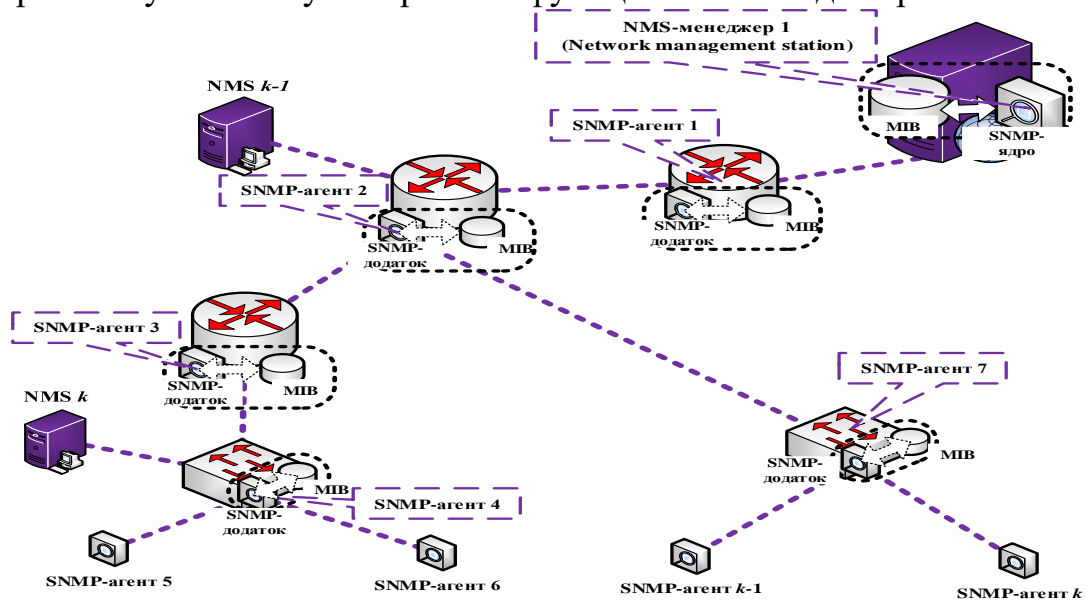


Рис. 14. Сегмент системи моніторингу на базі протоколу SNMP

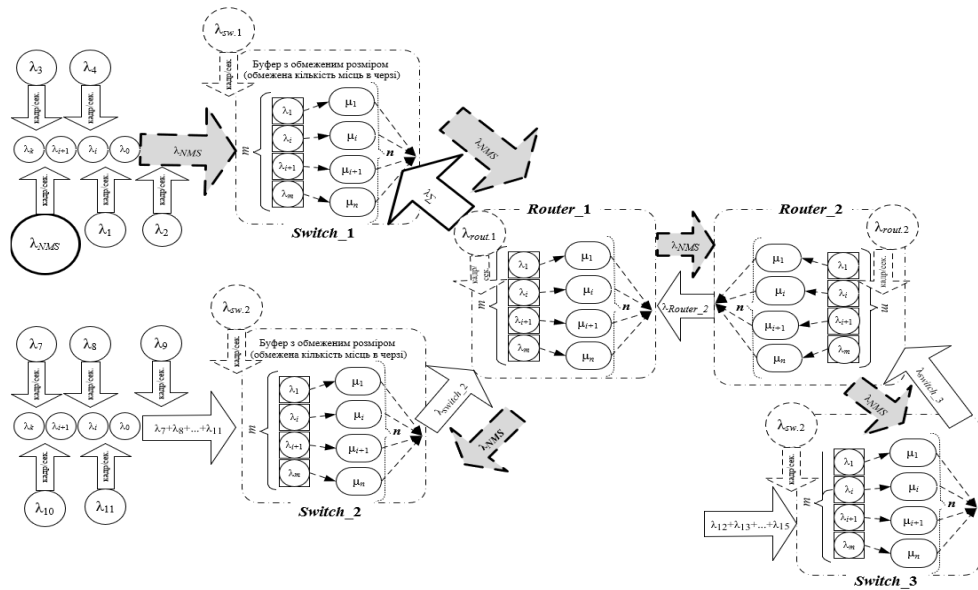


Рис. 15. Функціональна модель обслуговування трафіку моніторингу в ЕКМ

Вхідні дані:

$G_{SC}(t) = \parallel G_{TNij} \parallel$ – структура системи моніторингу ($i, j \in \overline{1, N}$), NMS-менеджери та SNMP-агенти;

$K_{agent}(t)$ – кількість агентів в підсистемі моніторингу $K_{agent} = \overline{1, N}$;

$K_{NMS}(t)$ – кількість NMS-менеджерів в системі моніторингу $K_{NMS} = \overline{1, N}$;

$y(p)_m(t) = \parallel y(p)_{mij} \parallel$ – пропускна спроможність гілок мережі моніторингу i, j –індекс гілки мережі ($i, j \in \overline{1, N}$; $m \in \overline{1, M}$);

V_{port} – швидкість інтерфейсів мережевого обладнання;

$T_{request}^{limit}$ – допустимий інтервал опитування агентів.

Формалізована постановка задачі представлена в наступному вигляді:

$$\begin{cases} T_{request}^{allowable}(t) = f_6\{G_{SC}(t); K_{NMS}; K_{agent}; y(p)_m(t); V_{port}\} \rightarrow \min; \\ T_{request}^{allowable}(t) \leq T_{request}^{limit}(t); \lambda_{mij}^{Snmnp(UDP)} \leq [0,1 \cdot y(p)_{mij}]. \end{cases}$$

Необхідно визначити:

$T_{request}^{allowable}(t)$ – мінімально допустимий інтервал опитування SNMP-агентів;

$Z^{CS}(t) = \|\lambda_{mij}^{Snmnp(UDP)}\|$ – допустима інтенсивність SNMP-трафіку в мережі.

Виходячи з алгоритму роботи протоколу SNMP сумарний середній час на передачу SNMP-повідомлення дорівнює:

$$T_{request} = \left(\sum_{r=0}^{TR} T_{router(switch)} + \sum_{l=0}^L T_{trans} \right) \cdot 2,$$

де $TR \in (\overline{0}, r)$ – кількість транзитного обладнання в маршруті передачі SNMP-повідомлення; $L \in (\overline{0}, l)$ – кількість ліній зв'язку в маршруті передачі SNMP-повідомлення; T_{trans} – середній час передачі інформації в лінії зв'язку.

Для визначення середнього часу обробки в мережевому обладнанні:

$$T_{router(switch)} = \bar{t}_{serv} + \bar{t}_{buffer},$$

де: \bar{t}_{serv} – середній час обслуговування кадру портом активного обладнання, $\bar{t}_{serv} = 1/\pi$ ($\pi = V_{port}/L_{frame}$ – інтенсивність обслуговування кадру портом); \bar{t}_{buffer} – середній час знаходження кадру в буфері ($\bar{t}_{buffer} = M\xi \cdot \bar{t}_{serv}$, $M\xi$ – середня кількість повідомлень в буфері; $M\xi = \sum_{s=1}^b s \cdot P_{n+s}$, b – кількість розмір буфера мережевого обладнання, P_{n+s} – ймовірність того, що порти обладнання зайняті обслуговуванням та s заявок знаходяться в буфері).

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; b – розмірність буфера ($b = R_{buffer}/L_{frame}$, R_{buffer} – об'єм пам'яті в бітах для буферизації кадрів).

Для практичних розрахунків мінімально допустимого інтервалу опитування SNMP-агентів можна застосувати наступну формулу:

$$T_{request}^{allowable} = \frac{1/\lambda^{Snmnp(UDP)}}{K_{agent}},$$

де: $\lambda^{Snmnp(UDP)}$ – сумарна інтенсивність надходження SNMP-повідомлень в ЕКМ; K_{agent} – кількість задіяних агентів в системі моніторингу.

В подальшому визначається допустима інтенсивність трафіку моніторингу $Z^{CS}(t) = \|\lambda_{mij}^{Smp(UDP)}\|$ в залежності від наявних резервів пропускної здатності в гілках мережі на поточний момент часу.

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 ЕКМ.

У шостому розділі „Оцінка ефективності розробленого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень трафіка реального часу в гетерогенних ЕКМ”. Оцінка ефективності розробленого науково-методологічного апарату проводилась в порівнянні з існуючим за відомими 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 ЕКМ.

Вхідними даними для проведення експерименту являються:

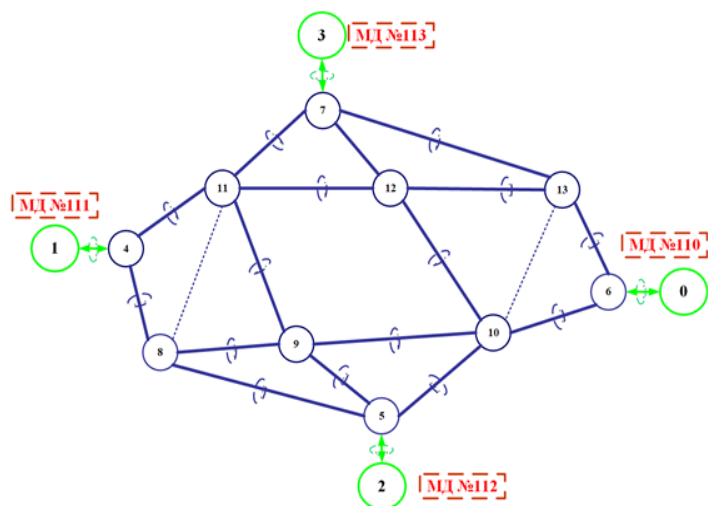


Рис. 16. Варіант структури ЕКМ

структура ЕКМ, яка представлена на рис. 16; C_{type} – тип кодека G.711 = 84 [Кбіт/с] (разом із додатковою службовою інформацією); L_{frame} – середня довжина кадра = 1000 [байт]; V_{mTN}^{bit} – швидкість передачі гілки транспортної мережі = 1,5 [Мбіт/с]; V_{mAN}^{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;

$Z_{gsd}^{Trt}(t, \tau) = \|Z_{gsd}\|$ – навантаження трафіка реального часу в ІН $Z_{gsd} = 1,98$ [Erlang].

Згідно отриманих результатів, на основі існуючого методу після перевірки відповідності показників ($P_{Trt}^{QoS}(t) \geq \forall P_{Trt}^{norm}$) якості обслуговування трафіку реального часу в чотирьох ІН розраховані значення не відповідають нормованим $P_{gsd}^{Trt} (\geq 0,01)$. В свою чергу, при однакових вхідних даних, використання

запропонованих удосконалень на основі квазістатичного методу формування ПРН, 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 % та збільшити КВМР гілок мережі в середньому в 1,15 рази. Подальші експерименти підтверджують доцільність використання, як мінімум двох незалежних шляхів передачі при збільшенні кількості транзитних вузлів в даних шляхах рис. 17.

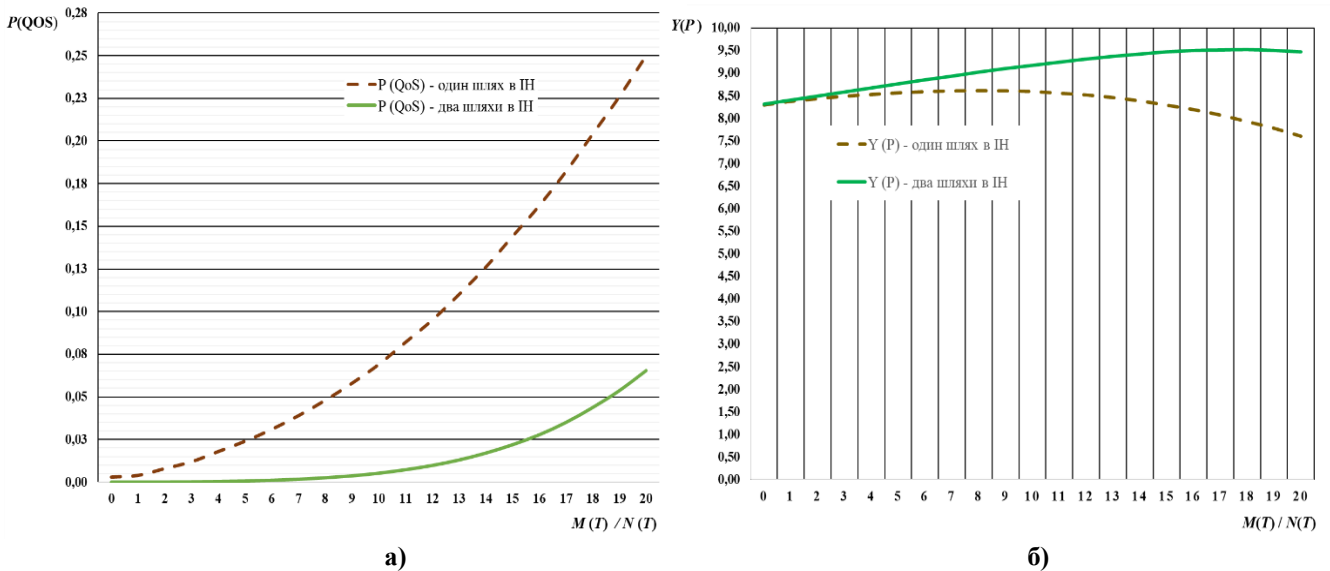


Рис. 17. Залежність: а) QoS трафіка реального часу P_{gsd}^{Trt} та б) пропускну спроможності $Y(P)_{gsd}$ від кількості транзитних вузлів в μ_{gsd}^v

Адекватність розробленого науково-методологічного апарату підтверджується шляхом проведення імітаційного моделювання обслуговування трафіку реального часу в програмному середовищі NS 2 (рис. 18).

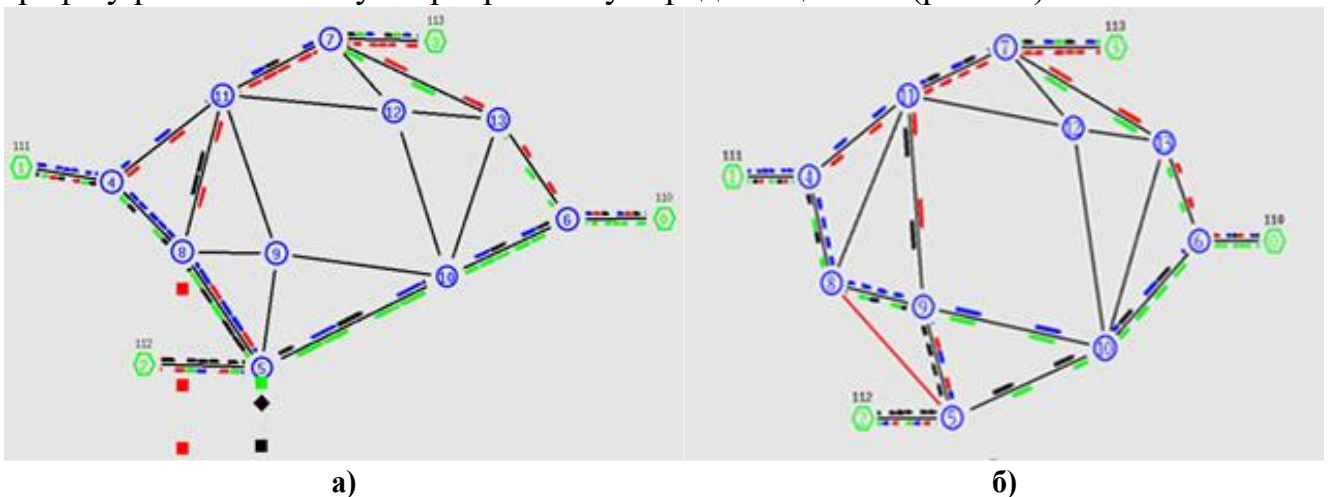


Рис. 18. Стационарний режим роботи імітаційної моделі ЕКМ: а) втрати в мережі до використання ТЕ; б) перерозподіл потоків (зміна ПРН) втрати відсутні
Проведений аналіз статистичних даних серії експериментів на імітаційній моделі показав, що корегування ПРН при незмінній структурі ЕКМ та об'єму мережевого ресурсу призводить до виграву пропускну спроможності в середньому на 16 – 18 % при допустимих граничних значень втрат (рис. 18, б).

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.

Для оцінки ефективності впровадження ядра IMS на рівні управління ЕКМ, було проведено експерименти для трьох типів технологій (рис. 19) в MiniEdit.

А саме, проведено моделювання: IP мережі рис. 19 а), мережі IMS рис. 19 б) та доменна структура IMS рис. 19 в).

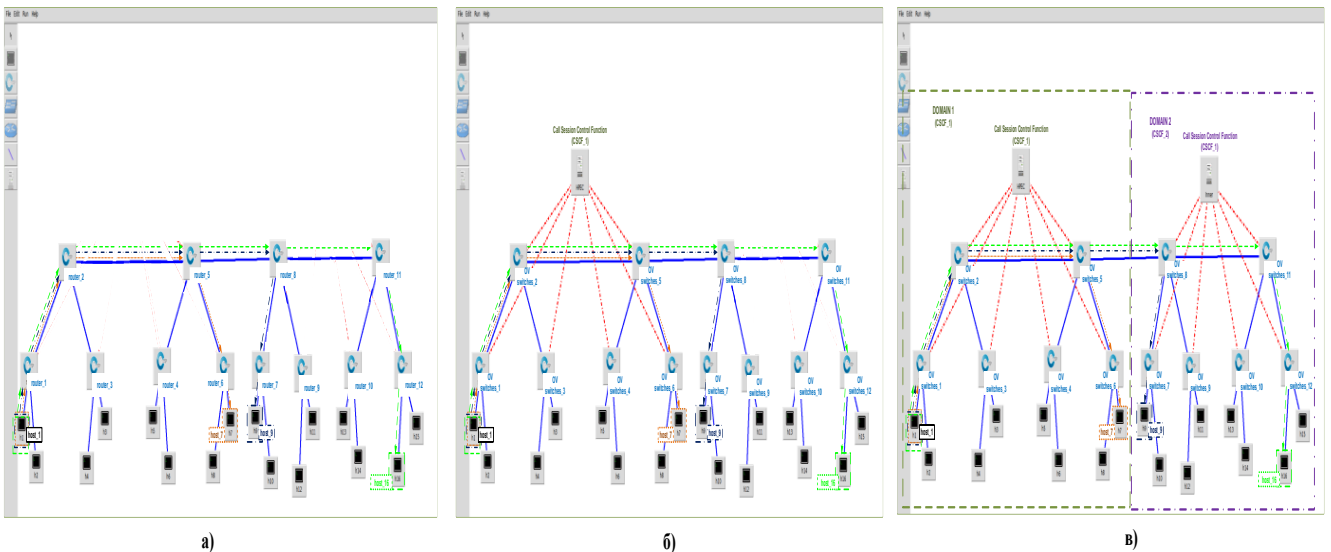


Рис. 19. Модель сегменту: а) IP мережа; б) мережа IMS; в) доменна структура IMS

При цьому використано наступні вхідні дані: топології сегментів мереж представлені на рис. 19.; тестуються всі ІН ID ($SUM_{ID} = 240$); розмір кадру $L_{frame_ICMP} = 64$ [byte]; затримка в лінії t_{link_delay} від 0 до 10000 [msec.]; швидкість передачі в лініях $V_{link_BW} = 10$ [Mbit/sec.]; розглядаються найбільш віддалені ІН: ID_{h1-h7} ; ID_{h1-h9} ; ID_{h1-16} . В результаті моделювання визначено: середнє значення відклику Round-Trip Time (RTT) T_{RTT_avg} [msec.]; експериментальне значення втрат та кількість ІН, які стають недосяжними із-за затримок в мережі.

Аналіз результатів проведених експериментів дозволяє зробити висновок, що при використанні в якості показника ефективності RTT 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 %.

На рис. 20. представлені результати моделювання, для трьох типів мережевих технологій (IP мережа, мережа IMS та доменна структура мережі IMS), в графічному вигляді.

Для тестування в режимі перевантаження, була використана утиліта iperf для найбільш віддалених хостів мережі. А саме, одночасно проводилась генерація UDP-трафіка (ID_{h16-h1} , ID_{h9-h1} та ID_{h7-h1} навантаження $Load_{flow} = 5$ [Mbit/sec]).

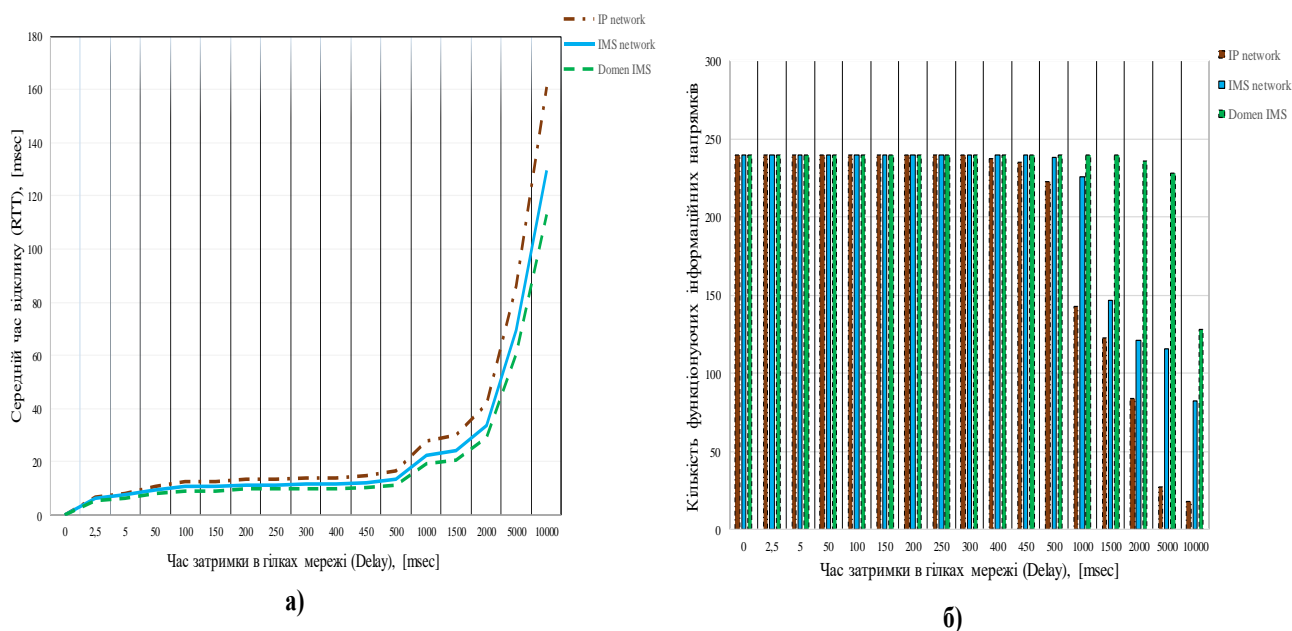


Рис. 20. Залежність при варіації затримок в гілках різнотипних мереж: а) зміни середнього часу відклику системи RTT; б) кількості функціонуючих ІН

В результаті отримуємо кількість успішно доставлених та втрачених пакетів в залежності від вихідних даних та довжини маршрутів відповідних ІН (рис. 21.).

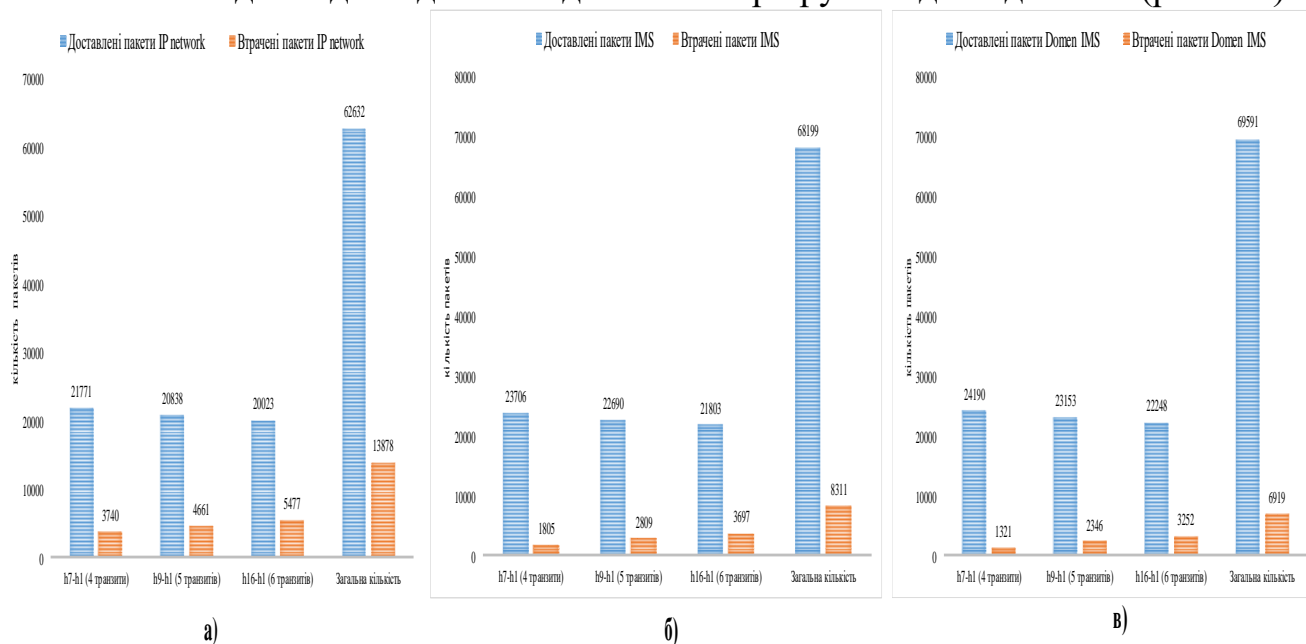


Рис. 21. Залежність доставлених та втрачених пакетів між сервером h_1 і клієнтами h_{16} , h_9 , h_7 : а) IP мережа; б) мережа IMS; в) доменна структура IMS

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 ІН.

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.

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 пропускнуої 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. 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, різномірні 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 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 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 трасування 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 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 ЕКМ.

5. Розроблено методологію управління пропускнуою спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу та проведено оцінку ефективності запропонованого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенних ЕКМ за основними мережевими показниками.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, які відображають 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., Грінюк 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

Патент на корисну модель та авторське право на твір:

25. Єрмаков А.В., Наритник Т.М., Романов О.І., Нестеренко М.М., Новоградська Р.Л., Маньківський В.Б. Система формування оптимальної довжини черги мереж передачі даних Sfolnetworks : пат. UA 123629 U Україна : G06F 9/315 (2018.01). № у 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).

26. 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).

Колективна монографія:

27. 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.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

28. 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.

29. 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.

30. 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.

31. 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.

32. 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.

33. 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.

34. 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.

35. 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.

36. 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>

37. 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.

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

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

40. 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>

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

42. 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.

43. 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.

44. 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>

45. 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 Дванадцятиміжнар. науково-техн. конф. і Десятого студент. науково-техн. конф., м. Київ, 16 – 20 квіт. 2018 р. С. 95 – 97.

46. 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.

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

48. 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.

49. 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.

50. 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>

51. 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.

52. Нестеренко М.М., Топорков М.А. Мова програмування Р4 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.

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

54. 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.

55. 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.

АНОТАЦІЯ

Нестеренко М.М. Методологія управління пропускнуою спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – „Телекомунікаційні системи та мережі”. – Національний

авіаційний університет Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2024.

Дисертація присвячена підвищенню 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.

Розроблена інтеграційна архітектура електронної комунікаційної мережі на основі переваг концепцій NGN та IMS, яка дозволяє об'єднати несумісне обладнання, різнорідні мережеві технології та різнотипні системи сигналізації для гарантованої якості обслуговування трафіка реального часу.

Формалізовано опис системного дослідження та розроблено науково-методологічний апарат, що враховує забезпечення вимог якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при наскрізному встановленні з'єднання між абонентами в умовах коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів.

Запропоновано науково-методологічний апарат 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:

модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі; удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі;

удосконалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу;

метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі;

удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Проведено оцінку ефективності запропонованих моделей та методів за нормованими показниками якості обслуговування трафіку реального часу та відповідними мережевими показниками.

Отримані моделі та методи можуть бути використані в цілях системи управління трафіком реального часу.

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

SUMMARY

Nesterenko M.M. **Methodology for management throughput and quality of service real-time traffic in heterogeneous electronic communication networks with bypass paths.** – 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. – Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to increasing the throughput and quality of service of complex heterogeneous electronic communication networks to increase the efficiency of using the available network resource through the introduction of a new scientific and methodological apparatus for the distribution of message flows when managing the order of use bypass transmission paths in information directions depending on structural redundancy.

An integration architecture of the electronic communication network based on the advantages of the NGN and IMS concepts has been developed, which allows combining incompatible equipment, disparate network technologies and various signaling systems for guaranteed service quality of real-time traffic. The description of the system research was formalized and a scientific and methodological apparatus was developed, which takes into account the provision of quality of service (QoS) requirements of real-time traffic during end-to-end connection establishment between subscribers in conditions fluctuations volume of incoming load, limited network resources and the influence of destabilizing factors.

A scientific-methodological apparatus for managing the distribution of message flows, when using of bypass transmission paths in complex heterogeneous electronic communication networks based on indicators throughput and quality of service real-time traffic:

model for assessing the quality of service real-time traffic with bypassed transmission paths in the information directions of the electronic communication network;

improved method of assessing the compliance of given indicators of throughput and quality of service real-time traffic of a functioning electronic communication network;

improved method technique for determining a sufficient number of network resources of electronic communication network branches with guaranteed service quality of real-time traffic;

method of designing the signaling system of a heterogeneous electronic communication network;

improved model for determining polling intervals in the monitoring system depending on the loading of a heterogeneous electronic communication network.

An evaluation of efficiency was carried out of the proposed models and methods according to the normalized indicators quality of service real-time traffic and corresponding network indicators. The obtained models and methods can be used in the management system real-time traffic.

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