



МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ
ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА
АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ
03035, м. Київ-35, вул. Митрополита
Василя Липківського, 35, т./ф. (044)
206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

MINISTRY OF ECOLOGY
AND NATURAL RESOURCES OF
UKRAINE
STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF
POST-GRADUATE EDUCATION AND
MANAGEMENT
35, Metropolitan Vasil Lypkivskyi str.,
Kyiv, 03035, Ukraine, tel./fax (044) 206-
31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.861.01 у Державному університеті
телекомуникацій
МОН України
03680, м. Київ, вул. Солом'янська, 7

ВІДГУК
офіційного опонента,
проректора з наукової роботи

Державної академії післядипломної освіти та управління,
Міністерства екології та природних ресурсів України,
доктора технічних наук, професора *МАШКОВА Олега Альбертовича*
на дисертацію *НЕДАШКІВСЬКОГО Олексія Леонідовича*
за темою: «Методологія підвищення ефективності надання
телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.12.02 – телекомуникаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації.

Відомо, що на сьогоднішній день в Україні розвиток галузі телекомуникацій відбувається у напрямку стрімкого розширення ринку послуг, що надаються користувачам. Це, в свою чергу, сприяє впровадженню нових технологій та їх конвергенції. При цьому сучасні мультисервісні послуги

надаються на основі нових телекомунікаційних технологій, які виступають основою для побудови мереж зв'язку наступного покоління (Next Generation Network, NGN).

За прогнозами, до 2022 року на планеті буде 29 млрд. підключених пристрій, 18 млрд. з яких — це пристрій IoT. Це означає, що на кожного активного користувача буде приходитися одразу декілька "розумних" речей. Для їх ефективної та надійної роботи необхідно буде щось більше, чим високошвидкісна мережа. Активний еволюційний розвиток технологій у найближчий перспективі приведе до створення мультисервісних макромереж, метою яких буде вирішення принципально нових задач. З'являться нові вимоги і задачі, що вже зараз можливо визначити й позначити.

Так умови ринку вимагають від операторів підвищення якості усього переліку послуг, що, в свою чергу призводить до збільшення витрат на управління мережною інфраструктурою. В той же час оператори зацікавлені в зниженні експлуатаційних витрат і підвищенні ефективності процесів управління мультисервісними мережами та їх елементами.

Згідно визначень, мультисервісна мережа — це єдина телекомунікаційна структура, що здатна передавати різну інформацію (голос, відео, дані) зі швидкістю, що перевищує в десятки-сотні разів існуючу швидкості передачі даних, а макромережа формується зі спеціалізованих мереж для можливості надання різних сервісів оператора зв'язку. В даному дисертаційному дослідженні розглядається один із варіантів мультисервісної макромережі — це мережа на базі пакетних технологій. З розвитком мультисервісних мереж та їх адаптацією до нових пристрій та послуг — від інтелектуальних електролічильників, автомобілів та підключених побутових пристрій до промислових об'єктів — до них висуваються нові та найрізноманітніші вимоги. У зв'язку з цим, підхід «одна технологія для всіх» навряд чи може бути ефективною для забезпечення зростаючого числа різноманітних потреб з боку бізнесу, суспільства і окремих користувачів. Технології продовжать свій розвиток у напрямку до більшої високої продуктивності та все більшої кількості

можливостей. На додаток до існуючих технологій радіодоступу, з'являться також нові технології, які дозволять вирішувати ті завдання, які вирішити за допомогою 2G / 3G / 4G неможливо. Згідно з прогнозами, в результаті такого розвитку вже до 2020 року з'явиться те, що називають 5G, тобто набір органічно інтегрованих технологій радіодоступу. Враховуючи, що технологія 4G - це еволюційний крок у розвитку технологій мобільного зв'язку, як, і розвиток HSPA і Wi-Fi, в найближчому майбутньому вона не втратить своєї актуальності. Навіть GSM буде відігравати важливу роль, продовжуючи залишатися домінуючою технологією в багатьох куточках земної кулі і після 2020 року. Тому мова йде не про заміну існуючих технологій на 5G, а, скоріше, про їх розвиток і доповнення новими технологіями радіодоступу, призначеними для конкретних сценаріїв та певних цілей. Прозора інтеграція існуючих та нових технологій буде сприяти підвищенню якості користувачького досвіду і появи цілого ряду нових послуг. Активний розвиток та функціонування технологій, що з'єднують суспільство в єдиному просторі, сприяє і веде до створення макромережі оператора.

Практична реалізація рівня управління послугами та бізнесом в сучасних мультисервісних мережах виконується в рамках декількох технологічних підходів, до яких можна віднести CORBA (Common Object Request Broker Architecture), COM/DCOM (Component Object Model/Distributed COM), SOA (Service-Oriented Architecture). Аналіз показав, що існуючі системи управління (Operation Support System/Business Support System, OSS\BSS - системи) в першу чергу орієтовані на збір та обробку інформації, що циркулює на рівні транспорту і доступу. Даний підхід значно ускладнює реалізацію алгоритмів адаптивного управління, що враховують особливості різного типу трафіку в залежності від типу послуги. Відповідно, можна зробити висновок, що перехід до використання мультисервісних мереж виндерджас розвиток засобів та методів управління, що представляє собою одну з актуальних проблем в галузі телекомуникацій.

Основне використання VSAT - організація широкосмугового доступу в Інтернет, телефонний зв'язок, передача даних для корпоративних мереж, відеоконференції, дистанційне навчання, резервування наземних каналів зв'язку переважно поза великих міст, там де немає надійних і високошвидкісних наземних каналів зв'язку. Перспективи технологій VSAT можуть з'явитися при проведенні загальнонаціональних програм інформатизації країни типу «Шкільний Інтернет», «Інтернет в селі» і т.д. При цьому можна спрогнозувати, що реалізація таких проектів буде економічно і технологічно вигідною при сумісному (гібридному) використанні проводових та супутниковых технологій. Досвід показує, що більшу частину країни, особливо ту, що відрізняється складним ландшафтом, доцільно підключати до мережі саме через супутник. Так зараз підходять в Європі - ніхто не інвестує мільйони в кабель, тим більше, що в Україні таких інвестиційних можливостей поки що просто немає.

При вирішенні задачі управління сучасними мультисервісними мережами постають декілька основних складностей.

По-перше, існуючі системи мережного управління основані на використанні протоколу SNMP (Simple Network Management Protocol). Це дозволяє виконувати моніторинг лише параметрів компонентів мережової інфраструктури. Але це не дозволяє оцінити взаємодію параметрів окремих елементів мережі, що значно ускладнює процес діагностики та пошуку причин погіршення роботи мережі.

По-друге, системи мережного управління не дозволяють проводити оцінку параметрів QoS (Quality of Service) при наданні послуг, що значно ускладнює вирішення задачі управління конфігурацією сервісів. Всі ці складності призводять до того, що для забезпечення необхідного рівня якості при наданні послуг розробники в процесі проектування мультисервісних мереж вимушени передбачати значну надмірність за основними параметрами, що негативно впливає на вартість надання послуг. Іншим шляхом забезпечення необхідного рівня якості надання послуг є вдосконалення систем мережного

управління. А саме, реалізація методів аналізу стану сервісів, динамічне управління кількістю екземплярів сервісів, управління розподілом потоків заявок користувачів між екземплярами сервісів з урахуванням їх стану та характеристик якості обслуговування. Такий підхід дозволяє більш повно врахувати вимоги користувачів щодо QoS без значного підвищення вартості надання послуг.

Ефективність сучасних інформаційних систем істотно залежить від якості управління їхніми ресурсами. Тому основною метою управління мережевими ресурсами є забезпечення заданих показників якості обслуговування (Quality of service, QoS) користувачам, які видають службі заявку на послуги необхідної їм якості, а служба виконує цю заявку або повідомляє про неможливість її реалізації. Підтримка якості обслуговування в сучасних, передовсім мультисервісних телекомуникаційних систем, є досить трудомістким завданням і вимагає узгодженого розв'язання цілого комплексу задач управління мережевими ресурсами. Для одночасного забезпечення різних вимог QoS у систему зв'язку потрібно вирівнювати системи керування трафіком, які, своєю чергою, повинні враховувати особливості різних класів трафіку і забезпечувати ефективний перерозподіл ресурсів мережі. Розподіл ресурсів вузлів комутації забезпечується за допомогою різних алгоритмів буферизації пам'яті та призначення пріоритетів для організації черг пакетів та порядку їх обробки.

Сьогодні відомо декілька рекомендацій щодо визначення відносного пріоритету класів трафіку, запропонованих окремими виробниками телекомуникаційного обладнання. Проте ці рішення різняться і не дають змоги вирішити суперечності у різних вимогах до QoS класів трафіку. Це найчастіше пов'язано з місцевими підходами до проблеми визначення значень відносного пріоритету класів трафіку, які базуються на якісь одній чи кількох критеріальних характеристиках, не враховуючи всіх особливостей кожного окремого класу трафіку.

Також встановлено, що існує і до кінця не вирішена проблема оптимального вибору ресурсів мережі для гарантування замовленої абонентом якості надання послуг. Існує відомий підхід щодо розрахунку параметрів системи обслуговування мультисервісного трафіку для дотримання QoS, а також створення комплексної формалізованої методики визначення відносного пріоритету класів трафіку мультисервісних мереж, яка враховує не тільки особливості забезпечення різних показників QoS для різнопорідних класів трафіку, але і політику оператора з розподілу пріоритетів відповідно до замовленої абонентом якості надання послуг.

Динаміка розвитку телекомуникаційних технологій та збільшення різноманітності послуг неминуче веде до побудови високоефективної інформаційної інфраструктури, основою для якої слугуватимуть перспективні та існуючі телекомуникаційні системи. Дуже актуальним та водночас непростим завданням є створення відповідного інфокомуникаційного середовища, за допомогою якого відбудуватиметься впровадження новітніх телекомуникаційних послуг. Адже формування чіткої та продуманої стратегії розбудові сфери телекомуникацій сприятиме розвитку ринку інноваційних мультимедійних послуг та його успішної комерціалізації, а, відтак, і підвищенню інноваційної активності та забезпеченню інноваційної діяльності суб'єктів цієї галузі, оскільки інформація стає таким же стратегічним ресурсом, як традиційні матеріальні та спиретичні ресурси.

Дисертаційна робота Недашківського О.Л. спрямована на вирішення актуальної науково-практичної проблеми – розроблення методології підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах. Тема роботи є перспективним, важливим і економічно обґрунтованим напрямом розвитку науки і техніки на сучасному етапі.

Актуальність теми дослідження обумовлена тим, що мультисервісні мережі та послуги, які вони надають, стають все більше і більше життєво необхідними для людей, країн і всього світу в цілому, що підтверджується

включенням Міжнародним союзом телекомунікацій індексів Інтернет-охоплення у широчинний звіт «Показників розвитку світового Інформаційного суспільства».

Відомо, що головну роль у наданих інформації користувачам займає глобальна мережа, заснована на протоколі IP. Мультисервісні мережі забезпечують перехід на єдину платформу передачі даних, де джерела і отримувачі послуг перетворюються на мультифункціональні пристрой. Отже підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах для обслуговування як споживачів послуг, так і постачальників контенту є важливою проблемою.

Ці та інші задачі, які з передумовами створення високоефективної інформаційної інфраструктури із забезпеченням відповідного рівня продуктивності мереж і належної якості та часу доставки всього спектру сучасних телекомунікаційних послуг, детально розглянуті, опрацьовані та проаналізовані в докторській дисертациї Неданківського Олексія Леонідовича на тему «Методологія підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах». Проведені автором дослідження є актуальними та своєчасними і мають високу практичну цінність для застосування в сфері телекомунікацій.

У зв'язку з цим с актуальною науково-прикладною проблема теоретичного обґрунтування методологічного забезпечення підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах з метою підвищення якісних показників надання послуг з одночасним зменшенням витрат на побудову інфраструктури мереж на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет).

Обраний напрям дослідження тісно пов'язаний із реалізацією Законів України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» (стаття 4) та «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року» (стаття 3), а також з «Переліком державних науково-технічних програм».

Сучасні та перспективні телекомунікаційні мережі характеризуються великим обсягом різних видів інформації, мультисервісним характером мереж і значною розподіленою структурою. В цих умовах стає дедалі важливіше забезпечувати користувачам безперервність надання послуг у разі дотримання встановлених рівнів вимог до їх повноти і якості та з мінімальними витратами для операторів зв'язку.

Забезпечення якісної роботи всіх видів послуг, наданих сучасним електрозв'язком, вже неможливо без ефективного комплексного управління станами його елементів та інформаційних потоків, що циркулюють у ньому. У зв'язку з цим, Міжнародний союз з електрозв'язку (МСЕ), розробив і запропонував концепцію ієрархічного управління мережею зв'язку, в основі якої закладена ідеологія TMN (Telecommunications Management Network). У відповідності до концепції TMN, важливою складовою частиною сучасних складних телекомунікаційних мереж (ТКМ), є розподілені системи управління і моніторингу.

Метою таких систем є підтримка високого рівня працевздатності елементів телекомунікаційної мережі та якісного забезпечення, як доставки послуг мережі до споживачів, так і впровадження нових сервісів. Тому завдання управління мережами зв'язку є актуальним. Будь-яка мережа електрозв'язку складається з певної кількості мережевих елементів (Network Element – NE). Можна стверджувати, що мережевий елемент є основним об'єктом управління в телекомунікаційних системах. Тому якість управління та моніторингу станів телекомунікаційних систем істотно визначається повнотою і достовірністю інформації про їх функціонування. Як відомо, сучасні NE є складними пристроями, більшість з яких володіють технічним інтелектом. Тому всі сучасні та перспективні системи управління можна вважати інтелектуальними.

Традиційні математичні методи аналізу роботи сучасних та перспективних телекомунікаційних мереж не завжди можуть дати адекватний опис процесів, що відбуваються в них. Це пов'язано з багатьма труднощами,

основними з яких є: недостатність априорної інформації про стан мережевих елементів та інших складових систем, багатонараметричність завдань мережі, різноманіття телекомунікаційних мереж і властивостей елементів системи, часта нестандартність ситуацій в телекомунікаційних мережах, суб'єктивний фактор операторів мереж. Все це призводить до неточних оцінок аналізу стану мережевих елементів як об'єкту управління. В умовах, коли вихідні дані є, можливо, неповними (або ненадійними), різноманітними і слабо формалізованими, відсутні прості методи математичної обробки даних, рішення задачі управління та моніторингу станів ТКМ переводиться в площину апарату нечітких множин і нечіткої логіки.

Телекомунікаційні технології являються одним з основних технологічних напрямків розвитку України, що суттєво впливають на всі сфери діяльності людини. Це являється основою бурхливого соціально-економічного розвитку суспільства і вимагає впровадження та використання новітніх досягнень науки та техніки для підвищення бізнес процесів і, як наслідок, підвищення якості надання послуг. Це в цілому дозволить підвищити суспільний, економічний та політичний рівень життя людей. Тому питання підвищення якості надання послуг, кількість яких постійно збільшується, вимагає нових методів побудови інформаційно-комунікаційних мереж, для забезпечення швидкого економічного зростання та кібербезпеки України.

Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет).

Це підтверджується проведеними дослідженнями та працями в галузі теорії інтелектуальних телекомунікаційних таких вчених, як Беркман Л.Н., Гороховський О.І., Герасимов Б.М., Локазюк В.М., Окейнок О.Г., Поморова О.В. Алішов Н.І., Апостолюк О.С., Балан С.О., Бандорин Л.М., Брагінський О.Л., Глибовець А.М., Столяревська А.Л. та ін.

При вирішенні цієї проблеми автор у своїх дослідженнях спирається на праці вітчизняних і зарубіжних вчених, які зробили значний внесок у розвиток телекомунікаційних мереж та розробку систем їх аналізу та моніторингу: Reed J. H., Cardei M., Шеннон К., Коке Д., Льюїс Г., Тихонов А. Н., Веліхов Є. П., Вітербі Е.Д., Васильев В.Н., Аріпов М.Н., Стеклов В.К., Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Козелков В.С., Климаш М.М., Маніков О.А., Хеннан Е., Лазарев В. Г., Аріпов М. Н., Фінк Л.М., Нетес В. А., Нечипоренко В. І., Сігалл А., та інші.

Інженерні досягнення в сфері розвитку мультисервісних мереж, побудованих на базі стека протоколів TCP/IP, істотно виникають розвиток наукових методів аналізу експлуатаційних характеристик, які дозволяють суттєво підвищити ефективність надання телекомунікаційних послуг. У зв'язку з цим представляються актуальними розробка наукових основ і методів створення та впровадження оптичних, проводових і гібридних технологій на різних рівнях ієрархічної моделі мультисервісних мереж, їх моделювання і теоретичний аналіз показників якості обслуговування всіх видів трафіку, що передаються за допомогою відповідної ділянки мережі, а також розробка наукових методів аналізу і синтезу таких мереж. Оскільки обладнання мультисервісних мереж є дороговартісними спорудами, що покривають великі, в тому числі, сільські території, то представляється актуальним розробка наукових методів і алгоритмів створення структур і топологій мультисервісних мереж оптимальних з точки зору мінімізації приведених витрат на будівництво цих мереж, але з одночасним забезпеченням при цьому необхідного рівня експлуатаційних характеристик і, зокрема, показників якості послуг, що надаються.

Усі ці напрями та чинники об'єднують загальна проблема розробки методології підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах з метою підвищення якісних показників надання послуг з одночасним зменшення витрат на побудову інфраструктури мереж на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет).

Тому тема дисертаційної роботи Недашківського О.Л., яка присвячена рішенню цієї наукової проблеми с актуальню.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертациї.

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректно формулює її постанову. Аналіз сучасного стану надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах в провідних країнах світу та в Україні, аналіз перспективних технологій надання телекомуникаційних послуг мультисервісними мережами, аналіз методів побудови мультисервісних мереж для надання телекомуникаційних послуг, аналіз факторів, що впливають на ефективність надання послуг мультисервісними мережами, які виконано досить кваліфіковано, склали основу пошуку рішень проблеми розроблення методологічного забезпечення підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах з метою підвищення якісних показників надання послуг з одночасним зменшення витрат на побудову інфраструктури мереж на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет).

Методологія підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах науково визначається на єдиний методологічний основі математичного аналізу та синтезу складних технічних систем. Тому автор обґрунтовано використовує сучасні і класичні методи теорії масового обслуговування, теорії сигналів і систем, математичного та функціонального аналізу, теорії зв'язку, теорії ймовірності і математичної статистики, методу аналізу ієрархій, методів моделювання на ЕОМ, методів перевірки результатів дослідження для підтвердження основних положень теоретичних досліджень.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням

aprobowanого математичного апарату, який є адекватним моделям телекомуникаційних систем та мереж, що розглядаються.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всім п'яти розділах (стор.88-90; 131-132; 171-172; 233-234; 287-289) та у загальних висновках (стор.290-294), зроблено науково обґрунтовано і логічно по результатам аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також по результатам реалізації транспортні мережі на базі технології Ethernet.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленій проблемі; повнотою розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкта дослідження, що охоплюють його змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження; тривалістю практичної роботи і можливістю її відтворення.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертації ґрунтуються на:

- використанні результатів аналізу сучасного стану телекомуникаційних систем та мереж;
- коректності застосування структурно-організаційної моделі оцінки ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах
- узгодженістю із наявними результатами інших авторів, які надруковано у вітчизняній та зарубіжній літературі;
- даних про їх успішне практичне застосування для застосування технології BPL в Metro Ethernet мережах доступу.

Новизна одержаних результатів.

Відомо, що однією з основних характеристик телекомуунікаційної мережі є надання можливості підвищення ефективності надання телекомуунікаційних послуг в мультисервісних мережах на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет). Тому у дисертації згідно до поставленої мети, на основі теоретичних досліджень розв'язана важлива науково-технічна проблема, а саме розроблена методологія підвищення ефективності надання телекомуунікаційних послуг в мультисервісних мережах на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет), що забезпечує зменшення витрат на побудову інфраструктури мереж та обслуговування абонентів з одночасним підвищенням якості надання телекомуунікаційних послуг. Отримані в даній дисертаційній роботі результати мають велике значення й можуть бути використані як для модернізації існуючих мереж зв'язку, так і для створення мультисервісних мереж зв'язку для надання всього спектру сучасних телекомуунікаційних послуг з високим рівнем ефективності.

В роботі проведено аналіз умов і факторів, що впливають на побудову мультисервісних телекомуунікаційних систем та мереж. У результаті аналізу стану надання телекомуунікаційних послуг в мультисервісних мережах в провідних країнах світу та в Україні встановлено, що основою у наданні телекомуунікаційних послуг користувачам є МСМ, включаючи глобальну мережу Інтернет, які базуються на основі стеку протоколів TCP/IP. При цьому якість послуг мультисервісних мереж можна оцінити за: показником доступності, який буде формуватися виходячи з потенційного і реального проникнення; мінімальною, середньою та піковою швидкостями доступу до мережі передачі, що визначаються потенційно досяжними і реально досяжними значеннями.

Аналіз рівня розвитку МСМ в Україні дозволив виділити такі проблеми як цифровий розрив територій, не збалансованість капітальних інвестицій та недобросовісна конкуренція або її повна відсутність.

Аналіз перспективних технологій надання телекомуунікаційних послуг дозволив визначити, що в Україні найбільш поширені такі технології доступу до

МСМ як ADSL, Metro Ethernet, DOCSIS, Wi-Fi та VSAT. Більшість абонентів підключені за технологією Metro Ethernet. Прийомні і методи, що застосовуються при побудові Metro Ethernet мереж в суккупності забезпечують високу універсальність, швидкість, надійність, простоту масштабування, мультипротокольну конвергенцію та простоту надання усього спектру телекомуникаційних послуг на базі одної мережі. При цьому технологія ADSL поступово перестає бути домінуючою в розвитку мультисервісних мереж в Україні і мережі Інтернет зокрема. При проведенні дослідження вузьких місць при побудові МСМ для надання високоякісних телекомуникаційних послуг, в роботі пропонується проводити їх аналіз за технологічним та прикладним напрямках.

В процесі аналізу методів побудови МСМ встановлено, що сучасні методи побудови МСМ для надання усього спектру телекомуникаційних послуг будуються за ієрархічним принципом та базуються на використанні технологій локальних мереж, таких як Ethernet та протоколах міжмережевої взаємодії в пакетних мережах, а саме – протокол IP. В роботі сформульовані вимоги до переліку основних послуг, які повинні підтримувати МСМ. Визначено, що ефективність надання послуг доцільно оцінювати за такими факторами: технологічний, операційний, соціально-економічний та безпековий. Системний аналіз з узгодженням всіх чотирьох факторів дозволив отримати синергетичний ефект з одночасним підвищенням якості послуг.

В роботі запропонована п'ятирівнева ієрархічна модель МСМ для надання усього спектру телекомуникаційних послуг, яка може описувати мережу як загальнонаціонального масштабу, так і мережу окремого регіонального оператора/провайдера.

Аналіз факторів, що впливають на ефективність надання послуг МСМ дозволив розділити їх дві взаємопов'язані групи. До першої, групи віднесені фактори, пов'язані з функціонуванням термінального обладнання, особливостями застосовуваних кодеків, процесами пакетизації-денакетізації, ймовірносно-часовими характеристиками апаратно-програмних засобів площин послуг та

іншими факторами, не пов'язаними безпосередньо з процесами передачі кадрів через мультисервісні мережі. До другої групи чинників віднесено процеси передачі кадрів (пакетів) через всі рівні моделі мережової інфраструктури. При цьому чинники другої групи впливають на фактори першої групи і навпаки – фактори першої групи впливають на чинники другої групи. Як об'єкт дослідження вибрано, перш за все, фактори другої групи, що визначають характеристики якості функціонування мультисервісних мереж.

Для аналізу показників якості обслуговування і ймовірностночасових характеристик автором запропоновано застосовувати аналітичні і імітаційні методи математичного моделювання мереж доступу і інших, пов'язаних з ним рівнів ієрархії мультисервісної мережі. При розробці моделей МСМ застосовано метод декомпозиції, - розбиття завдання аналізу або синтезу складної мережі на підзадачі меншої складності і розмірності, що стосовно до об'єкта дослідження означає роздільне моделювання ієрархічних рівнів, виділених в структурно-функціональній моделі, а в ряді випадків - і роздільний аналіз фаз обслуговування трафіку в досліджуваних сегментах мультисервісних мереж.

В роботі уточнена і сформульована науково-прикладна проблема дослідження яка полягає у необхідності розробки методології, як об'єднання за метою сукупністю методів, методик, моделей та алгоритмів їх застосування задля побудови оптимальної мережової інфраструктури телекомуникаційних операторів на основі впровадження сучасних широкосмугових оптичних, проводових і гібридних технологій, орієтованих на побудову МСМ, що будуть забезпечувати значне підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг.

Новими в роботі є дослідження існуючих теоретичних основ розробки методології побудови МСМ з метою підвищення ефективності надання ними телекомуникаційних послуг. Для оптимізації МСМ з метою підвищення ефективності надання послуг створена концептуальна модель, яка базується на класичних потокових моделях. Її відмінністю є врахування двох критеріїв, які саме вартість реалізації плану оптимізації та величину максимальної пропускної здатності, що дозволило сформулювати бікритеріальну задачу оптимізації.

Сукупність Парето-оптимальних рішень такої задачі отримано за допомогою методів повного перебору, «гілок та границь», «імітації отжигу» та «еволюційно-генетичного».

В роботі досліджено метод статистичного моделювання для оцінки надійності системи зв'язку, коли на основі априорних даних відносно імовірності відмов каналів зв'язку і часу доставки повідомлення, необхідно виділити найменшу частину ресурсів мережі, яка забезпечила б доставку повідомлення від джерела до адресата за необхідний час із заданою надійністю. Запропоновано алгоритм, який дозволяє оцінити в цілому надійність функціонування складної МСМ, основні характеристики елементів якої задані і доцільно до використання при розробці і аналізі складних систем зв'язку.

Новою є розроблена узагальнена структурно-організаційна модель оцінки ефективності надання послуг в МСМ, яка складається з чотирьох площин або функціональних зон: зона контенту; магістральна зона IP транспорту; зона доступу; зона користувачів. Це дозволяє ввести поняття тяжіння та оцінити мінімальні достатні вимоги до пропускної здатності МСМ різних рівнів ієрархії. Автором встановлено, що завдання операторів/провайдерів будь-якого рівня максимально замкнути трафік якомога ближче до клієнта, тобто зменшити коефіцієнт тяжіння.

Новим сформований обрис методології підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в МСМ. В якості основного математичного апарату для розробки математичних моделей застосовано апарат теорії масового обслуговування. В якості основної базової моделі для аналізу вузлових характеристик МСМ і мереж доступу з наданням послуги «Triple Play» було використовано системи масового обслуговування з неоднорідним потоком заявок (три класи) і пріоритетним обслуговуванням з трьома класами відносних пріоритетів, а для мережевих моделей - лінійні розімкнуті мережі масового обслуговування. Для моделювання інтервалів в потоках пульсуючого трафіку в МСМ в роботі використовувалися розподіли Парето, Вейбулла-Гисденко, гиперекспоненційний та інші подібні розподіли. Для аналізу фрагментів

МСМ, які побудовані на базі стеків TCP/IP, та на які впливають потоки з розподілом інтервалів між надходженнями заявок, відмінні від пуссонієвських, запропоновано використовувати на ряду з аналітичними моделями на базі систем масового обслуговування класу G/G/1, імітаційні моделі на основі середовища типу GPSS World або інші.

Новою є запропонована методику інтегральної оцінки характеристик ефективності надання послуг МСМ, яка враховує показники доступності по площі зони покриття та по населенню; штотижневий показник проникнення мережі; мінімальні, середні і пікові значення швидкостей доступу до мультисервісних мереж, які формуються виходячи з потенційно досяжних і реально отриманих значень. Запропонована оцінка характеристик ефективності надання телекомуунікаційних послуг МСМ, яка характеризує ступінь наближення джерел телекомуунікаційних послуг до кінцевих споживачів, що, очевидно, приводить до підвищення показників якості, а саме середньої швидкості передачі, часу затримки, джитеру та коефіцієнту втрат. В роботі встановлено, що значення коефіцієнтів тяжіння не може перевищувати одиницю, тобто канали доступу в міжнародну ділянку МСМ не можуть перевищувати суму швидкості доступу кінцевих клієнтів. Показано, що зростом кількості користувачів МСМ характерна тенденція «наближення» джерел контенту і систем обробки даних з верхніх рівнів більше до зони доступу, тобто до споживачів контенту. При цьому сама зона контенту «розчиниться» в магістральній зоні IP транспорту; зоні доступу та зоні споживачів контенту, так як частина потоку трафіку може і повинна бути замкнена всередині локальної мережі користувача. Цей висновок є актуальним при впровадженні перспективної послуги ІoT («Інтернету речей»).

Новою є удоєконалена методика вимірювання параметрів якості телекомуунікаційних послуг в МСМ. А саме вперше запропонована розширенна схема вимірювання та наведено методику вимірювання параметрів якості обслуговування в залежності від архітектури конкретної МСМ, яка враховує вплив систем обмеження трафіку, які застосовуються у відповідності до тарифних планів. Адже існуючі методики вимірювання параметрів якості послуг в МСМ

регламентують тільки базові сценарій для доступу до Інтернет, де не розглядаються мережі Metro Ethernet, які в Україні розвиваються випереджаючими темпами. Також удосконалено методику розрахунку пасивних оптических сегментів МСМ. При цьому вперше розроблена математична модель пасивних оптических мереж складної структури, яка може бути використана як при впровадженні пасивних оптических мереж доступу, так і в мережах кабельного телебачення, де фізичні процеси у відгалужувачах та розгалужувачах дуже схожі. За рахунок використання аналітичного розв'язку задачі балансування на практиці стало можливим наблизитись до теоретичних значень, що закладені в технології PON. Новою є розроблена математична модель пасивних оптических мереж з топологією «чиста шина», для якої виведені рекурентні спiввiдношення. При розробці методики синтезу і оптимізації мереж з різними технологіями доступу встановлено, що при синтезі мереж доступу і інших, пов'язаних з нею рівнів МСМ, необхідно застосовувати методи теорії цілочисленої оптимізації з вибором в якості цільової функції технікоекономічного функціоналу приведених витрат і з використанням в якості обмежень показників якості обслуговування, ймовірнісно-часових характеристик і показників надійності розглянутих мережевих структур. В роботі визначено, що при розрахунках пропускної спроможності каналів допустима величина навантаження каналу визначається нормою на втрати пакетів і нормою на варіації затримки. Виходячи з норм на параметри якості послуг існуючих рекомендацій досліджено допустимий ступінь навантаження на міжузлові канали IP мережі, що працюють за політикою передавання Best Effort Delivery. Встановлено, що допустимий ступінь навантаження каналу залежить від пропускної спроможності каналу та обсягу передавального буфера на вузлі. При малих пропускних спроможностях допустимий ступінь визначається нормою на варіації затримки, а при великих, вине деякої граничної точки – нормою на втрати пакетів, при цьому положення граничної точки збільшується зі збільшенням обсягу буфера.

В роботі проведена верифікація методології в цілому та її складових. В ході верифікації проведені розрахунки параметрів ефективності надання

телекомуникаційних послуг в МСМ. В ході дослідження за допомогою розробленої Методології встановлено, що одержані результати підтверджують розв'язання науково-практичної проблеми та досягнення мети дисертаційного дослідження. Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що: 1. Використовуючи результати теоретичних досліджень та запропонованої удосконаленої методики вимірювання параметрів якості обслуговування сформульовано та обґрутовано практичні рекомендації по вимірюванню параметрів якості телекомуникаційних послуг в МСМ. Визначено, що ці рекомендації повинні враховувати умови забезнечення порівноважності та відтворюваності результатів вимірювань інваріантних до структури та технології різних МСМ. В роботі розроблено моделі мереж PON з топологією «шина з розгалуженнями» та «шина з відгалуженнями». На основі отриманих співвідношень та запропонованих алгоритмів в роботі здійснено синтез пасивних оптических мереж за критерієм технологічної ефективності для різних типових схем їх розгортання. Отримані залежності незбалансованості, максимальних сумарних втрат, максимально можливої кількості абонентських пристройів та технологічної ефективності від протяжності мережі. Встановлено, що технологічно досяжний метод дозволяє значно підвищити показник технологічної ефективності на 4,7 - 39% в залежності від схеми розгортання.

Для оптимізації рівня доступу для мереж Metro Ethernet за критерієм мінімуму приведених витрат запропоновано наближення точки підключення до клієнта якомога близче без зміни технології останнього кроку. Для цього були визначені декілька способів наближення точки підключення та розроблена методику розрахунку техніко-економічних показників. Встановлено: а) в більшості випадків всі запропоновані і практично реалізовані способи дають економію від 6% до 16% за загальними витратами і від 9% до 31% за капітальними витратами; б) в ряді випадків, запропоновані способи дають негативне значення економії, що підтверджує необхідність раціонального підходу до вибору конкретного способу в конкретних умовах; в) порівняння приведених витрат показує, що у всіх випадках всі запропоновані і практичні способи дають

економію від 27% до 41% за загальними приведеними витратами і від 77% до 82% по капітальним приведеним витратам.

В роботі здійснено класифікацію телекомуунікаційних мереж і класів обладнання, яке підтримує технологію PLC. Проаналізовано та розроблено сценарії організації зв'язку з використанням технології BPL в Metro Ethernet мережах доступу. Розрахунки підтвердили, що найбільш економічним є схема «Заміна ДРС». Однак навіть в цьому випадку, вартість одного «стандартного сервіс включення» вине стандартного рішення з прокладанням кабелів п'ятої категорії. При порівнянні стандартних підключень з нестандартними слід враховувати повні витрати володіння в тому числі витрати на організацію міжповерхових слабкострумових стояків і телефонної каналізації, вартість яких висока і не завжди можлива. У таких ситуаціях BPL стає економічно обґрунтованим рішенням, а іноді і єдиним. Паралельне розгортання BPL мереж доступу і NPL-AMR мереж дозволяє отримати ще більш економічно вигідне рішення від синергії зусиль операторів телекомуунікацій та енергопостачальних компаній.

В роботі розвинуто категорійний та понятійний апарат, який узагальнює отримані науково-практичні результати та надає загального розуміння поняттям, що використовуються в галузі надання високоякісних телекомуунікаційних послуг в МСМ. При цьому адекватність категорій та понятійного апарату підтверджено ходом досліджень та в ході проведення науково-дослідних та науково-практичних робіт пов'язаних з узгодженням національного законодавства в галузі телекомуунікацій, узгодженням та імплементацією норм ЄС в Україні. Автором запропоновано рекомендації щодо розвитку нормативної бази в сфері телекомуунікаційних послуг в мультисервісних мережах, а саме методика вимірювання параметрів якості послуг для застосування Українським державним центром радіочастот, в сферу відповідальності якого входить створення нормативно правових актів, в тому числі, для проведення вимірювання якості послуг доступу до Інтернет, що надають оператори, провайдери телекомуунікацій (ОПТ)).

В роботі сформульовані основні принципи побудови мереж передачі даних для надання VPN і Інтернет послуг та описано архітектуру, параметри і властивості таких мереж. Автором запропоновано структуру мережі та ієрархію вузлів і обладнання, для якої докладно описано схему організації послуги доступу до мережі Інтернет в умовах автоматичного конфігурування та ідентифікації абонентського обладнання. Встановлено, що мережі передачі даних, що надають послуги високошвидкісного доступу до мережі Інтернет та послуги по створенню приватних віртуальних мереж можуть будуватися на основі концепції Metro Ethernet. Дворівневий принцип побудови дозволяє використовувати мінімальну номенклатуру мережевих пристрій при забезпеченні високої надійності. Запропоновано рішення, що дозволяє автоматично конфігурувати та ідентифікувати абонентське обладнання, яке мінімізує можливі шахрайські дії та підвищує продуктивність праці обслуговуючого персоналу. Автором показано точки мережі, де можуть бути застосовані обмеження швидкості доступу до різних сегментів мережі Інтернет, тобто управління профілями користувачів у відповідності до політики та вимог тарифних планів.

Також у роботі наведена класифікація Ethernet мереж та встановлена істотна відмінність Ethernet мереж масштабом з велике місто (Metro Ethernet) від Ethernet мереж операторського класу (Carrier Ethernet). Визначено вимоги до опису послуг і інтерфейсів Carrier Metro Ethernet мереж. Показані технології та способи побудови мультисервісних мереж на базі Carrier Metro Ethernet, а також способи і механізми підтримки різних класів обслуговування, розширення адресного простору VLAN, інкапсуляції Q-in-Q і MAC-in-MAC для ізоляції трафіку і підвищення мережової безпеки. В роботі встановлено, що:

- а) мультисервісні мережі передачі даних операторського класу можуть будуватися на основі концепції Metro Ethernet з розширенням до рівня Carrier Metro Ethernet;
- б) Ethernet-кадри в мережах Carrier Metro Ethernet можуть передаватися через різні транспортні середовища (не обов'язково Ethernet), інкапсулюючись в

«локальні» транспортні пакети, але якість їх передачі повинна відповідати заявленим;

в) опис мереж Carrier Metro Ethernet можливий на базі моделі Ethernet-послуг. Послуги описуються набором атрибутів, кожен з яких, в свою чергу, характеризується набором параметрів, які можна визначити чисельно. Це дозволяє сформулювати набір вимог до каналу передачі даних, в формі, не залежною як від конкретного сервісу, так і від транспортного середовища, в якому організований канал її передачі;

г) За допомогою комбінування існуючих технологій можлива побудова надійних, масштабованих, захищених Ethernet мереж операторського класу з параметрами якості обслуговування спів розмірними з мережами комутації каналів.

В роботі на основі аналізу різних технологій транспортних мереж, які здатні забезпечити необхідну швидкість передачі, задані параметри якості обслуговування, надійність і керованість операторського класу представлена перспективна схема одної загальнонаціональної IP/MPLS мережі, яка відіграє важливу роль в об'єднанні провідних і бездротових мереж, включаючи мобільні мережі як 2G / 2,5G / 3G / 4G, так і 5G. Обґрутовано, що трафік даних, голосовий трафік, трафік сигналізації, моніторингу, управління і мультимедійний трафік на основі протоколу IP (IMS - IP Multimedia Subsystem) може бути транспортувані за допомогою уніфікованої одної «загальнонаціональної IP-MPLS мережі». Традиційний TDM трафік мереж 2G / 2,5G при цьому може передаватися з використанням таких механізмів як неструктурата передача TDM-графіку в пакетних мережах (SAToP - Structure-Agnostic TDM over Packet) або емуляція виділених каналів в мережах з комутацією пакетів (CESoPSN - Circuit Emulation Service over Packet Switched Network) за загальнонаціональною IP-MPLS мережі, якщо BSCs і BTSs розташовані в різних містах.

Вважаю, що майбутнє транспортних мереж на базі технології Ethernet є перспективним. В даний час найвища швидкість Ethernet вже досягла 100 Гбіт/с, що є цілком достатнім для поколінь мобільних мереж 4G і 5G. Крім того, вже

сьогодні, до того як лінії 40G/100G широко стануть застосовуватися операторами зв'язку, почалися роботи по стандартизації наступного більш високовідидкісного інтерфейсу зі швидкістю 400 Гбіт/с. Це підтверджує, що транспортні мережі на базі технології Ethernet будуть найбільш ефективним способом організації транспортних мереж, забезпечуючи швидкості в сотні мегабіт в секунду, що є основним для підвищення рівня задоволеності клієнтів якістю послуг, що надаються.

Новизна одержаних в дисертаційній роботі результатів визначається наступним.

В дисертаційній роботі розроблено методологію яка може бути застосована на стадіях проектування і експлуатації для підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах на базі технологій пакетних мереж і отримано наступні нові наукові результати, а саме:

ВПЕРІЙНЕ:

- запропоновано методику інтегральної оцінки характеристик ефективності надання послуг мультисервісними мережами, яка враховує показники доступності; питомий показник проникнення мережі; мінімальні, середні і пікові значення швидкостей доступу до мереж;
- розроблено метод оцінки ефективності телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах, який дозволяє здійснювати синтез і оптимізацію мереж з різними технологіями доступу;
- запропоновано способи побудови будинкових розподільчих сегментів мультисервісних мереж, які основані на технологіях структурованих кабельних систем, та методику вибору оптимальної конфігурації мережі;
- запропоновано способи побудови будинкових розподільчих сегментів мультисервісних мереж, які основані на технологіях будинкових ліній електропередачи.

НАБУЛИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ:

- узагальнена модель мультисервісної мережі для надання телекомунікаційних послуг на базі технологій пакетних мереж, яка на відміну від існуючих враховує рівень сервісутворюючих систем.

- методика вимірювання параметрів якості телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах, яка на відміну від ісуючих дозволяє вимірювати параметри мереж доступу, внутрішньомережевого та міжмережевого рівнів.

- методика побудови пасивних оптических мереж, а саме на базі розробленої моделі пасивних оптических сплітерів вперше розроблено аналітичний метод балансування пасивних оптических мереж.

- методика оцінки надійності функціонування мультисервісних мереж, яка на відміну від ісуючих враховує умови виділення найменшої частини ресурсів мережі для доставки повідомлень за необхідний час із заданою надійністю.

- концепція побудови транспортних мереж та мереж доступу на базі ліній електропередач середньої та низької напруги, яка на відміну від ісуючих передбачає спільне застосування низько та високовивідкісних технологій.

Таким чином, за сучасністю одержаних автором науково-практических результатів розроблено методологію підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах, яка забезпечує зменшення витрат на побудову інфраструктури мереж та обслуговування абонентів з одночасним підвищением якості надання телекомунікаційних послуг.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам. Це підтверджується проведеними дослідженнями та практиками в галузі застосування

інформаційних технологій для задач телекомунікацій таких вчених, як Менаске Д., Алмейда В., Вегешна ІІ., Седжвік Р., О'Лірі Д., Меттелец Д.В., Мадсен Л., Джаред С., Камер Д., Вентцель Е.С., Оліфер В.Г., Оліфер Н.А., Овчаров Л.А., Стратонович Р.Л., Капітонова Ю.В., Лєтичевський А.А., Конахович Г.Ф., Чуприн В.М., Кучерявий Е.А, Калянов Г.Н., Гайфуллин Б.Н., Обухов И.А., Балахонова И.В., Волчков С.А., Каштуров В.А., Вишневський В.В., Соловйов М.С., Ложковський А.Г. та інших.

Одним з найбільш важливих сучасних напрямів розвитку інформаційних технологій є застосування нечіткої логіки при розробці систем автоматизованої обробки інформації та управління. Перевагами використання нечіткої логіки є спрощення моделювання складних систем, створення гнучких алгоритмів підтримки прийняття рішень на основі зрозумілих людині наборів правил, можливість обробки неточної та неповної інформації. Розробці теоретичних основ нечіткої логіки, методології моделювання і вирішення практичних задач управління складними системами присвячені праці таких вітчизняних та зарубіжних вчених, як Л. Заде, Е. Мамдані, М. Сугено, А. Кофмана, Р. Ягера, Аверкіна О.М., Батиршина І.З., Алієва Р.А., Борисова О.М., Поспелова Д.О., Леоненкова О.В.. Козелкова С.В., Манкова О.А., Круглова В.В., Ротнітейна О.П., Штовби С.Д. та ін.

Відомо, що розробка та впровадження нових послуг телекомунікаційних мереж були пов'язані з пізкою проблем, що виражалися саме у необхідності підвищення показників якості управління та моніторингу станів телекомунікаційних мереж.

В працях Столяревської А. Л. розглянуто інтелектуальні системи. Розглянуто теоретичні, методичні, програмні засоби, що використовуються в різноманітних галузях штучного інтелекту, зокрема, автоматичний доказ теорем, обробка природної мови, логічне програмування, алгоритми пошуку розв'язання у просторі станів, ігри, експертні системи. Проблематиці побудови телекомунікаційних систем та мереж присвячено ряд наукових досліджень видатних вчених, а саме Л.Н. Беркман, Г.П. Башаріна, В.І. Неймана, С.І.

Самойленко, В.М. Виннивського, А.Н. Дудіна, О.І. Шелухіна, Г.П. Захарова, О.С. Чугресва, Г.Г. Яновського, Б.С. Гольдштейна, А.С. Кучерявого, С.А. Кучерявого, Т.І. Алієва, Н.А. Соколова, L. Kleinrock, W. Bux, W. Leland, M. Taggi, I. Norrosta інших.

Інфраструктура для систем мобільного зв'язку була спочатку призначена для комутації каналів голосового трафіку, а передача даних з самого початку не підтримувалася в цих мережах. Але послуги сьогодні все більше орієнтовані на дані і навіть голос транспортується по мережах передачі даних. Мобільні додатки сьогодні виставляють жорсткі вимоги до параметрів якості послуг QoS (Quality Of Service) і підтримки угод про рівень підтримки послуг SLA (Service Level Aggrement). Належні SLA забезпечують гарантовану швидкість передачі, пізньку затримку для послуг реального часу, таких як VoIP, відео за запитом та додатків, які вимагають великої пропускної здатності, при цьому рівень надійності повинен бути на рівні «п'яти дев'яток». Мобільний мережі зіткнулися з проблемою еволюції і переходу на служби, орієнтовані на передачу даних, здатних надавати всі послуги, такі як передача голосу, даних, відео та інших додаткових послуг, типу мобільного телебачення, ігрових Інтернет-додатків, відео за запитом (VoD) та музики на вимогу (MoD) на основі одної транспортної мережі для економії витрат. Щоб інтегрувати всі ці послуги необхідна економічно ефективна технологія транзитної передачі. Вибір, який існує на даний момент, це мережі TDM і ATM, які не є економічно ефективними, але в змозі обслуговувати трафік з низькою швидкістю передачі, який, в деякій мірі, поки ще задоволяє клієнта. Давайте з'ясуємо, чому TDM і ATM транспортні мережі перестануть бути популярними в довгостроковій перспективі і те, яка альтернативна технологія є більш ефективною. Існуючі мобільні мережі, такі як 2G/2,5G розгортали мережі з часовим поділом каналів (TDM мережі) в якості транспортних з міркувань надійності, але це не є економічно ефективним, коли необхідно забезпечити передачу даних з високою швидкістю, відео та інших послуг з доданою вартістю. Бездротові провайдери вже зараз визнають необхідність підтримки функціональності

операторського класу, в транспортних мережах (наприклад, QoS, масштабованість, ефективна система адміністративного управління (ОАМ - Operations, Administration and Management) і т.д.) не забуваючи про вартісні характеристики, і тому вони спочатку вибрали технологію ATM для транспортних мереж. Проте, мережі ATM страждають від занадто великої кількості ручної роботи, і вони не пропонують масштабованого рішення, здатного підтримувати обсяги пропускної здатності, що генеруються 3,5G (HSPA+), 4G (LTE / WiMAX / Wi-Fi) і, тим більше 5G, мережами. Для того, щоб розвиватися в напрямку All-IP мереж, необхідно знайти ефективний спосіб побудови транспортної мережі операторського класу. При цьому, мережа повинна підтримувати надійність на рівні «п'яти дев'яток». Яка технологія може стати правильним кандидатом? Виявляється, що Ethernet є самим правильним вибором. Покажемо, чому Ethernet є найбільш підходящим рішенням для організації транспортування мобільного трафіку в мережах 4G і 5G. Ethernet є переважаючою технологією, яка використовується в корпоративних локальних обчислювальних мережах (ЛІМ). Вона проста в установці і обслуговуванні. Ethernet довела свою ефективність і з недорогою технологією для передачі даних. Але в своєму нинішньому вигляді вона не підходить для мобільного транспорту, який вимагає суворої підтримки QoS і можливостей ОАМ. Технологія Ethernet операторського класу (Carrier Ethernet), стандартизована MEF 22 (Metro Ethernet Forum версія 22) [203], визначає різні сервіси локальних мереж такі, як E-Line (Ethernet Virtual Circuit: віртуальна виділена лінія з топологією точка-точка), E-LAN (Ethernet LAN: віртуальна виділена ЛВС з топологією багатоточка-багатоточка) і E-TREE (Ethenet Tree: віртуальне виділене дерево з топологією точка-багатоточка), що робить звичайний Ethernet надзвичайно надійним, добре випробуваним і перевіреним рішенням з функціями Ethernet ОАМ, управління з'єднаннями і відмовами, порівнянними з можливостями TDM, SDH/SONET в світі технологій операторського класу. Розглянемо найбільш широко використовувані способи розгортання транспортних Ethernet мереж. Для

віддалених вузлів NodeBs/eNodeBs, де проводовий або оптичний доступ не представляється можливим, можна використовувати мікрохвильовий пакетний радіодоступ в якості транспортної мережі. Множинний VLAN трафік (Multiple VLAN - Multiple Virtual Local Area Network) від вузлів NodeB/eNodeBs доставляється на основі пакетної комутації мікрохвильовими системами, які можуть здійснювати швидкості передачі порядку 180-220 Мбіт/с. До 6 вузлів NodeB з гарантованою швидкістю передачі (CIR - Committed Information Rate) 30 Мбіт/с або 2 eNodeBs можуть бути об'єднані за допомогою одного мікрохвильового пакетного радіодоступу на рівні посередньої агрегації трафіку. У густонаселених територіях (як правило містах) пакетний радіодоступ вже не є хорошим вибором через вимоги забезпечення прямої видимості (LoS - Line of Sig). Висотні будівлі блокують або спотворюють СВЧ сигнали. Таким чином, у великих містах висока продуктивність, економічна ефективність, висока якість передачі може бути забезпечено при використанні технологій пасивних оптических мереж (xPON). Системи xPON засновані на топології точка-на-точку і використовує оптичне лінійне закінчення OLT (Optical Line Terminal) в «корені» xPON-дерева і оптичні мережні закінчення ONU (Optical Network Units) в «листі». Вузли NodeBs підключаються до ONU, через комутатори Ethernet. Агрегований трафік в напрямку до/від усіх вузлів NodeBs обробляється з високою швидкістю в вихідному напрямку від 1 Гбіт/с (GbE - Gigabit Ethernet) до 10 Гбіт/с в залежності від трафіку, що генерується вузлами NodeBs. OLT додатково може забезпечувати резервування за допомогою організації двох вихідних оптичних з'єднань, прокладених по різним фізичним трасах. Система xPON розгортається на базі розгалуження одного оптичного волокна з використанням пасивних оптических спілтерів (PSCs - Passive Optical Splitters). Трафік в напрямку вузлів NodeBs передається в широкомовному режимі, а вихідний трафік використовує мультиплексування з часовим поділом каналів (TDMA). У стандарті ITU-T G.984.6 [204] визначено пропускна здатність системи GPON 2,488 Гбіт/с для низхідного напрямку і 1,244 Гбіт/с для вихідного. Система GPON в

загальному випадку може забезпечити дальність зв'язку до 20 км або до 60 км з використанням спеціальних систем дальньої дії. GPON є економічно ефективною технологією з розгалуженою вбудованою системою ОАМ і механізмами забезпечення QoS. GPON також підтримує VLAN для передачі різних потоків трафіку з різним рівнем QoS для кожного з них. Нові мережі xPON такі як NG-PON і 10G-PON можуть підтримувати швидкості до 10 Гбіт/с і вище, використовуючи технології ущільнення по довжині хвилі (WDM). Вузли NodeBs, які розташовуються за межами дальності зв'язку згаданих вище технологій, можуть використовувати схему передачі Ethernet пакетів в складі SDH потоків (Ethernet over SDH) на ділянці непереднього агрегування транзитних з'єднань. При цьому кадри Ethernet прозоро переносяться системами SDH/DWDM і доставляються до точки агрегації (Aggregation) Metro Ethernet мережі. Metro Ethernet грає найважливішу роль в зменшенні затримки, підвищенні надійності мережі і забезпечує захист, відмовостійкість і високу доступність у порівнянні з традиційними системами передачі на основі SDH/WDM. Metro Ethernet є частиною однорідної IP орієтованою мережею і пропонує сервіси другого і третього рівня моделі ВОС (Layer 2 або Layer 3 Services) за допомогою функцій L2VPN/L3VPN технології MPLS з багатими можливостями ОАМ. Резервування за схемою 1+1 забезпечується на рівні агрегації (Aggregation Stage) шляхом передачі транзитних потоків типу EoSDH або xPON в висхідному напрямку через два граничних маршрутизатора (PEs - Provider Edge Routers) Metro Ethernet мережі. Розглянемо особливості застосування технологій Metro Ethernet в мобільних мережах 2G/2,5G перших версій, а також в All-IP мережах 2G/2,5G/3G/4G/5G останніх версій.

В дисертаційній роботі автором визначені мета роботи і завдання досліджень, - підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультирівневих мережах на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет). Для досягнення мети в роботі вирішено наступні наукові завдання:

- досліджено умови та фактори, що впливають на побудову та надання телекомунікаційних послуг мультирівневими мережами;

- здійснено аналіз існуючих наукових підходів до підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах;
- розроблено загальний принципи надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет);
- розроблено узагальнену структурно-організаційну модель мультисервісної мережі для надання телекомунікаційних послуг на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет);
- розроблено методику інтегральної оцінки характеристик ефективності надання послуг мультисервісними мережами;
- удосконалено методику вимірювання параметрів ефективності телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах;
- розроблено методику розрахунку та побудови насивних оптических сегментів мультисервісних мереж;
- розроблено метод оцінки ефективності телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах;
- проведено верифікацію методології підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах України на прикладі київської філії ПАТ Укртелеком;
- розроблено Концепцію побудови мультисервісних мереж в Україні.

Усі вище визначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими підходами.

Практична значимість та важливість для галузі полягає в створенні теоретико-прикладних основ підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах.

Практичне значення одержаних у дисертації результатів полягає в удосконаленні:

- моделі мультисервісної мережі для надання телекомунікаційних послуг на базі технологій пакетних мереж;

- методики вимірювання параметрів якості телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах, а також розробі:
- нових способів побудови будинкових розподільчих сегментів мультисервісних мереж, які основані на застосуванні гібридних способів використання технологій розподільчих телефонних мереж, структурованих кабельних систем та будинкових ліній електропередач;
- методики балансування пасивних оптических мереж, які можуть використовуватись як в мультисервісних мережах, так і в мережах кабельного телебачення, що дозволило:
- оцінити мінімально необхідну достатню швидкість передачі каналів мультисервісних мереж на різних рівнях ієрархії та встановити факт, що ефективність використання мультисервісних мереж залежить від параметрів внутрішньомережевого тяготіння, та може заощадити до 46% ресурсів зовнішньомережевого трафіку за рахунок введення системи розподілу контенту;
- вимірювати крім параметрів мереж доступу, ще й параметри внутрішньомережевого та міжмережевого рівнів з більшою точністю;
- створювати більш ефективні мережі доступу в залежності від наявної телекомунікаційної інфраструктури, з економічним ефектом в розмірі до 10% по капітальним витратам та до 5% по загальних витратах;
- за рахунок використання аналітичного розв'язку задачі балансування на практиці стало можливим до 25% збільшити рівень автоматизації проектування, та зменшити до 10dB динамічний діапазон систем автоматичного регулювання рівня.
- сформулювати концепцію побудови транспортних мереж і мереж доступу на базі ліній електропередач середньої та низької напруги із значною економічною доцільністю;
- створити рекомендації до концепції побудови уніфікованої одної транспортної мережі і мережі ядра для систем і мереж 2G, 2,5G, 3G, 4G та 5G на базі технологій Metro Ethernet операторського класу та IP/MPLS для передачі як синхронного, так і асинхронного трафіку, що дозволяють отримати максимально

простий перехід та міграцію від мереж з комутацією каналів до мереж з комутацією пакетів.

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено у Національній комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації; Українському інституті із проектування і розвитку інформаційно-комунікаційної інфраструктури «Дінрозв'язок»; національному операторі «Укртелеком», Державному університеті телекомунікацій Міністерства освіти і науки України; системному інтеграторі ПрАТ «РОКС», що підтверджується відповідними Актами.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи реалізовані в рамках виконання науково-дослідних робіт «Розробка ефективних способів організації будинкових розподільчих мереж доступу з використанням багатопарних кабелів п'ятої категорії» (регистр. номер 0116U006280), «Дослідження ефективності передачі інформації в системі управління інфокомунікаційною мережею» (регистр. номер 0114U000397) та «Розробка методики з виконання вимірювання параметрів якості послуг передачі даних та доступу до Інтернет» (регистр. номер 0114U004180).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

За структурою дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, а також додатків. Загальний обсяг роботи становить 421 сторінок друкованого тексту, із них 10 сторінок вступу, 257 сторінок основного тексту, 49 рисунків, 30 таблиць, список використаних джерел зі 216 найменувань, 3 додатки на 105 сторінках.

У *вступі* обґрунтовано напрям дисертаційних досліджень, актуальність теми роботи, сформульовано наукову проблему, мету та завдання досліджень. Докладно подано відомості щодо наукового та практичного значення виконаних автором досліджень, а також відомості про апробацію, впровадження результатів дисертаційної роботи, їх опублікування.

У першому розділі дисертації досліджені умови та фактори, що впливають на побудову та надання телекомунікаційних послуг мультисервісним мережами. Проведено аналіз стану надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах в провідних країнах світу та в Україні, аналіз перспективних технологій надання телекомунікаційних послуг мультисервісними мережами, аналіз методів побудови мультисервісних мереж для надання телекомунікаційних послуг, аналіз факторів, що впливають на ефективність надання послуг мультисервісними мережами та запропоновано модель мультисервісної мережі для надання всього спектру телекомунікаційних послуг. Це дозволило уточнити і сформулювати науково-прикладну проблему дослідження, яка полягає у необхідності розробки Методології, як об'єднання за метою сукупністю методів, методик, моделей та алгоритмів їх застосування задля побудови оптимальної мережової інфраструктури телекомунікаційних операторів на основі впровадження сучасних широкосмугових оптичних, проводових і гібридних технологій, орієтованих на побудову мультисервісних мереж, що будуть забезпечувати значне підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг.

У другому розділі дисертаційної роботи основна увага приділяється розробці теоретичних основ та побудови мультисервісних мереж. Розглянуті теоретичні підходи до оцінки ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах, досліджено метод статистичного моделювання для оцінки надійності системи зв'язку, розроблено узагальнену структурно-організаційну модель оцінки ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах та сформульовано обрис Методології підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах.

Третій розділ присвячено розробці методології підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах, яка включає методику інтегральної оцінки характеристик ефективності надання послуг мультисервісними мережами, методику вимірювання параметрів якості

телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах, методики розрахунку пасивних оптических сегментів мультисервісних мереж, методики синтезу і оптимізації мереж з різними технологіями доступу, способи забезпечення параметрів якості надання послуги інтерактивного мультимедіа зв'язку.

Четвертий розділ дисертації присвячено верифікації методології підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах, яка включає вимірювання параметрів якості телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах, методи побудови пасивних оптических мереж за топологіями «шина з розгалуженням» та «шина з відгалуженням», синтез пасивних оптических мереж за критерієм технологічної ефективності, оптимізацію рівня доступу для мереж Metro Ethernet за критерієм мінімуму приведених витрат, прийомів і способів застосування технологій ВРЛ в Metro Ethernet мережах доступу.

У *п'ятому розділі* роботи проведена розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах. Зокрема розвинуто понятійний апарат телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах, розроблені рекомендації щодо розвитку нормативної бази з сфері телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах, сформульовані принципи побудови мереж передачі даних для надання VPN і Інтернет послуг, розвинена концепція Metro Ethernet, запропоновано схему побудови загальнонаціональної мультисервісної мережі для ефективного підвищення якості послуг в мережах мобільного зв'язку.

У *висновках* надано загальну характеристику результатів, отриманих у результаті виконання дисертаційної роботи, числові оцінки ефективності застосування запропонованих методологій та рішень.

У *додатах* до дисертаційної роботи представлено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, розрахунок техніко-економічних показників будинкових розподільчих мереж MetroEthernet а також список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про затвердження результатів дисертації.

В роботі розроблено методологія, що дозволяє підвищити ефективність надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та, у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у ветуві. В цілому, дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження новиноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації в 40 наукових працях, серед них 24 статті у наукових фахових виданнях, з яких 4 у фахових виданнях віднесені до наукометричних баз даних, 15 публікацій у матеріалах дооповідей науково-технічних конференцій у період 2012-2018 р.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає змісту і відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступне.

1. У якості мети дослідень автором визначено підвищення ефективності надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах на базі технологій мереж передачі даних (Інтернет). Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких взаємопов'язаних науково-технічних завдань: зменшення середнього часу затримки передачі пакетів/кадрів або середньої затримки (IPTD), варіація (джитер) затримки передачі пакетів/кадрів (IPDV), зменшення коефіцієнту втрат пакетів (ймовірність втрати кадру) (IPLR) для визначення показників якості обслуговування та синтезу оптимальних структур побудови мультисервісних мереж як в цілому, так і окремих її сегментів чи рівнів. Однак математичної формалізації постановки наукової проблеми в роботі не зроблено, а надана структурно-логічна схема досліджень, рис. 1.4, стор. 86.

2. В підрозділі 2.1 розглядається бікретеріальна задача оптимізації (с.93) надання телекомунікаційних послуг для знаходження множини Парето-оптимальних рішень, відмічено що ця задача відноситься до класу НР-складних, однак відсутня оцінка обчислювальної складності рішення такої задачі.

3. У підрозділі (стор. 95) «2.2. Дослідження методу статистичного моделювання для оцінки надійності системи зв'язку» автор розглядає «надійність системи зв'язку». Вважаю, що коректніше було вести мову про не надійність, а про функціональну стійкість. Це більш відповідає змісту проведених досліджень.

4. Ефективність надання телекомунікаційних послуг напряму залежить від надійності функціонування всіх сегментів мультисервісної мережі, проте в роботі здійснена оцінка показників надійності тільки для ядра мережі (95-102).

5. В роботі отримані чисельні характеристики показників якості в результаті аналітичного моделювання (с. 111), проте не показано при яких припущеннях про характер потоків трафіку та дисципліни обслуговування кадрів у вузлі спостереження такі показники отримані.

6. При синтезу пасивних оптических мереж за критерієм технологічної ефективності (стор. 209) розглядається мережа «чиста лінія» для кроку 40 метрів. При цьому бажано було визначити як впливає територіальна відстань між елементами мережі на сумарні втрати в оптических патчкордах та оптических волокнах.

7. Пріоритет практичних рішень бажано було підтвердити авторськими свідоцтвами на винаходи, або патентами на винахід (корисну модель).

8. В роботі присутні окремі стилістичні помилки, а також не науково загальновизнана фразеологія, наприклад: «міркуючи аналогічно», стор 109; «обрис методології», стор. 111; «завдання теоретиків і інженерів», стор. 135; «точний метод», стор. 187; «політика тарифічних планів», стор. 268.

Зauważення щодо структурування роботи:

- на мій погляд, підрозділ 1.2, (стор. 44-62), який присвячено аналізу технологій доступу до мультисервісних мереж, носить деяко перебільшений оглядовий характер і міг би бути скороченим;
- матеріал (стор. 235) підрозділу «5.1. Розвиток понятійного апарату телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах» бажано було викласти не у 5 , а у першому розділі. Цей матеріал стосується викладанню відповідних Законів, ДСТУ, ГОСТів, а також додаткових визначень та позначень;
- мас місце зайве викладання відомого наукового матеріалу, наприклад:
- опис простіногого потоку заявок, стор. 113-118;
- моделі систем масового обслуговування, стор. 118-128;
- підрозділ «4.2.6. Існуючий інженерний метод побудови пасивної оптичної мережі», стор.208;
- підрозділ «5.2.5.Загальі правила проведення вимірювання», стор. 258.

Вказані недоліки не знижують науковий рівень дисертації «Методологія підвищення ефективності надання телекомуникаційних послуг в мультисервісних мережах», та, на мою думку, не впливають на позитивне враження від дисертації, як кваліфікаційну роботу, в цілому, завершенні якої не викликає сумніву. Робота містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, особистий внесок здобувача в науку.

Висновок.

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які в суккупності є вирішенням сформульованої вище науково-технічної проблеми, та відповідає вимогам п. 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів» до докторських дисертацій, а здобувач *Неданківський Олексій Леонідович* заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомуникаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

проректор з наукової роботи

доктор технічних наук, професор,

Заслужений діяч науки і техніки України,



О.А. Манков

Aleksandr Mankov

8 жовтня 2018 р.