

Олександр Герцій

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ ІР-МЕРЕЖ

В роботі проведено аналіз проблем забезпечення якості в сучасних телекомунікаційних мережах та розглянуто сучасні методи вирішення поставленого завдання на основі моделей інтегрованого IntServ та диференційованого DiffServ обслуговування.

В работе проведен анализ проблем обеспечения качества в современных телекоммуникационных сетях и рассмотрены методы решения поставленной задачи, на основе моделей интегрированного IntServ и дифференцированного DiffServ обслуживания.

This paper analyzes the problems of quality assurance in modern telecommunications networks and the methods solution of the problem, based on the models of integrated IntServ and differentiated DiffServ service.

Ключові слова: ІР-мережа, якість обслуговування, модель інтегрованого обслуговування, модель диференційованого обслуговування.

Вступ. Інформаційні потоки телекомунікаційних мереж дуже розрізняються за своїм складом і вимогами, що можна пояснити стрімким зростанням кількості нових мережевих додатків, а також зміною співвідношення між вже існуючими і новими мережевими послугами. Це вимагає належного врахування 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.

Так, останнім часом зріс інтерес до послуг передачі мультимедійного трафіка, що стало причиною нових труднощів, пов'язаних з забезпеченням функціонування телекомунікаційних мереж. Організована на базі ІР-технології вона є орієнтованою для передачі даних і сама по собі не може гарантувати належного обслуговування трафіка реального часу. В зв'язку з цим було розроблено цілу низку механізмів забезпечення якості обслуговування (Quality of Service – QoS). Проте неузгодженість їх взаємної реалізації не дозволяють гарантувати необхідний рівень обслуговування.

Тому розробка та дослідження механізмів, що охоплюють моделювання і оптимізацію проектних рішень при проектуванні ІР-мережі, є актуальним завданням.

Основні моделі забезпечення якості. Для боротьби з перевантаженнями на лініях доступу в ІР-мережах було розроблено досить багато механізмів підтримки QoS. Однак через неузгодженість їх використання кожним оператором, вони не давали значних результатів в масштабах великих мереж. З цією метою була проведена розробка єдиних стандартів та механізмів забезпечення якості обслуговування, що

© Герцій О. А., 2013

позначилося на створенні сучасних моделей забезпечення QoS пакетних мереж. Як результат, для середовища IP були розроблені два основних механізми забезпечення якості, представлені моделями інтегрованого IntServ (Integrated Service) та диференційованого DiffServ (Differentiated Service) обслуговування.

Розглянуті технології є досить дієвими механізмами забезпечення якості послуг в сучасних телекомунікаційних мережах. Проте проведений аналіз свідчить, що на даний момент не існує універсальної технології QoS, що здатна задовольняти одночасно всім вимогам побудови мультисервісних мереж зв'язку. В результаті, розроблені моделі представляють вирішення лише певної частини проблем, пов'язаних з забезпеченням QoS. Це обумовлено значною складністю питання забезпечення якості, його багатогранністю. До того ж неузгодженість параметрів якості в різних мережах та відмінність їх реалізації у різних виробників обладнання додатково ускладнюють їх взаємодію. Як результат, методи забезпечення якості, що лежать в основі цих технологій, визначають область їх застосування в сучасних телекомунікаційних мережах [1, 2].

Зокрема перевагою моделі IntServ є забезпечення чітко визначеної і гарантованої пропускної спроможності. Однак існує низку недоліків, таких як збільшення часу встановлення з'єднання, неефективне резервування смуги пропускання, що заважає широкому використанню RSVP в пакетних мережах. Проте найбільший недолік IntServ пов'язаний з масштабованістю RSVP, особливо у високошвидкісних магістральних мережах, де обсяг ресурсів, які необхідні маршрутизатору для обробки й зберігання інформації RSVP, збільшується пропорційно кількості потоків QoS. Як результат технологія IntServ використовується для організації невеликих корпоративних мереж для виконання обмеженого кола завдань.

Перевагами моделі DiffServ є простота пріоритеризації трафіка, можливість масштабування, підвищена надійність. Все це визначає гнучкість та універсальність технології. Проте технологія має певні суттєві недоліки. Зокрема при передачі однорідного трафіка застосування механізму пріоритетів втрачає смисл, адже при цьому мережа починає працювати в режимі Best Effort, а через вибіркове відкидання пакетів в періоди сплесків абонентської активності існує велика ймовірність відмови в обслуговуванні з'єднань з низьким пріоритетом. В зв'язку з цим модель DiffServ зручна для організації великих обчислювальних мереж та територіально розподілених мереж з різномірним трафіком та малим часом з'єднання.

Очевидно, що взаємна робота IntServ та DiffServ є оптимальним варіантом для надання необхідної якості QoS із кінця в кінець (рис. 1.). При цьому слабкі місця однієї моделі будуть компенсуватися відповідними рішеннями іншої [3]. Зокрема, погано масштабована IntServ на магістральних ділянках мережі може бути замінена на більш просту DiffServ, з іншого боку, за допомогою протоколу RSVP може бути вирішена проблема з невизначеністю надаваного сервісу, що властива «чистим» DiffServ-мережам. Реалізація такої моделі дозволить ліквідувати причину низької якості передачі мультимедіа на основі IP-протоколу та підвищити продуктивність традиційних послуг.

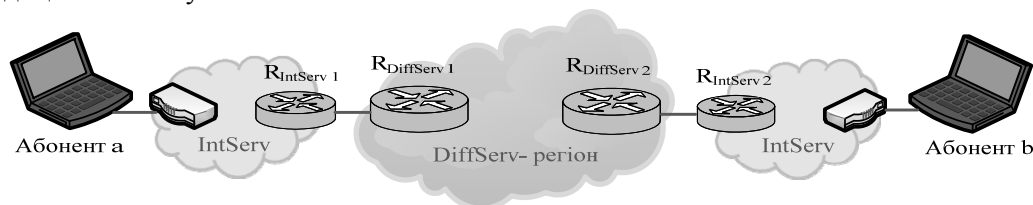


Рис. 1. Модель взаємодії DiffServ та IntServ

Представлений механізм взаємодії технологій забезпечує необхідну якість послуг, дозволяючи оптимально використовувати ресурси мережі. При цьому доцільність використання технологій повинна ґрунтуватися на попередньому аналізі ефективності їх роботи шляхом моделювання останніх. Тому є актуальним дослідження кількісних показників ефективності функціонування обох моделей, для обґрунтування доцільності використання кожної з них в межах тієї чи іншої частини мережі.

За основний критерій якості обслуговування, було обрано параметр часу затримки передачі. Вибір параметра ґрунтується на рекомендаціях ІТУ-Т У.1540. При цьому він виділяється не лише як основний критерій передачі трафіка реального часу, а як параметр, що найбільш повно відображає функціонування мережі взагалі.

Методика проведення дослідження. Обґрунтування того чи іншого підходу при дослідженні процесу передачі даних в першу чергу повинне ґрунтуватися на дослідженні властивостей абонентського трафіка. При цьому намагаються як найточніше змоделювати характер поведінки трафіка, щоб найбільш повно відповідав статистичним даним. Зокрема, на основі аналізу робіт деяких закордонних вчених (Crovella, Molnar та ін.) була отримана класифікація, яка відображає співвідношення між типами трафіка та законами розподілу, що дозволяють найбільш повно описати параметри трафіка на конкретному рівні моделі OSI [4]. Результати класифікації подані в табл. 1.

Як видно з табл. 1, для опису трафіка в мультисервісних ІР-мережах найширше застосовується розподіл Парето. Крім того, для трафіка конкретних додатків обмежено використовується розподіл Вейбула, нормований логарифмічний розподіл та розподіл Пуассона. Важливо відмітити, що розподіл Парето належить до розподілів з важким «хвостом» і володіє нескінченною дисперсією в діапазоні $1 < \alpha < 2$, де показник α характеризує «вагу» «хвоста» розподілу та визначає «пачковість» процесу. Такі процеси належать до самоподібних та характеризують трафік сучасних комп'ютерних мереж. Враховуючи широке застосування закону Парето для опису трафіка ІР-орієнтованих мереж, в подальшому буде використовувати саме розподіл Парето.

Таблиця 1. Закони розподілу для типів трафіка на різних рівнях моделі ТСП/ІР

Тип трафіка	Рівень	Закони розподілу		Публікації
		A	B	
VoIP	Прикладний	P	P	Molnar, 2002
FTP/TCP	Транспортний	P	W та LN	Downey, 2003
SMTP/TCP	Транспортний	M	M	Molnar, 2000
HTTP/TCP	Транспортний	P	LN та P	Crovella, 1996
IP	Мережевий	P	P	Paxson, 1995
Ethernet	Канальний	P	P	Taqqu, 1997

Тут: А – закон розподілу вхідного потоку;
В – закон розподілу величини блоку даних.

Як модель системи масового обслуговування виберемо систему з загальним розподілом вхідного потоку та процесу обслуговування, з одним каналом та обмеженим розміром m буфера вузла [6, 7]. З використанням символіки Кендала вона пред-

ставляється моделлю $G/G/1/m$. Завдання розрахунку системи такого виду для вказаних входних процесів та процесів обслуговування ускладнена тим, що дисперсії цих процесів є нескінченними. Тому для спрощення розрахунків варто 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.

Зокрема при роботі механізму IntServ враховується його поетапність, де процес передачі даних включає посилення запиту на передачу $Path$, процес резервування ресурсів на основі повідомлень $Resv$ та сам процес передачі даних. Враховуючи такий підхід розрахунок часу затримки передачі для моделі IntServ можна провести за формулою:

$$T_{IntServ} = T_{Path} + T_{Resv} + T_{data} \quad (1)$$

де T_{Path} – час передачі сигнального повідомлення $Path$;

T_{Resv} – час передачі сигнального повідомлення $Resv$;

T_{data} – час передачі блоку абонентських даних.

Тут кожна складова часу може бути подана як сумарний час затримки на вузлах мережі та час затримки передачі по лінії зв'язку:

$$T_{Path} = T_{line.Path} + T_{treatment.Path} \quad (2)$$

$$T_{Resv} = T_{line.Resv} + T_{treatment.Resv} \quad (3)$$

$$T_{data} = T_{line.data} + T_{treatment.data} \quad (4)$$

де $T_{line.Path}$, $T_{line.Resv}$, $T_{line.data}$ – час передачі лінією повідомлень $Path$, $Resv$ та абонентських даних відповідно;

$T_{treatment.Path}$, $T_{treatment.Resv}$, $T_{treatment.data}$ – час обробки пакетів в вузлах мережі повідомлень $Path$, $Resv$ та абонентських даних відповідно.

При моделюванні технології DiffServ враховується, що процес передачі даних мережею включає проведення попередньої обробки (класифікація та маркування) трафіка на граничних вузлах мережі, затримки в буферах вузлів та затримки в лінії. У цьому випадку розрахунок часу затримки пропонується проводити за такою розрахунковою формулою:

$$T_{DiffServ} = T_{line.DiffServ} + T_{treatment.DiffServ} + T_{classification} \quad (5)$$

де $T_{line.DiffServ}$ – час передачі абонентських даних по лінії;

$T_{treatment.DiffServ}$ – час затримки даних в мережевих вузлах;

$T_{classification}$ – затримка класифікації даних в граничних вузлах мережі.

Розрахунок часу передачі даних лінією може бути представлений сумою часу затраченого на поширення сигналу по лінії та часу самої передачі даних:

$$T_{line.x} = T_{distribution.x} + T_{transmission.x} \quad (6)$$

де $T_{distribution.x}$ – час затримки поширення сигналу в лінії;

$T_{transmission.x}$ – час затримки передачі даних по лінії;

x – індекс, що визначає тип даних та технологію, що використовується.

Затримки поширення сигналу по лінії будуть визначатися нормованою довжиною лінії та її характеристиками:

$$T_{distribution.x} = \frac{L_{line}}{c_{signal}} \quad (7)$$

де L_{line} – нормована довжина лінії передачі;

c_{signal} – швидкість поширення сигналу в лінії.

А затримка передачі – величиною даних, що передається абонентами та швидкістю передачі на інтерфейсі:

$$T_{transmission.x} = \frac{R_{date.x}}{V_{interface}} \quad (8)$$

де $R_{date.x}$ – середній обсяг даних, що передається абонентом;

$V_{interface}$ – швидкість передачі на інтерфейсі.

Час обробки даних у вузлах мережі визначається затримками пакетів в буферах даних. Для розрахунків часу затримки на вузлах скористаємося результатами теорії дифузійної апроксимації [8], що представлені в монографії Зелінгера М. Б., Чугреєва О. С. та Яновського Г. Г.:

$$T_{treatment.x} = P \cdot \frac{t_s}{m \cdot (1 - \rho)} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \quad (9)$$

де m – розмір буфераа вузла мережі;

ρ – 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 з теорією телетрафіка, навантаження системи визначається за формулою:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (10)$$

де λ – інтенсивність поступання абонентського трафіка;

μ – інтенсивність обслуговування трафіка пристроєм.

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

$$\lambda = N \cdot \lambda_s \quad (11)$$

де N – кількість абонентів мережі;

λ_s – середня інтенсивність трафіка від одного абонента;

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

$$P = m \cdot (1 - \rho) \cdot \frac{\rho^m}{1 - \rho^m} \quad (12)$$

Квадратичні коефіцієнти варіації, відповідно до розподілу Парето, будуть визначатися на основі такої апроксимаційної формули [6]:

$$C_x^2 = \frac{(1-\alpha)^2 \cdot (L^\alpha - k^\alpha)}{\alpha \cdot (L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k)^2} \cdot \left(\frac{L^2 \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2}{(2-\alpha)} - \frac{\alpha \cdot (L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k)^2}{(1-\alpha)^2 \cdot (L^\alpha - k^\alpha)} \right) \quad (13)$$

де α – коефіцієнт ваги «хвоста» розподілу, що визначає «пачковість» процесу;
 L – максимальний розмір блоку даних;
 k – мінімальний розмір блоку даних.

При цьому під розміром блоку даних розуміють розмір пакет, 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.

Як досліджувану мережу було обрано мережеву область організовану на чотирьох маршрутизаторах, де один з маршрутизаторів відіграє роль ядра мережі, а інші три є 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 км зі швидкістю передачі 100 Мбіт/с (згідно з стандартом 100BASE-FX Fast Ethernet) [3].

Передбачається, що мережа обслуговуватиме до 1000 абонентів, де середня інтенсивність трафіка від кожного з них становитиме 30 кбіт/с.

Змінюючи кількість активних абонентів моделюється різна величина навантаження мережі. При цьому для моделі DiffServ в формулу 11 для розрахунку загального навантаження вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує зменшення загального навантаження, пов'язаного з відкиданням частини пакетів, що не відповідає умові 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.

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

Величини сигнальних повідомлень *Path* та *Resv* були обраховані за їх структурою. Зокрема повідомлення *Path*, крім заголовка 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 блока даних було обрано величину IP-пакета в 64 та 4000 байт відповідно.

Величина ваги «хвоста» абонентського трафіка відповідає за взаємкореляцію між трафіком та визначає його «пачковість». Зокрема для вхідного трафіка був обраний коефіцієнт ваги рівний 1,1, що відповідає його високій «пачковості». 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 «пачковість» 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. 2 та табл. 3 відповідно.

Таблиця 2. 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

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.

Таблиця 3. 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	0,0830
900	0,759	0,1000	0,1682	0,8148	1,0830
1000	0,844	0,1000	0,4678	0,8148	1,3830

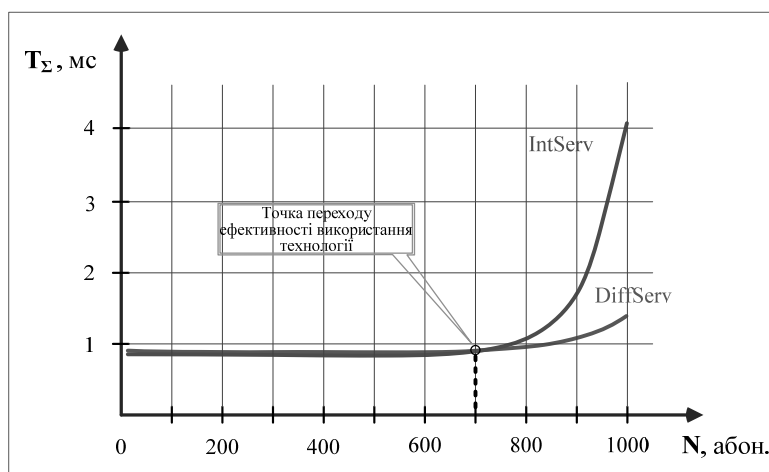


Рис. 2. Час затримки передачі за технологіями IntServ та DiffServ

Аналіз приведених графіків підтверджує вищезазначені характеристики обох механізмів. Зокрема чітко видно, що модель DiffServ є гнучкішою порівняно з IntServ, адже забезпечує менші величини затримки при великих значеннях навантаження, а отже є ефективнішою для організації великих мереж з різномірними типами трафіка. При цьому перехід на більш ефективнішу DiffServ є виправданим, починаючи з точки перетину двох графіків, що за даних умов відповідає навантаженню від 700 абонентів. Це так звана «точка переходу ефективності використання технології», що є опорною для порівняння та вибору ефективнішої технології.

У деяких випадках представлені графіки можуть не перетинатися. Це визначається співвідношеннями між заданими значеннями вихідних величин. У такому випадку аналіз доцільності застосування варто проводити з урахуванням кривизни графіка. Як правило, за такого характеру графіків, 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букатов А. А., Шаройко О. В. Методы распределения емкости телекоммуникационных каналов и обеспечения качества сетевого обслуживания // ЮГИНФО Южного федерального университета, 2008. – 23 с.
2. Герцій О. А., Гребінь Р. О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – с.191-196
3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
5. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
6. Яновский Г. Г. Качество обслуживания в сетях IP. // Вестник связи, – 2008. – №1. – с. 1-16.
7. Симонина О. А. Автореферат диссертации на тему «Модели расчета показателей QoS в сетях следующего поколения». – СПб: ГУТ, 2005. – 17 с.
8. Зелингер Н. Б., Чугреев О. С., Яновский Г. Г. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1992. – 175с.