

УДК 621.396

**Ткаченко О.М., к.т.н.; Гринкевич Г.О., к.т.н.;  
Перепелиця Н.Л., Цімура Б.В., Яворський А.О.**

### **ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ**

**Tkachenko O.N., Hrynkevych H.O., Perepelytsia N.L., Tsimura B.V., Yavorskyi A.O.  
Eestimation of capacity of communication channel.**

The state of channel is suggested to characterize the values of the controlled descriptions, and the change of capacity of channel is presented as a change of some objective function. It is suggested to use the method of gradient prognostication for prognostication of the state of channel. Parameters that characterize the state of discrete channel are analyzed. It is set that the devices of control must take into account group character of errors in communication channels and, due to it, control efficiency will rise. The methods of estimation of quality of discrete channels are considered. An algorithm that is suggested to use in a network with commutation of packages during organization of access of streams restriction in a network is described. Possibility of choice of optimal ways is considered on the basis of general and partial criteria of optimization. The methods of measuring of loading and indexes quality of service are analyzed. At measuring of loading it is expedient to use the continuous method of measuring and method of scan-out. In networks with commutation of packages at measuring of different indexes quality of service (numbers of reports, packages that expect service, to time of expectation beginning of service) it is expedient to use the methods of the direct counting out number of reports.

**Keywords:** channel, network, quality, system of technical diagnostics, discrete, commutation of packages, carrying capacity, knot of commutation

**Ткаченко О.М., Гринкевич Г.О., Перепелиця Н.Л., Цімура Б.В., Яворський А.О. Оцінка  
працездатності каналу зв'язку.**

Проаналізовано параметри, що характеризують стан дискретного каналу. Розглянуто методи оцінки якості дискретних каналів. Описано алгоритм, що пропонується використовувати в мережі з комутацією пакетів при організації обмеження доступу потоків в мережу. Розглянуто можливість вибору оптимальних шляхів на основі загальних та часткових критеріїв оптимізації. Проаналізовано методи вимірювання навантаження та показників якості обслуговування.

**Ключові слова:** канал, мережа, якість, система технічної діагностики, дискретний, комутація пакетів, пропускна спроможність, вузол комутації

**Ткаченко О.Н., Гринкевич А.А., Перепелиця Н.Л., Цімура Б.В., Яворський А.А. Оценка  
работоспособности канала связи.**

Проанализированы параметры, характеризующие состояние дискретного канала. Рассмотрены методы оценки качества дискретных каналов. Описан алгоритм, который предлагается использовать в сети с коммутацией пакетов при организации ограничения доступа потоков в сеть. Рассмотрена возможность выбора оптимальных путей на основе общих и частичных критериев оптимизации. Проанализированы методы измерения нагрузки и показателей качества обслуживания.

**Ключевые слова:** канал, сеть, качество, система технической диагностики, дискретный, коммутация пакетов, пропускная способность, узел коммутации

#### **Вступ**

**Постановка задачі.** Характеристики каналу поділяються на первинні і вторинні. Відносно параметрів для оцінювання стану каналу вторинні характеристики мають ряд переваг в порівнянні з первинними. Для них доцільно застосовувати математичний апарат, вони швидше вимірюються, їх можна моделювати.

Первинні ж характеристики визначають динамічні явища. На їх долю доводиться найбільший відсоток всіх помилок, які виникають в повідомленні, що передається. Якщо первинні характеристики, що представляють інтерес з точки зору стану каналу, є нестационарними, то в цьому випадку закони зміни характеристик відповідають певним проміжкам часу, в межах яких їх значення можна вважати стаціонарними або повільно змінними (квазістаціонарними).

© Ткаченко О.М., Гринкевич Г.О., Перепелиця Н.Л., Цімура Б.В., Яворський А.О.

**Аналіз літературних джерел.** Робота [1] присвячена методу градієнтного прогнозування для прогнозування стану каналу. Показано, що функція працездатності екстраполюється в градієнтному напрямку.

В роботі [2] досить детально розглянуто контроль стану дискретних каналів з розподілом помилок, близьким до незалежного. Проаналізовано можливість контролю стану дискретних каналів на основі одного параметра розподілу, а саме частоти помилок. Представлено досить детальну класифікацію видів контролю.

В роботі [3] розглянуто питання побудови систем технічної діагностики в мережах передачі даних з комутацією пакетів. Проаналізовано їх особливості, переваги та недоліки.

В роботі [4] наведено методи прямого відліку числа повідомлень, які доцільно використовувати в мережах з комутацією пакетів при вимірі різних показників якості обслуговування.

В роботі [5] для збору службової інформації в мережі передачі даних пропонується застосовувати наступні методи: службових повідомлень, супроводжуючої інформації, зондування. Розглянуто їх сутність та особливості використання.

**Невирішені питання.** На основі аналізу літературних джерел можна зробити *наступні висновки*. Система технічної діагностики повинна складатися з апаратних і програмних засобів, що забезпечують оцінку інформативних діагностичних ознак, по яких встановлюються умови працездатності систем. При цьому мають бути встановлені діагностичні моделі, що дозволяють шляхом обробки діагностичної інформації вибраних контрольних точок із заданою вірогідністю, глибиною і часом діагностування розпізнати класи технічного стану контрольованих систем.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є визначення характеристик каналу, які впливають на зміну його працездатності, а також порівняння методів виміру навантаження та показників якості обслуговування мережі.

Для досягнення мети розв'язуються такі наукові задачі:

- аналіз характеристик та параметрів каналу, що доцільно використовувати для оцінювання його стану;
- дослідження методів, що використовуються для оцінки якості дискретних каналів;
- порівняння методів вимірювання навантаження та показників якості обслуговування.

### **1. Визначення умов працездатності каналу**

Нехай стан каналу характеризується значеннями контрольованих характеристик  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Зміну працездатності каналу можна представити як зміну цільової функції, яка має вигляд

$$S = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Для прогнозування стану каналу скористаємося методом градієнтного прогнозування [1]. В цьому випадку функція працездатності екстраполюється в градієнтному напрямку, тобто у напрямі вектора градієнта функції працездатності. Таким чином, вектор градієнта визначає напрямок найбільшої зміни функції працездатності.

Характеристики каналу змінюють свої значення в часі, які можна представити у вигляді  $x_i = \varphi_i(t)$ . У моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_m$ , де  $t_1 < t_2 < \dots < t_m$ , значення працездатності  $S$  змінюватиметься і набуватиме значень  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , тобто маємо множину  $\{S\}$ , яка визначає простір  $D$

$$\begin{aligned} S_1 &= f(x_{11}, \dots, x_{1n}) \\ &\vdots \\ S_m &= f(x_{m1}, \dots, x_{mn}). \end{aligned}$$

Оскільки значення працездатності  $S$  залежить від аргументів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то  $S$  можна розглядати як вектор в багатовимірному просторі. Кінець багатовимірного вектора знаходиться в просторі, обмеженому гіпер-поверхнею. Положення гіперповерхні в просторі визначається максимальними значеннями вибраних характеристик, які задаються в ТЗ, вибираються за експериментальними даними або є результатом дослідження моделі. Гіперповерхня розділяє простір на дві області: область допустимих досліджуваних характеристик каналу, яка відповідає стійкій роботі каналу, і його придатності для передачі дискретних повідомлень; і область допустимих значень, яка представляє придатність каналу із-за низької достовірності передачі повідомлення.

## 2. Контроль каналів зв'язку

Параметри, що характеризують стан дискретного каналу, можуть бути розділені на прямі і непрямі. Прямими параметрами, що визначають безпосередньо якість інформації, що приймається, можуть бути:

- середня вірогідність помилкового прийому двійкового елемента (біта);
- вірогідність спотворення кодової комбінації (блоку інформації), що характеризує якість прийому з врахуванням групування помилок.

До непрямих параметрів відносяться:

- частота перезапиту, спотворених помилками блоків інформації;
- середня вірогідність помилкового прийому символів;
- відношення “сигнал–шум”;
- телеграфні спотворення;
- параметри завод.

Відношення “сигнал/шум” дозволяє досить точно характеризувати умови прийому, але вимагає здійснення того або іншого способу розділення і сигналу, і завади, що приводить до значного ускладнення пристрою контролю.

Контроль стану дискретних каналів з розподілом помилок, близьким до незалежного, заснований на контролі одного параметра розподілу, а саме частоти помилок. Якщо контроль стану проводиться по частоті потоку помилок двійкових елементів або спотворених комбінацій коду (кодових блоків), що коректує, відпадає необхідність додаткової надмірності для організації контролю і включення в апаратуру додаткових пристроїв обробки сигналу і завади [2].

Слід зазначити, що алгоритм функціонування і технічні параметри пристрою контролю істотно залежать від сфери застосування, умов роботи систем і характеристик використовуваних кодів, що коректують. При цьому пристрій має бути елементом системи і повинен розглядатися як один з його функціональних вузлів (підсистем) з врахуванням спільних технічних вимог.

Реальні дискретні канали характеризуються складним груповим розподілом помилок. Тому природно, що способи контролю, засновані на аналізі статистики незалежних випробувань стають неадекватними при їх застосуванні на реальних каналах. Це диктує необхідність створення пристроїв контролю, що дозволяють в тій чи іншій мірі врахувати груповий характер помилок в каналах зв'язку і, таким чином, підвищити ефективність контролю.

Канали зв'язку контролюються по таких параметрах, як рівень прийому, тривалість і інтенсивність короткочасних перерв зв'язку, амплітуда і тривалість імпульсних завод,

статистичні характеристики завад, величина зсуву частоти, відхилення амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик, частоти і величини викидів фази сигналу. Одним з найбільш складних завдань контролю елементів мережі є контроль якості дискретних каналів, що формують мережу ПДС. Одним з основних методів є оцінка станів якості каналів, які кваліфікуються як працездатний і непрацездатний стан. Працездатний дискретний канал зазвичай має стаціонарні і нестаціонарні стани, а нестаціонарні стани можуть характеризуватися чергуванням стаціонарних станів або параметрів в часі.

Якість дискретних каналів поряд з конструктивними даними непрямо оцінюється якістю передачі інформації по каналах:

- методом оцінки через параметри завад;
- методом оцінки через параметри сигналів;
- методом оцінки через вторинні статистичні характеристики сигналів (спотворень елементів, дроблень імпульсів, помилок).

Результати цих оцінок використовуються як для встановлення технічного стану (діагностування, прогнозування) каналу передачі даних, так і для підвищення вірогідності послідовності сигналів, що приймається.

### **3. Організація обмеження доступу в мережу**

У мережі з комутацією пакетів різке і глибоке падіння пропускної спроможності викликає лавиноподібне поширення явища блокування по всіх вузлах комутації, що в лічені секунди може привести до блокування всіх елементів мережі. Тому система управління повинна забезпечити оперативне і надійне обмеження доступу потоків в мережу шляхом виставлення порогів  $\{K\}$  і розсилки необхідної службової інформації до всіх абонентів (інтерфейсів).

З цією метою пропонується використовувати алгоритм, суть якого полягає в утворенні замкнутих ненаправлених шляхів, які покривають всі вершини графа, що відображає мережу, і проходять через центральну вершину [3].

Службове повідомлення, що несе інформацію про всі пороги  $\{K\}$ , з центру управління мережею лавиною передається на всі суміжні вузли комутації. На кожному вузлі комутації запам'ятовується гілка, з якої прийшло першим службове повідомлення. З повідомлення прочитується призначена для даного вузла інформація про пороги  $\{K\}$ , після чого проводиться зміна старих порогів на нові  $\{K\}$ . У саме ж повідомлення заноситься квитанція про доведену команду (поріг). Додаткове службове повідомлення прямує у всі суміжні з даним вузлом вузли комутації.

На кожному вузлі запам'ятовуються гілки, по яких надійшли службові повідомлення за часом другими, третіми і т.д. Ці повідомлення без змін повертаються назад по шляху прибуття першого за часом повідомлення. При поверненні службового повідомлення з квитанціями в центр управління у випадку виходу з ладу однієї з гілок, що входить в найкоротший шлях повернення, повідомлення прямують по шляху переходу другого за часом службового повідомлення, а в разі відмови і цього шляху – по шляху третього і т.д. Тим самим забезпечується як висока надійність і оперативність доведення службових повідомлень, так і висока надійність і оперативність збору квитанцій про виставлені пороги, що виключає повторну передачу службового повідомлення з центру управління мережею.

Слід зазначити, що навіть при досить оперативних алгоритмах обмеження навантаження блокування повністю не унеможливаються, що вимагає додаткових заходів по боротьбі з блокуваннями. Такі заходи забезпечуються алгоритмами управління внутрішніми потоками, тобто тими потоками, які вже допущені в мережу.

### **4. Критерії вибору оптимальних шляхів**

Існують загальні і часткові критерії оптимізації. При статистичній маршрутизації, як правило, використовуються загальні критерії і проводиться системна оптимізація, тоді як при

адаптивній маршрутизації найчастіше приймаються часткові критерії і відбувається вибір оптимального шляху з точки зору користувача. Природно, призначена для користувача оптимізація не гарантує системної оптимізації, проте в деяких випадках вони можуть давати практично однакові результати.

За рідким виключенням алгоритми маршрутизації, що використовують часткові критерії, засновані на алгоритмах вибору шляху в графі, тобто здійснюється вибір мінімального по “вазі” шляху. За “вагу” шляху (критерій, що оптимізується) приймається певний параметр мережі, який необхідно мінімізувати по заданому алгоритму. Параметрами можуть служити довжина лінії, число транзитних ділянок в шляху, сумарна затримка при передачі по даному шляху і т.д.

Наприклад, у відомому методі рельєфів в якості критерію оптимальності береться число транзитних центрів комутації в шляху. Шлях, де число транзитних центрів комутації пакетів (ЦКП) найменше, вибирається за оптимальний. Головний недолік цього методу – нечутливість до затримок в чергах.

При формуванні ваги шляху вирішальне значення має доступна в даний момент динамічна інформація про стан мережі. Якщо є можливість обчислити або виміряти завантаження ліній, що входять в маршрут, то можливе застосування декількох стратегій вибору шляху. Наприклад, якщо маршрут вибирається по максимальній залишковій пропускній спроможності, то пропонується використовувати наступне правило вибору маршруту

$$\max_{\gamma} \{ \min(c_i(1 - \rho_i)) \},$$

де  $\gamma$  – сумарне вихідне навантаження;  $c_i$  – пропускна спроможність лінії зв'язку;  $\rho_i$  – вірогідність використання лінії.

Важливим показником, що характеризує ефективність методу маршрутизації, є середній час доведення службової інформації і її об'єм. Під середнім часом  $T_c$  розумітимемо статистично усереднене значення інтервалу часу між моментами виникнення службового повідомлення і моментом зміни маршрутної таблиці (МТ) у всіх ВК мережі, що викликане цим службовим повідомленням.

Наявність службової інформації викликає погіршення якості обслуговування запитів користувачів, тому при тому або іншому методі адаптивної маршрутизації доцільно оцінювати об'єм службової інформації по ступеню погіршення якості обслуговування.

Для оцінки ефективності для мереж з КП можуть використовуватися і інші підходи. В цьому випадку як міра оцінки ефективності можуть виступати продуктивність, об'єм передаваних повідомлень, накладні витрати і т.п. Проте внаслідок складності аналітичного вирішення більшість оцінок і порівнянь адаптивної маршрутизації в даний час традиційно базуються на імітаційному моделюванні і результатах вимірів.

## **5. Методи вимірювання навантаження і показників якості обслуговування**

Вимір навантаження і показників якості обслуговування може проводитися з метою:

- технічної експлуатації, прогнозування навантаження;
- вивчення потоків навантаження і якості, накопичення статистичних даних.

Залежно від мети вибираються методи виміру, вимірювальні прилади і вимірювані показники (об'єм і періодичність виміру, час їх проведення і т. д.), тобто до системи вимірів в цілому пред'являються різні вимоги. Ці вимоги також залежать від методу комутації, що використовується на мережі. Крім того, система вимірів повинна дозволяти вести контроль за такими чинниками, які в сукупності можуть значно збільшити навантаження, змінити характер його надходження і значно понизити якість обслуговування.

Необхідно підкреслити, що вимірюється лише обслуговуване навантаження, наприклад, його інтенсивність  $y$ . Інтенсивності вхідного  $s$  та втраченого  $x$  навантажень не можуть бути

виміряні, оскільки не може бути виміряна тривалість необслуговуваного виклику або об'єм непереданого повідомлення. Тому значення  $c$  і  $x$  визначаються розрахунком через  $y$ , якщо виміряні показники якості обслуговування, а саме вірогідність своєчасної доставки повідомлень  $Q$  або величина втрат.

При вимірі навантаження доцільно використовувати безперервний метод виміру і метод сканування. При безперервному методі виміру за відрізок часу від  $0$  до  $T$  навантаження  $H$  дорівнює сумі навантажень  $H_i$  по інтервалах  $n$  обслуговуючого пристрою, на якому проводиться вимір

$$H = \sum_{i=1}^n H_i.$$

Якщо отримане таким чином навантаження  $H$  розділити на загальний час вимірів в годинах, тобто віднести до одиниці часу, то шукана величина буде інтенсивністю навантаження  $y$ ;

$$y = \frac{H}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{\sum_{i=1}^n t_i}.$$

Метод сканування полягає в підрахунку числа зайнятих приладів в окремі моменти часу. Відомо, що середнє значення навантаження за період виміру дорівнює середньому числу одночасно зайнятих приладів. В цьому випадку

$$H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n k_i,$$

де  $k$  – число одночасно зайнятих пристроїв при  $i$ -му скануванні;  $N$  – загальне число сканувань.

Оскільки за навантаженням не ведеться безпосереднього спостереження, то метод сканування вносить погрішність і виявляється менш точним в порівнянні з безперервним методом.

Середня помилка при визначенні навантаження  $H$  визначається за формулою Пальма:

$$dH = H \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \frac{1+e^\alpha}{1-e^{-\alpha}} (\alpha - 2)},$$

де  $n$  – число занять;  $\alpha$  – відношення інтервалу  $\Delta t$  між двома моментами сканування (інтервалами сканування) до середнього часу заняття  $\Theta$ .

Для визначення інтенсивності обслуговуваного навантаження необхідно отримане значення навантаження  $H$  розділити на загальний інтервал часу вимірів.

У мережах з КП при вимірі різних показників якості обслуговування (числа повідомлень, пакетів, що очікують обслуговування, часу очікування початку обслуговування і т. д.) доцільно використовувати методи прямого відліку числа повідомлень. Вони засновані на прийомі імпульсів для кожної події і накопичення їх в пакети (наприклад, в лічильниках). В сучасних ВК навантаження і показники якості обслуговування вимірюються програмними методами [4].

#### **Висновки**

Залежно від мети вибираються методи виміру, вимірювальні прилади і вимірювані показники (об'єм і періодичність виміру, час їх проведення і т. д.), тобто до системи вимірів в цілому пред'являються різні вимоги. Ці вимоги також залежать від методу комутації, що використовується на мережі. Крім того, система вимірів повинна дозволяти вести контроль

за такими чинниками, які в сукупності можуть значно збільшити навантаження, змінити характер його надходження і значно понизити якість обслуговування.

При вимірі навантаження доцільно використовувати безперервний метод виміру і метод сканування.

У мережах з КП при вимірі різних показників якості обслуговування (числа повідомлень, пакетів, що очікують обслуговування, часу очікування початку обслуговування і т. д.) доцільно використовувати методи прямого відліку числа повідомлень.

### **Література**

1. Сокол Ш. Прогнозирование состояний дискретного канала / Ш. Сокол – Л.: ЛЭИС, 1985. – 17 с.
2. Коричнев Л.П., Королев К.Д. Статистический контроль каналов связи / Л.П. Коричнев, К.Д. Королев – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с.
3. Арипов М.Н., Присяжнюк С.П., Шарифов Р.А. Контроль и управление в сетях передачи данных с коммутацией пакетов / М.Н. Арипов, С.П. Присяжнюк, Р.А. Шарифов – Ташкент: ФАН, 1988. – 160 с.
4. Захаров Г.П., Архипов М.Н. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи данных / Г.П. Захаров, М.Н. Архипов – М.: Радио и связь, 1989. – 360 с.
5. Журавин А.И., Родионов А.В. Управление сетями связи: Учебное пособие / А.И. Журавин, А.В. Родионов – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1989. – 50 с.

### *Автори статті*

**Ткаченко Ольга Миколаївна** - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38 050 647 57 77. E-mail: okar@ukr.net.

**Гринкевич Ганна Олександрівна** - к.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38 067 440 52 75. E-mail: ggrynkevych@i.ua.

**Перепелиця Наталя Леонідівна** - старший викладач кафедри телекомунікаційних систем, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38 0 97 523 27 34. E-mail: natasha484@mail.ru.

**Цімура Богдан Васильович** - магістр, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38 093 144 40 30. E-mail: cimura@mail.ru.

**Яворський Антон Олександрович** - магістр, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380 68 530 11 98. E-mail: xoper@mail.ua.

### *Authors of the article*

**Tkachenko Olha Mykolaivna** – candidate of Science (technic), assistant professor, assistant professor of Department of Telecommunication systems, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +38 050 647 57 77. E-mail: okar@ukr.net.

**Hrynkevych Hanna Oleksandrivna** – candidate of Science (technic), assistant professor, assistant professor of Department of Telecommunication systems, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 093 996 26 02. E-mail: ggrynkevych@i.ua.

**Perepelytsia Natalia Leonidivna** – senior teacher of Department of Telecommunication systems, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 097 523 27 34. E-mail: natasha484@mail.ru.

**Tsimura Bohdan Vasyl'ovych** - master of engineering, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 093 144 40 30. E-mail: cimura@mail.ru.

**Yavorskyi Anton Oleksandrovyich** - master of engineering, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 068 530 11 98. E-mail: xoper@mail.ua

Дата надходження в редакцію: 01.08.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Власов