

УДК 621.395.74

*О. А. Герцій, к.т.н, доцент  
(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

*У роботі розглядаються методи забезпечення якості зв'язку в телекомунікаційних мережах. Досліджено моделі функціонування мережі та проведено оцінку параметрів її роботи для різної величини абонентського навантаження. Розроблено алгоритм розрахунку часу затримки передачі пакетів мережею при використанні механізмів забезпечення якості послуг інтегрального і диференціального обслуговування та проведено порівняння ефективності їх використання.*

*Ключові слова:* мультисервісна мережа, якість обслуговування, модель інтегрованого обслуговування, модель диференційованого обслуговування.

*В работе рассматриваются методы обеспечения качества связи в телекоммуникационных сетях. Исследованы модели функционирования сети и приводится оценка параметров ее работы для разных значений абонентской нагрузки. Разработан алгоритм расчета времени задержки передачи пакетов в сети при использовании механизмов обеспечения качества услуг интегрального и дифференциального обслуживания и проведено сравнение эффективности их использования.*

*Ключевые слова:* мультисервисная сеть, качество обслуживания, модель интегрального обслуживания, модель дифференциального обслуживания

**Постановка проблеми.** Основою розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є принципова зміна характеру і структури абонентського трафіку. Це пов'язано зі стрімким зростанням кількості нових інформаційних додатків та зміною співвідношення між вже існуючими і новими мережевими послугами. При цьому вимагається забезпечення високоякісної передачі, розподілу, зберігання та перетворення різномірної інформації, високого ступеню гнучкості її розвитку, можливості управління користувачами, об'єднанню та розділенню ресурсів.

В зв'язку з цим відбувається зближення окремих мереж: телефонної мережі загального користування, мережі рухомого зв'язку та мережі документального електрозв'язку. Такий процес об'єднання називають конвергенцією. Як наслідок, раніше ізольовані локальні мережі об'єднуються в глобальні, що відкриває перспективи побудови універсальної мультисервісної мережі [1,2]. Результатом процесу конвергенції стане практично повне об'єднання мереж і утворення мультисервісної мережі наступного покоління.

Але інформаційні потоки телекомунікаційних мереж сильно розрізняються за своїм складом і вимогами, внаслідок зростання кількості нових мережеских додатків, а також зміною співвідношення між вже існуючими і новими мережевими послугами. Це вимагає проведення детального аналізу структури та майбутніх функцій самої

© Герцій О. А., 2016

мережі при її проектуванні чи модернізації в напрямку мультисервісності, а поява нових властивостей мережевого трафіку та необхідність забезпечення високої якості обслуговування різних категорій додатків, роблять необхідним розробку сучасних механізмів забезпечення якості роботи таких мереж.

**Метою роботи** є дослідження моделей функціонування мультисервісних мереж і розробка алгоритму для оцінки параметрів її роботи при використанні механізмів забезпечення якості інтегрального і диференціального обслуговування.

**Виклад основного матеріалу.** Метою теоретичних досліджень, направлених на створення методик планування мультисервісних мереж зв'язку, являється визначення функціональних залежностей між об'ємами трафіку, показниками якості обслуговування та структурними параметрами мережі, що в кінцевому результаті можуть бути використані для визначення вартості того чи іншого рішення. Головною проблемою тут являється оцінка показників якості обслуговування (Quality of Service – QoS), адже поняття якості носить комплексний характер і включає різні аспекти доставки інформації по мережі. Таким чином, розробка комплексу методів, щоб охоплював аналіз якості роботи та оптимізацію проектних рішень при проектуванні мультисервісних мереж, є актуальним завданням [3].

При цьому необхідно враховувати складність такого завдання, що виражається багатогранністю самої мережі, що, у свою чергу, обумовлює складність виведення коректного рішення задачі оптимальної організації мультисервісної мережі. Тому із всіх можливих характеристик необхідно виділити декілька основних інтегральних показників, що глобально оцінюють якість обслуговування і можуть бути використані для оцінки необхідного ресурсу мережі.

Вибір таких характеристик необхідно проводити на основі комплексного аналізу складових, що визначають та впливають на процес роботи мережі. Тому, користуючись даним підходом, на основі аналізу поставленого питання, можна виділити два основних аспекти, що пов'язані з забезпеченням якості, а саме: конструктивні особливості мережі та особливості організації (управління) роботою мережі.

Конструктивні аспекти визначаються вибором топології мережі, використовуваних технологій транспортної мережі та мережі доступу, технічних характеристик обладнання та ін., що у свою чергу, залежать від загального абонентського навантаження, підтримки відповідних сервісів, необхідної швидкості передачі, безвідмовності роботи того чи іншого обладнання. Всі ці фактори враховуються на початкових етапах проектування мережі з врахуванням на найближчу перспективу. Під час експлуатації мережі їх вплив на якість обслуговування в середньому залишається незмінним. Як наслідок вирішення цих завдань відносять до питань проектування мережі і як механізми забезпечення якості використовують лише при наступній модернізації структури мережі. До того ж, покращення функціонування мережі шляхом нарощування структурних елементів мережі не є економічно доцільним, що в умовах сучасного економічно орієнтованого підходу є визначальним.

Організаційні аспекти роботи мережі включають контроль за ресурсами мережі, управління даними абонентів та використання менеджменту. Вони безпосередньо визначають якість зв'язку в процесі експлуатації мережі і тому саме їх виділяють як основні механізми забезпечення QoS. Такий класифікаційний підхід оснований на рекомендаціях Y.1291 Міжнародного союзу електрозв'язку та його інтерпретаціях вітчизняними вченими [1, 4]. Повна структура механізмів забезпечення QoS представлена на рис. 1.

При цьому запропонована класифікація враховує той факт, що мультисервісні мережі являються IP-орієнтованими, а отже, представлені механізми в повній мірі можуть бути застосовані лише в IP-мережах.



**Рис. 1. Механізми забезпечення якості обслуговування**

Серед основних з них треба відмітити метод управління доступом до ресурсів мережі шляхом контролю подання нових заявок, метод маркування пакетів відповідно до класу обслуговування, метод забезпечення вибору оптимального маршруту за параметром QoS, алгоритм своєчасного виявлення перенавантаження задля запобігання переповнення буферів у вузлах мережі, метод організації черг реалізований механізмом зваженої справедливої буферизації та механізмом буферизації за класом обслуговування, механізм укладання «Угоди про якість обслуговування» SLA, що дозволяє встановити однозначну відповідність між показниками якості зі сторони користувача та показниками функціонування мережі [4].

Приведена структура відображає всю різноманітність методів та підходів щодо реалізації забезпечення якості, кожен з яких забезпечує вирішення того чи іншого завдання у забезпеченні QoS. Проте сучасні темпи розвитку вимагають більш досконалих механізмів, які б дозволяли одночасно вирішувати декілька проблем. Прикладом такої реалізації можуть бути моделі представлені RSVP, DiffServ та MPLS [5].

Зокрема модель надання інтегрованих послуг, передбачає використання протоколу RSVP, згідно з яким відбувається резервування та управління частиною ресурсів мережі з метою «жорсткого» забезпечення якості. Проте таке резервування вимагає значних затрат ресурсів мережі, що накладає обмеження на її використання.

Більш досконалий механізм забезпечується моделлю надання диференційованих послуг, що реалізується протоколом DiffServ. Він передбачає організацію передачі пакетів між вузлами мережі на основі присвоєного класу обслуговування. Як наслідок розподіл ресурсів відбувається більш «м'яко».

Третя модель передбачає використання механізму багатопроTOCOLЬНОЇ комутації по міткам – MPLS, що полягає в значному спрощенні процесу маршрутизації пакету, що стало можливим за рахунок відмови від аналізу IP-адреси в його заголовку.

#### **Методика оцінки параметрів якості зв'язку мультисервісних мереж**

Обґрунтування того чи іншого підходу при дослідженні процесу передачі даних в першу чергу повинне ґрунтуватися на дослідженні властивостей абонентського трафіку. При цьому намагаються як найточніше змодельовати характер поведінки трафіку, що б найбільш повно відповідав статистичним даним. Зокрема, на основі аналізу робіт ряду закордонних вчених (Crovella, Molnar та ін.) була отримана класифікація, яка відображає співвідношення між типами трафіка та законами розподілу,

що дозволяють найбільш повно описати параметри трафіку на конкретному рівні моделі OSI [6].

Для опису трафіку в мультисервісних IP-мережах найбільш широкого застосується розподіл Парето. Крім того, для трафіка конкретних додатків обмежено використовується розподіл Вейбула, нормований логарифмічний розподіл та розподіл Пуассона. Важливо відмітити, що розподіл Парето відноситься до розподілів з важким хвостом і володіє нескінченною дисперсією в діапазоні  $1 < \alpha < 2$ , де показник  $\alpha$  характеризує «вагу» хвоста розподілу та визначає «пачечність» процесу. Такі процеси відносяться до самоподібних та характеризують трафік сучасних комп'ютерних мереж. Враховуючи широке застосування закону Парето для опису трафіку IP-орієнтованих мереж, в подальшому буде використовувати саме розподіл Парето.

В якості моделі системи масового обслуговування виберемо систему з загальним розподілом вхідного потоку та процесу обслуговування, з одним каналом та обмеженим розміром  $m$  буфера вузла [7, 8]. З використанням символіки Кендала вона представляється моделлю  $G/G/1/m$ . Завдання розрахунку системи такого виду для вказаних вхідних процесів та процесів обслуговування ускладнена тим, що дисперсії цих процесів є нескінченними. Тому для спрощення розрахунків необхідно використовувати обмеження випадкової величини за мінімальним та максимальним значенням, що дозволить розрахувати необхідні коефіцієнти без зміни форми самого розподілу.

На основі запропонованих припущень проводиться дослідження роботи зазначених QoS-моделей IntServ та DiffServ, що ґрунтується на особливостях організації кожної з них.

Час обробки даних в вузлах мережі визначається затримками пакетів в буферах даних. Для розрахунків часу затримки на вузлах скористаємося результатами теорії дифузійної апроксимації [9], що представлені в монографії Зелінгера М. Б., Чугреєва О. С. та Яновського Г. Г.:

$$T_{treatment.x} = P \cdot \frac{t_s}{m \cdot 1 - \rho} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \quad (1)$$

де  $m$  – розмір буфера вузла мережі;

$\rho$  – навантаження системи трафіком;

$P$  – ймовірність відмови в обслуговуванні через зайнятість приладів;

$t_s$  – середній час обслуговування пакету мережевим пристроєм;

$C_a^2$  та  $C_s^2$  – квадратичні коефіцієнти варіації розподілу вхідного потоку та часу обслуговування відповідно.

Згідно теорії телетрафіку, навантаження системи визначається за формулою:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність поступання абонентського трафіку;

$\mu$  – інтенсивність обслуговування трафіку пристроєм.

В даному випадку інтенсивність навантаження буде виражатися через середню інтенсивність навантаження від одного абонента:

$$\lambda = N \cdot \lambda_s \quad (3)$$

де  $N$  – кількість абонентів мережі;

$\lambda_s$  – середня інтенсивність трафіку від одного абонента;

Ймовірність відмови в обслуговуванні залежить від завантаження вузлів мережі і може бути наближено обчислена за другою формулою Ерланга:

$$P = m \cdot 1 - \rho \cdot \frac{\rho^m}{1 - \rho^m} \quad (4)$$

Квадратичні коефіцієнти варіації, відповідно до розподілу Парето, будуть визначатися на основі наступної апроксимаційної формули [9]:

$$C_x^2 = \frac{1 - \alpha^2 \cdot L^\alpha - k^\alpha}{\alpha \cdot L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2} \cdot \left( \frac{L^2 \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2}{2 - \alpha} - \frac{\alpha \cdot L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2}{1 - \alpha^2 \cdot L^\alpha - k^\alpha} \right) \quad (5)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт ваги хвоста розподілу, що визначає «пачечність» процесу;

$L$  – максимальний розмір блоку даних;

$k$  – мінімальний розмір блоку даних.

При цьому під розміром блоку даних розуміють розмір пакету, що генерується додатком або ж розміри пачки пакетів, що виникають в результаті роботи додатку чи проходження пакетів по мережі.

#### **Математичне моделювання механізмів IntServ та DiffServ**

На основі описаної методики були проведені розрахунки ефективності роботи механізмів забезпечення QoS, що представлені моделями IntServ та DiffServ. При цьому процес моделювання реалізовувався шляхом використання програмного середовища Mathcad. В якості досліджуваної мережі було обрано мережеву область організовану на чотирьох маршрутизаторах, де один з маршрутизаторів відіграє роль ядра мережі, а інші три являються її приграничними вузлами, до яких підключаються локальні мережі кінцевих абонентів. При цьому приграничні маршрутизатори були з'єднані з центральним маршрутизатором за допомогою оптичних одномодових волокон довжиною в 2 кілометри зі швидкістю передачі 100 Мбіт/с (згідно стандарту 100BASE-FX Fast Ethernet) [10]. Передбачається, що мережа обслуговуватиме до 1000 абонентів, де середня інтенсивність трафіку від кожного з них становитиме 30 кбіт/с [11, 12].

Змінюючи кількість активних абонентів моделюється різна величина навантаження мережі. При цьому для моделі DiffServ в формулу 3 для розрахунку загального навантаження вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує зменшення загального навантаження, пов'язане з відкиданням частини пакетів, що не відповідає угоді про рівень обслуговування SLA (Service Level Agreement). В нашому випадку кількість відкинутих пакетів відповідає 10% загального трафіка.

Щоб реалізувати режим великого навантаження системи, інтенсивність обслуговування трафіка маршрутизаторами вибиралася близькою до максимальної. Зокрема найближчим нормативним значенням із лінійки пропускних спроможностей маршрутизаторів була обрана величина інтенсивності в 32 Мбіт/с.

Як нормативна довжина лінії в роботі зазначена лінія довжиною в 4000 м, що відповідає відстані між будь-якими приграничними маршрутизаторами мережі.

Об'єм даних, що передається одним абонентом обирався рівним 10 кбайт, щоб цим самим нівелювати затримки на передачу службових повідомлень.

**ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ  
ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Величини сигнальних повідомлень *Path* та *Resv* були обраховані за їх структурою. Зокрема повідомлення *Path*, крім заголовку Common Header в 64 байти містить вісім об'єктів по 64 байти – *Integrity*, *Session*, *RSVP Hop*, *Policy Data*, *Sender Template*, *Sender TSpec*, *ADSpec*, – що в загальному дають 576 байт. До складу повідомлення *Resv* входить загальний заголовок Common Header в 64 байти та десять об'єктів також по 64 байти – *Integrity*, *Session*, *RSVP Hop*, *Time Values*, *RSVP Confirm*, *Scope*, *Policy Data*, *Style*, *FlowSpec*, *FilterSpec*, – що в сумі дають 704 байти.

Середній час обробки даних на вузлі та середній час класифікації в приграничних маршрутизаторах були прийнятими в 100 мкс.

Розмір буфера вузла був обраний рівний 8, що відповідає восьми максимальним розмірам IP-пакетів, тобто 32 кбайти.

За мінімальний та максимальний розмір блоку даних було обрано величину IP-пакету в 64 та 4000 байт відповідно.

Величина «ваги» хвоста абонентського трафіку відповідає за взаємкореляцію між трафіком та визначає його «пачечність». Зокрема для вхідного трафіку був обраний коефіцієнт ваги рівний 1,1, що відповідає його високій «пачечності». Через застосування політики вирівнювання (*shaping*), вихідний трафік маршрутизаторів є більш рівномірним, а тому для нього був обраний коефіцієнт 1,7. Сигнальний трафік, що генерується обладнанням є періодичним, а тому «пачечність» йому як така не характерна. У зв'язку з цим коефіцієнт ваги для повідомлень *Path* та *Resv* був обраний рівним 1,97. Результати моделювання IntServ та DiffServ за прийнятими значеннями наведені в табл. 1 і табл. 2 відповідно.

*Таблиця 1. Результати моделювання роботи технології IntServ*

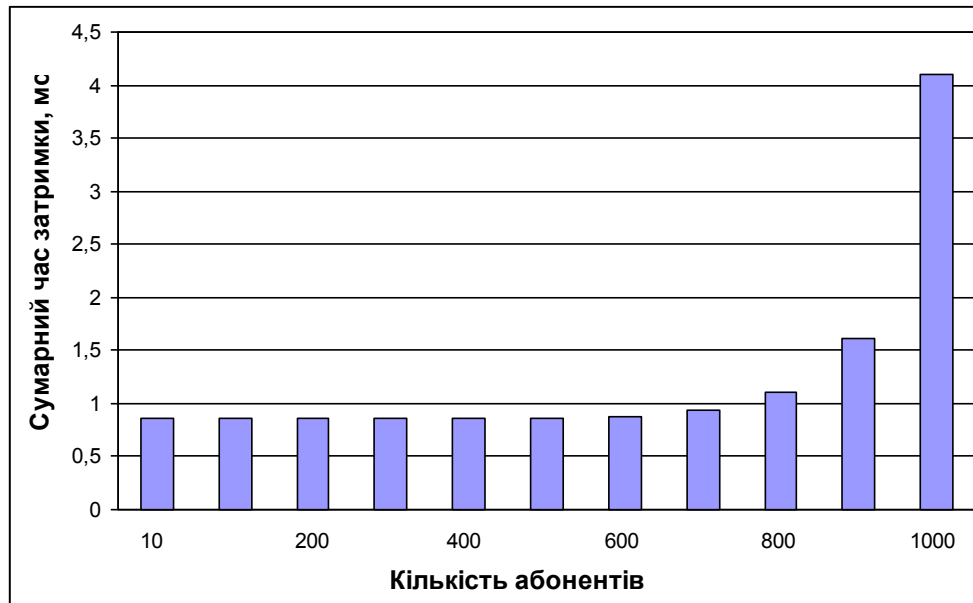
Кількість абонентів	Навантаження системи	Час затримки передачі, мс			
		Повідомлення <i>Path</i>	Повідомлення <i>Resv</i>	Даних	Сумарний
10	0,009	0,0205	0,0218	0,8148	0,8572
100	0,094	0,0205	0,0218	0,8148	0,8572
200	0,188	0,0206	0,0219	0,8148	0,8572
300	0,281	0,0206	0,0219	0,8149	0,8573
400	0,375	0,0207	0,0220	0,8153	0,8581
500	0,469	0,0216	0,0228	0,8180	0,8624
600	0,563	0,0248	0,0261	0,8285	0,8794
700	0,656	0,0355	0,0368	0,8630	0,9352
800	0,750	0,0671	0,0684	0,9654	1,1010
900	0,844	0,1651	0,1663	1,2830	1,6140
1000	0,938	0,6391	0,6404	2,8170	4,0970

*Таблиця 2. Результати моделювання роботи технології DiffServ*

Кількість абонентів	Навантаження системи	Час затримки передачі, мс			
		В приграничних вузлах	В проміжних вузлах	В лінії	Сумарний
10	0,008	0,1000	-	0,8148	0,9148
100	0,084	0,1000	-	0,8148	0,9148
200	0,169	0,1000	-	0,8148	0,9148
300	0,253	0,1000	-	0,8148	0,9148
400	0,338	0,1000	0,0003	0,8148	0,9150
500	0,422	0,1000	0,0014	0,8148	0,9162
600	0,506	0,1000	0,0058	0,8148	0,9207
700	0,591	0,1000	0,0203	0,8148	0,9352
800	0,675	0,1000	0,0609	0,8148	0,9757
900	0,759	0,1000	0,1682	0,8148	1,0830
1000	0,844	0,1000	0,4678	0,8148	1,3830

**Результати експериментальних досліджень та їх аналіз**

На основі проведених обчислень були отримані результати затримки передачі даних в мережах IntServ та DiffServ. Їх графічна інтерпретація подана на рис. 2. і рис. 3. відповідно.



*Рис. 2. Час затримки передачі за технологією IntServ*

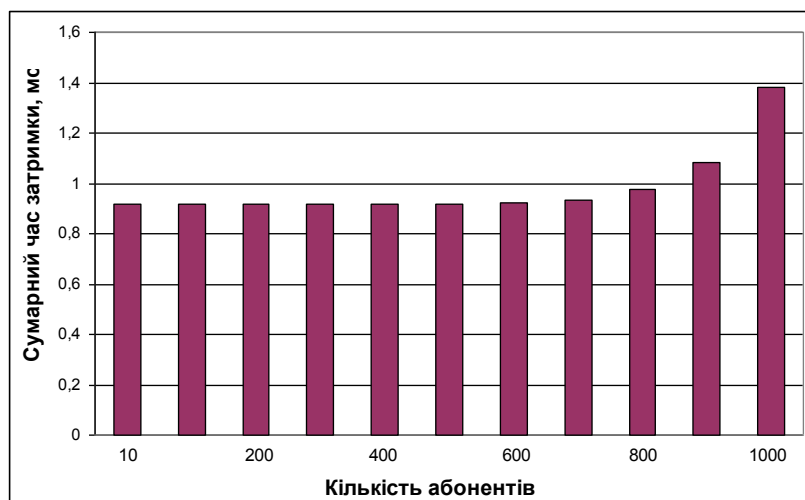


Рис. 3. Час затримки передачі за технологією DiffServ

Аналіз приведених діаграм підтверджує вищезазначені характеристики обох механізмів. Зокрема чітко видно, що модель DiffServ являється гнучкішою порівняно з IntServ, адже забезпечує менші величини затримки при великих значеннях навантаження, а отже є ефективнішою для організації великих мереж з різнорідними типами трафіку. При цьому перехід на більш ефективнішу модель DiffServ є виправданим зі збільшенням кількості абонентів, що обслуговуються.

В деяких випадках представлені діаграми можуть розрізнятися. Це визначається співвідношеннями між заданими значеннями вихідних величин. В такому випадку аналіз доцільності застосування необхідно проводити з врахуванням кривизни графіку. Як правило, за такого характеру діаграм, перехід на більш ефективнішу технологію є виправданим, починаючи з точки, де затримка передачі є в два рази більшою від номінальної (відповідає малим навантаженням), за якою вже йде область стрімкого зростання часу затримки.

**Висновки.** В роботі проведено моделювання роботи мультисервісної мережі організованої за технологією IntServ та DiffServ та оцінено час затримки передачі даних мережею для кожної з них. На основі отриманих результатів проведено порівняння ефективності роботи технологій та сформульовані рекомендації по забезпеченню якості передачі даних в конвергентних мультисервісних мережах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
2. Гургенидзе А.Н. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 400 с.
3. Герцый О.А., Гребень Р.О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник науц. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – с.191-196.
4. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.
5. Семенов Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 240 с.
6. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
7. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP. // Вестник связи, – 2008. – №1. – с. 1-16.
8. Galkin A.M., Simonina O.A., Yanovsky G.G. Multiservice IP Network QoS Parameters Estimation in Presence of Self-similar Traffic // Springer Verlag. Lecture Notes on Computer Science, № 4003. 2006. С. 235-245.
9. Зелингер Н.Б., Чугреев О.С., Яновский Г.Г. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1992. – 175с.

10. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
11. Герцій О. А. Математичне моделювання та оцінка параметрів якості зв'язку IP-мереж // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 22. – К: ДЕТУТ, 2013. С. 144-151.
12. Gertsy O., Liesoviyi V. Modelling and evaluation of quality parameters of IP-networks connection // «Problems of Infocommunications. Science and Technology – PIC S&T-2015». – IEEE Proceedings, 2015. P. 118-121.

***Olexander Gertsy, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor «Department of Telecommunications Technologies and Automatics», State University for Transport Economy and Technologies)***

### **RESEARCH OF MODELS FOR QUALITY ASSURANCE OF MULTI-SERVICE NETWORKS FUNCTIONING**

*In this paper a methods of ensuring connection quality of telecommunication networks is considered. The analysis of the quality assurance mechanisms of the multi-service networks, and shows that they are linked to structural and organizational characteristics of the work.*

*The models of functioning of network are researched and the estimation of parameters of quality of its work is conducted for the different size of the subscriber loading. In particular, the algorithm of calculating the delay time of the packet transmission network was made when using the quality assurance mechanisms integrated services and differentiated services, and comparison of their efficiency, depending on the number of network users.*

*It is shown that the differentiated services model appears to be more flexible compared to integrated services because it provides less volumes of delay with large values of load.*

**Keywords:** *Multi-service network; Quality of Service; Integrated Services Model; Differentiated Services Model*

### **REFERENCES**

1. Goldstein B.S., Sokolov N.A., Yanovskii G.G. Telecommunications: textbook for universities. – SPb.: BHV-Peterburg, 2010. – 400 p.
2. Gurgenzidze A.N. Multiservice networks and broadband services. – M.: Eko-Trends, 2000. – 400 p.
3. Gertsy O.A., Hrebin R.O. Methods of quality assurance of multiservice network connection // Zbirnyk nauk. prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i technologiii». – Vyp. 20. – K.: DETUT, 2012. – p.191-196.
4. Stepanov S. N. Basics Teletraffic multiservice networks. – M.: Eko-Trends, 2010. – 392 p.
5. Semenov Yu. V. Designing the next generation of communication networks. – SPb.: Nauka i technica, 2005. – 240 c.
6. Stollings V. Modern computer networks. 2-nd edition. – SPb.: Peter, 2003. – 783 p.
7. Yanovskii G.G. Quality of service in IP-networks. // Vestnik sviazi. – 2008. – №1. – p. 1-16.
8. Galkin A.M., Simonina O.A., Yanovsky G.G. Multiservice IP Network QoS Parameters Estimation in Presence of Self-similar Traffic // Springer Verlag. Lecture Notes on Computer Science, № 4003. 2006. p. 235-245.
9. Zelinger N.B., Chugreev O.S., Yanovskii G.G. Construction of networks and discrete message transmission systems. – M.: Radio i sviaz, 1992. – 175p.
10. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for students. 4<sup>th</sup> edition. – SPb.: Peter, 2010. – 944 p.
11. Gertsy O.A. Mathematical modelling and evaluation of quality parameters of IP-networks connection // Zbirnyk nauk. prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i technologiii» – Vyp. 22. – K: DETUT, 2013. – p. 144-151.
12. Gertsy O., Liesoviyi V. Modelling and evaluation of quality parameters of IP-networks connection / Proceedings of Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology –PIC S&T 2015, Kharkov, Ukraine, Oct. 13-15, 2015, p. 118-121.