

УДК 621.395.74

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

КРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

Розробка і впровадження ефективних методик та засобів забезпечення якості зв'язку є актуальним завданням сьогодення. В роботі проведено аналіз проблем забезпечення якості зв'язку в сучасних телекомунікаційних мережах та розглянуто методи їх вирішення. Для оцінки і порівняльного аналізу різних методів організації доступу до даних проведено їх критеріальний аналіз.

Ключові слова: мультисервісна мережа, якість обслуговування, оцінка параметрів якості.

Разработка и внедрение эффективных методов и средств обеспечения качества связи является актуальной задачей. В работе проведен анализ проблем качества связи в современных телекоммуникационных сетях и рассмотрены методы их решения. Для оценки и сравнительного анализа различных методов организации доступа к данным проведен их критерийный анализ.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, качество обслуживания, оценка параметров качества.

Постановка проблеми. При проектуванні мультисервісних мереж прагнуть знайти такий варіант побудови їх оптимальної структури, який би задовольняв необхідну потребу в зв'язку при найменших загальних витратах, обслуговуванні та наступному розвитку мережі. При цьому просте нарощування обсягів інфокомунікаційних послуг мережі може негативно позначитися на показниках якості обслуговування базових послуг зв'язку і роботи мережі взагалі. До того ж, покращення функціонування мережі шляхом нарощування її структурних елементів не є економічно доцільним, що в умовах сучасного економічно-орієнтованого підходу є визначальним. Все це вимагає проведення детального аналізу структури та майбутніх функцій самої 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.

© Герцій О. А., 2015

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Метою роботи є розробка та дослідження механізмів, що охоплюють моделювання і оптимізацію структурних рішень при проектуванні мультисервісної мережі для забезпечення її ефективного використання.

Виклад основного матеріалу. Характер інформації, що передається пакетними мережами, сьогодні дуже швидко змінюється. Крім передачі даних, сучасні мультисервісні мережі використовуються для прослуховування музики, перегляду відео, обміну голосовою інформацією, проведення конференцій, оперативного контролю та інших додатків реального часу. Тобто, на відміну від мереж з комутацією каналів, у тому самому інформаційному потоці може передаватися різномірний трафік. При цьому кожний з типів трафіка характеризується різними параметрами, значення яких і повинна забезпечувати мережа.

Зокрема якість доставки в сучасних мультисервісних мережах базується на використанні IP-протоколу [1], що працює за принципом так званої «найкращої можливості» (Best Effort). Дана концепція передбачає пропорційне розділення всіх доступних ресурсів мережі між абонентами та забезпечення максимально можливої швидкості передачі за даних умов, проте не забезпечує доставку пакетів в правильному порядку, не гарантує ніяких значень часу доставки пакетів.

Транспортні протоколи, що реалізовані в устаткуванні користувачів, також не забезпечують необхідної якості обслуговування трафіка, чутливого до затримок. Зокрема протокол TCP, хоч і гарантує достовірну доставку інформації, але переносить її з непередбаченими затримками. Протокол UDP, який, як правило, використовується для переносу інформації в реальному часі, забезпечує менший, у порівнянні із протоколом TCP, час затримки, але не містить ніяких механізмів підтримки якості обслуговування.

Таким чином, ні у вузлах МСМ, ні у обладнанні користувачів не передбачалося ніяких механізмів забезпечення необхідного рівня якості обслуговування. Як наслідок, довгий час телекомунікаційні мережі існували без таких механізмів. Це пояснюється в основному двома причинами.

По-перше, більшість додатків, що використовувалися мережею, були «невимогливими». Тобто для таких додатків затримки пакетів або зміна середньої пропускну здатності в досить широкому діапазоні не приводили до значної втрати функціональності. Прикладами «невимогливих» додатків є найпоширеніші в мережах минулого століття додаток електронної пошти E-mail або віддалене копіювання файлів.

По-друге, сама пропускну здатність мереж у багатьох випадках не була дефіцитом. Так, розподілений сегмент мережі, до якого було підключено невелика кількість абонентських станцій, що зрідка передавали невеликі файли, обсяг яких не перевищує кілька сотень кілобайт, дозволяв трафіку кожної пари взаємодіючих абонентів поширюватись мережею так швидко, як це необхідно було цим додаткам.

З появою трафіку реального часу підхід до організації роботи мережі був змінений. Зокрема це було обумовлено іншим характером профілю навантаження. Так, на відміну від короткочасних сплесків активності, що були характерні звичайним додаткам, трафік реального часу характеризувався неперервним та відносно рівномірним характером проходження. Такий трафік є досить чутливим до затримок передачі, що у звичайних пакетних мережах могла досягати недопустимих значень. Все це зумовило необхідність розробки додаткових ме-

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

тодів оптимізації роботи мережі, які б дозволили реалізувати так звану політику забезпечення якості обслуговування – QoS (Quality of Service).

До основних переваг QoS-обслуговування трафіку належать [1, 2]:

- підтримка існуючих та нових мультимедійних служб і додатків;
- передача контролю над ресурсами мережі операторові;
- забезпечення гарантії обслуговування та диференціювання трафіка;
- можливість надання додаткових послуг поряд зі стандартними послугами негарантованої доставки даних.

Механізми підтримки якості обслуговування самі по собі не забезпечують збільшення пропускної спроможності. Отже фактична пропускна спроможність каналів зв'язку й транзитного комунікаційного обладнання є відправною точкою для роботи механізмів QoS. Однак QoS дозволяє управляти розподілом наявної пропускної спроможності відповідно до вимог додатків і налаштуваннями мережі.

При цьому функції якості обслуговування полягають у забезпеченні гарантованого й диференційованого обслуговування мережевого трафіка шляхом передачі контролю над використанням ресурсів і завантаженістю мережі її операторові. QoS забезпечує наскрізну гарантію передачі даних і оснований на системі правил контролю над засобами підвищення продуктивності IP-мережі, такими як механізми розподілу ресурсів, комутація, маршрутизація, механізми обслуговування черг і механізми відкидання пакетів.

Параметри та норми оцінки якості мультисервісних мереж

Необхідність нормування та забезпечення параметрів якості знайшло своє відображення в діяльності Міжнародного союзу електрозв'язку. Зокрема сектор стандартизації в 2002 році опублікував рекомендацію ITU-T Y.1540, у якій представив перелік найбільш значимих показників, що задають стандарти якості передачі пакетів в IP-мережах [3].

Так до основних параметрів пакетних мереж зв'язку були віднесені:

- пропускна спроможність;
- надійність мережевих елементів;
- величина затримки;
- варіація затримки (джитер);
- величина втрат пакетів.

Пропускна спроможність мережі визначається як ефективне значення швидкості передачі даних в бітах за секунду і залежить від параметрів тієї чи іншої служби. Можливість забезпечення ефективного функціонування певного набору служб визначає загальну пропускну спроможність мережі. Параметри пропускної спроможності кожної зі служб можуть бути визначені на основі рекомендацій ITU-T Y.1221. Значення основних з них подані в табл. 1.

Надійність мережевих елементів визначається низкою параметрів, серед яких найчастіше використовують коефіцієнт готовності обладнання [4], що являє собою відношення часу дієздатності об'єкта до загального часу експлуатації. В ідеальному випадку коефіцієнт готовності повинен відповідати 1, що відповідає 100% готовності мережі. На практиці коефіцієнт готовності оцінюється числом дев'яток після коми у записі коефіцієнта (табл. 2).

Затримка доставки пакета IPTD (IP packet Transfer Delay) визначається як різниця часу між двома подіями – введенням пакета у вхідну точку мережі в момент T1 і виводом пакета з вихідної точки мережі в момент T2. Загалом, пара-

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

метр IPTD визначається як час доставки пакета між джерелом і одержувачем для всіх пакетів – як успішно переданих, так і спотворених помилками. Середня затримка доставки пакета IP специфікована у Рекомендаціях Y.1540 і визначається як середня арифметична величина затримок пакетів в обраному наборі переданих і прийнятих пакетів. Значення середньої затримки залежить від переданого в мережі трафіка й доступних мережевих ресурсів, зокрема, від пропускної спроможності останньої. Ріст навантаження й зменшення доступних мережних ресурсів ведуть до росту черг у вузлах мережі і як наслідок до збільшення середніх затримок доставки пакетів.

Таблиця 1. Параметри основних служб IP-мереж

Служби		Параметри			
		Швидкість передачі, Кбіт/с	Навантаження, Ерл	К _{пач}	К _{ефектIP}
Послуги Internet	WWW	4,8...128	*	5...50	0,9
	E-mail	2,4...64	**	2...5	0,9
	FTP	64...2048	***	2...5	0,9
Інші послуги	IP-Tlf	6,4...64	0,1/канал	2...10	0,25...0,75
	FAX	9,6...64	0,15/канал	2...10	0,6...0,8
	V/Tlf	128...384	0,03/канал	5...50	0,4...0,8
	V/Conf	512...2048	****	5...20	0,4...0,8

Таблиця 2. Коефіцієнти готовності обладнання та відповідні періоди простою

Коефіцієнт готовності <i>K</i>	Час простою обладнання
0,9	До 36 днів за рік
0,99	До 89 годин за рік
0,999	До 9 годин за рік
0,9999	До 53 хвилин за рік
0,99999	До 5,3 хвилин за рік

Варіація затримки пакета IPDV (IP PacketDelayVariation) характеризує як різниця часу між абсолютною величиною затримки при доставці пакета з індексом та певною еталонною (або опорною) величиною затримки доставки пакета IP, для тих самих мережевих точок (еталонна затримка доставки пакета IP, між джерелом і одержувачем визначається як абсолютне значення затримки доставки першого пакета IP між даними мережевими точками). Варіація затримки пакета, або джитер, проявляється в тому, що послідовні пакети прибувають до одержувача

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

в нерегулярні моменти часу. У цифрових системах IP-телефонії це, наприклад, веде до викривлень звуку, в результаті чого мова стає незрозумілою.

Коефіцієнт втрати пакетів IPLR (IP PacketLossRatio) визначається як відношення сумарного числа загублених пакетів до загального числа прийнятих в обраному наборі переданих і прийнятих пакетів. Втрати пакетів у мережах IP виникають у тому випадку, коли значення затримок при їхній передачі перевищує певне нормоване значення. Втрата пакетів при передачі інтерактивного трафіку веде до спотворення прийнятих даних, адже при цьому відсутня можливість повторної передачі. Серед причин, що викликає втрати пакетів, слід відзначити ріст черг у вузлах мережі, що виникають при перевантаженнях.

Коефіцієнт помилок пакетів IPER (IP PacketErrorRatio). Коефіцієнт IPER визначається як сумарне число пакетів, прийнятих з помилками, до суми успішно прийнятих і пакетів, прийнятих з помилками.

Перераховані параметри є основними характеристиками роботи IP-мереж на міжнародних трактах зв'язку. Їх значення нормуються відповідно до рекомендацій ITU-T Y.1541 і подані табл. 3 [1, 2, 5]. Вони являють собою, відповідно, верхні границі для середніх затримок, джитера, втрат та помилково прийнятих пакетів. При цьому норми на параметри розподілені по різних класах QoS, що визначаються залежно від вимог додатка.

Таблиця 3. Норми характеристик IP-мереж з розподілом по класам QoS

Мережеві характеристики	Класи QoS					
	0	1	2	3	4	5
Затримка доставки пакету IP (IPTD)	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Варіація затримки пакету IP (IPDV)	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Коефіцієнт втрат пакетів IP (IPLR)	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Н
Коефіцієнт спотворень пакетів IP (IPER)	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	Н

Примітка. Н – не нормовано.

На основі проведеного аналізу поставленого питання, можна виділити два основних аспекти, що пов'язані з забезпеченням якості роботи мультисервісних мереж, а саме:

- конструктивні особливості мережі;
- особливості організації роботи 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 викори-

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

стовуюють 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. Структура механізмів забезпечення QoS подана на рис. 1.



Рис. 1. Механізми забезпечення QoS в мультисервісних мережах

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

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 RED задля запобігання переповнення буферів у вузлах мережі, метод організації черг реалізований механізмом зваженої справедливої буферизації WFQ та механізмом буферизації за класом обслуговування CBQ, механізм укладання «Угоди про якість обслуговування» SLA, що дозволяє встановити однозначну відповідність між показниками якості зі сторони користувача та показниками функціонування мережі [6].

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 [1, 3].

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 ре-

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

зервування 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 мітках – MPLS, що полягає в значному спрощенні процесу маршрутизації пакету, що стало можливим за рахунок відмови від аналізу IP-адреси в його заголовку.

Для оцінки і порівняльного аналізу різних методів організації доступу до даних, як найбільш універсальний доцільно використовувати критерій «ефективність-вартість» [7].

Під ефективністю E в даній задачі мають на увазі деякий функціонал швидкості передачі запитів V_q і достовірності передачі, яка виражається через помилки першого і другого роду з відповідними ймовірностями P_I і P_{II} [5, 7]:

$$E = \psi(V_q, P_I, P_{II})$$

Вартість визначається за формулою:

$$C = a_1 V_{inf} + a_0.$$

1. При обмеженнях на час займання каналу при гарантованій якості обслуговування QoS:

$t_3 \leq T_{max}$, при $t_3 > T_{max}$ $C = a_2 V_{inf}$, де a_1 і a_2 – вагові коефіцієнти, що підбираються експериментально, за результатами аналізу стану каналів передачі.

Якщо $a_1 > a_0$, де коефіцієнт a_i визначається методом експертних оцінок на основі результатів обробки статистичних даних, тоді, в цьому випадку, як перше наближення пропонується лінійно-ламана залежність (рис. 2).

Завдання вибору точки зламу носить суб'єктивний характер, тому розглянемо іншу функцію вартості: $C = a_{12} V_{inf} + a_0$. Коефіцієнт a_{12} вибирається з

умови $a_1 V_{max} + a_0 = a_{12} V_{max}^2 + a_0$ або $a_{12} = \frac{a_1}{V_{max}}$.

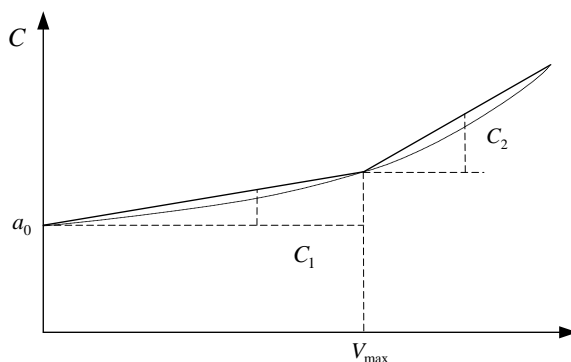


Рис. 2. Залежність при гарантованій якості обслуговування

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

2. Альтернатива – якість сервісу не гарантується (обслуговування за угодою BestEffort) [8].

$$C = a_3 V_{inf} + a_{03}$$

Забезпечення передачі даних – задача оператора (провайдера мережі). В цьому випадку також зупинимося на лінійно-ламаний залежності як першому наближенні, але з іншим коефіцієнтом і точкою зламу (рис. 3), та на квадратичній залежності, де a_{32} вибирається з тих же міркувань, що і a_{12} .

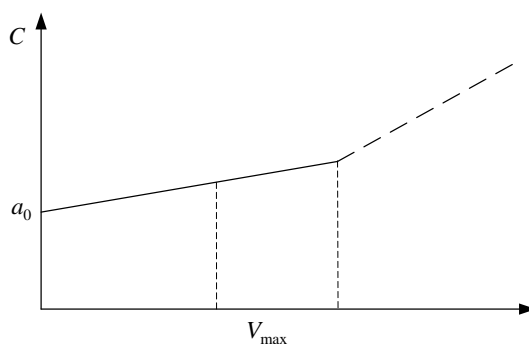


Рис. 3. Залежність вартості режиму передачі даних

Квадратичні функції вартості широко застосовуються при аналізі і синтезі великих систем, в тому числі інформаційно-обчислювальних та систем керування.

3. Форс – мажорна ситуація (максимальне виділення каналів), якість обслуговування QoS максимальна, при цьому вартість є другим пріоритетом. Необхідно забезпечити гарантований обсяг каналу – $V_{канал} \geq V_{inf}$.

При визначенні необхідного обсягу каналу, обсяг інформації, що переробляється орієнтовно у 10 – 100 разів менше в штатній ситуації, ніж при виникненні позаштатної ситуації. Тоді, вартість зростає згідно з законом $C_{max} = (1 - e^{-a_4 V_{inf}})$, і графік виглядає таким чином (рис. 4).

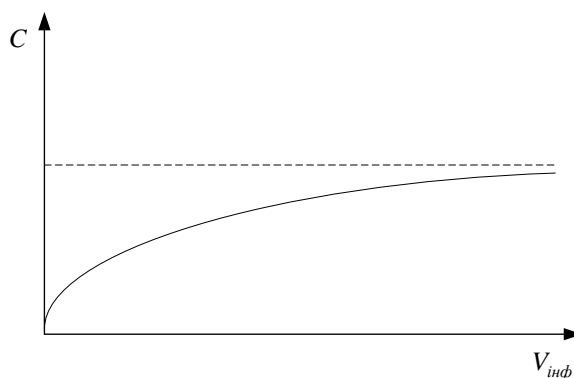


Рис. 4. Залежність вартості від якості інформації в «м'якій» форс-мажорній ситуації

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

В деяких випадках цінність інформації є абсолютним пріоритетом. Тому як функцію вартості доцільно вибирати інформаційну функцію виду $C = a_{42} \log_2(1 + V_{инф})$, $V_{инф} > 0$ (рис. 5).

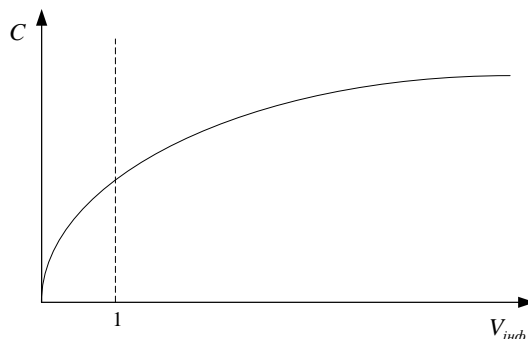


Рис. 5. Залежність вартості від якості інформації в «жорсткій» форс-мажорній ситуації

Таким чином, для оптимізації часу доставки і обробки інформації в різних ситуаціях треба вибирати відповідні функції вартості, запропоновані вище.

На підставі аналізу розглянутих механізмів можна стверджувати, що подальший розвиток та розробка механізмів забезпечення QoS буде вирішуватися на основі комплексних підходів та методик, що враховуватимуть вирішення цілого ряду проблем пов'язаних з покращенням функціонування мережі.

Висновки. Конвергенція телекомунікацій, реалізована в мультисервісних мережах, поставила питання забезпечення якості обслуговування на одну з ключових позицій в забезпеченні функціонування мережі. Огляд сучасних підходів до забезпечення QoS свідчить, що реалізація існуючих методів не повною мірою забезпечує вирішення даного питання, а тому подальший розвиток питання забезпечення якості буде йти шляхом розробки комплексних підходів та методик.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
2. Букатов А.А., Шаройко О.В. Методы распределения емкости телекоммуникационных каналов и обеспечения качества сетевого обслуживания // ЮГИНФО Южного федерального университета, 2008. – 23 с.
3. Гургенидзе А.Н. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 400 с.
4. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP. // Вестник связи, – 2008. – №1. – С. 1-16.
5. Герцый О.А., Гребинь Р.О. Методы обеспечения качества зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 191-196
6. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.
7. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
8. Столлингс В. Современные компьютерные сети. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.

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

CRITERIAL EVALUATION OF THE QUALITY OF FUNCTIONING OF MULTI-SERVICE NETWORKS

This paper considered the problems of quality evaluation in multi-service network. Information streams of telecommunication networks differ greatly in their composition and requirements, which can be explained by a sharp increase in the amounts of new network complements, as well as by the change in correlation between the already existing and new network services. This calls for taking into close consideration dependences between the volumes of traffic, service quality indexes and network structural parameters, which eventually can be used in determining the value of decisions.

Recently, there has been an increasing interest to multimedia traffic transmission services, which has caused new complications related to telecommunication networks functioning. Being based on IP-technology, it is approximate for transmitting information and in itself cannot guarantee the proper maintenance of the real time traffic. For this reason, a number of mechanisms for providing the quality of service (QoS) have been developed. However, inconsistency of their mutual realization cannot guarantee the required level of service.

Therefore, development and research of mechanisms for construction and optimization of project decisions in IP-network planning is a topical issue.

Keywords: multi-service network, quality of service, estimation of parameters of quality.

REFERENCES

1. Goldstein B.S., Sokolov N.A., Yanovskii G.G. Telecommunications: textbook for universities. – SPb.: BHV-Peterburg, 2010. – 400 p.
 2. Bukatov A.A., Sharoyko O.V. Methods of distribution channel capacity of telecommunication network and quality of service // YUGINFO Yuznogo Federalnogo Universiteta, 2008. – 23 p.
 3. Gurgendze A.N. Multiservice networks and broadband services. – M.: Eco-Trendz, 2000. – 400 p.
 4. Yanovskii G.G. Quality of service in IP-networks. // Vestnik sviazi. – 2008. – №1. – P. 1-16.
 5. Gertsy O.A., Hrebin R.O. Methods of quality assurance of multiservice network connection // Zbirnyk nauk. prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i tehnologii». – Vyp. 20. – K.: DETUT, 2012. – P. 191-196.
 6. Stepanov S.N. Basics teletraffic of multiservice networks. – M.: Eco-Trendz, 2010. – 392 p.
 7. Moiseev N.N. Mathematical problems of system analysis. – M.: Nauka, 1981 – 488 p.
- Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for students. 4th edition. – SPb.: Peter, 2010. – 944 p.*