

УДК 654.16.018 (043.2)

М.Г. Луцький, А.С. Муранов, О.С. Муранов

Національний авіаційний університет, Київ

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ ПАКЕТНИХ МЕРЕЖ

*Визначено залежності між швидкістю передавання диференційованих потоків у реальних каналах з фіксованими смугами пропускання та показниками завадостійкості телекомунікаційної системи (ТКС) для типових умов функціонування ТКС. Визначено вплив параметрів телекомунікаційного обладнання на якість обслуговування клієнтів пакетних мереж.*

**Ключові слова:** пакетна мережа, технічні засоби, якість обслуговування, диференційне обслуговування з гарантованим сервісом.

### Вступ

Адаптивний перерозподіл ресурсів телекомунікаційних мереж (ТКМ) між потоками клієнтських застосувань, навіть у разі пульсацій трафіку, повинен гарантовано забезпечити виконання умов сервісних угод у розрізі кожного клієнта. Щоб мати можливість здійснювати такий перерозподіл, необхідно знати залежності між характеристиками обслуговування, що задані умовами сервісних угод, та ресурсними параметрами телекомунікаційного обладнання (ТКО), що виділені клієнтським застосуванням. Отже, визначення таких залежностей являє актуальне завдання.

У даній роботі визначено залежність між швидкістю передавання диференційованих потоків у реальних каналах з фіксованими смугами пропускання та показником завадостійкості телекомунікаційної системи. Ця залежність являє практичний інтерес, оскільки звісно, що підвищення швидкості передачі веде до погіршення завадостійкості каналу і, отже, до погіршення показника помилок, величина якого, як правило, обумовлюється в сервісних угодах. Тому механізм адаптивного перерозподілу має можливість підвищувати швидкість кожного конкретного клієнтського потоку лише до певної межі, що задана в умовах сервісної угоди.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Сучасне ТКО, як показав аналіз технічної документації на виробі провідних постачальників ТКО-комутаторів, маршрутизаторів, серверів, шлюзів, іншого вузлового обладнання ТКМ, у повній мірі забезпечене програмно-апаратними засобами та механізмами технічної підтримки системи диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом (ДОГС) [1-4]. У той же час відомості щодо конкретних способів побудови системи ДОГС у звісних публікаціях не наводяться. Припускається, що в залежності від умов використання ТКО та характеристик прикладних застосувань, оператор електрозв'язку та (або) сервіс-провайдер

має самостійно розробити відповідну систему обслуговування. Проте впровадження системи ДОГС на ресурсах конкретної ТКМ передбачає необхідність аналізу технологічної схеми її функціонування та визначення основних характеристик, зокрема параметрів якості обслуговування, а також параметрів так званої мережної досконалості, що характеризують ступінь досконалості ТКО щодо можливостей перерозподілу його ресурсів між потоками клієнтів. Більше того, необхідно визначити залежність характеристик обслуговування (зокрема параметрів якості обслуговування) від параметрів ТКО. Наприклад підтримка заданих у сервісних угодах із клієнтами (ServiceLevelAgreement – SLA) показників якості ДОГС забезпечується шляхом адаптивного перерозподілу у реальному часі ресурсів ТКМ, зокрема швидкості передавання диференційованих потоків та виділених для них каналних смуг. Проте підвищення швидкості передачі у каналі із заданою смугою веде до погіршення завадостійкості каналу і, отже, до погіршення показника помилок щодо прийнятих пакетів IPER. Тому адаптивне керування параметрами каналу потребує однозначного визначення залежності між швидкістю передачі даних і показниками завадостійкості каналу.

**Загальна постановка завдання.** Уведемо умову: механізм перерозподілу має оптимальним чином налаштовувати параметри ТКО на підтримку ДОГС відповідно до прийнятого критерію оптимальності. Тому під час оптимізації роботи ТКО (зокрема пакетних комутаторів та/або маршрутизаторів) необхідно використати аналітичну математичну модель (ММ) каналу передавання даних (КПД), що адекватно відображає реально існуючі функціональні взаємозв'язки між параметрами такого каналу. Необхідно на основі параметричної оптимізації названої вище моделі виявити залежність між швидкістю передавання даних (ПД) та показником завадостійкості каналу, який, у свою чергу, має враховувати вплив як параметрів фізичного середовища

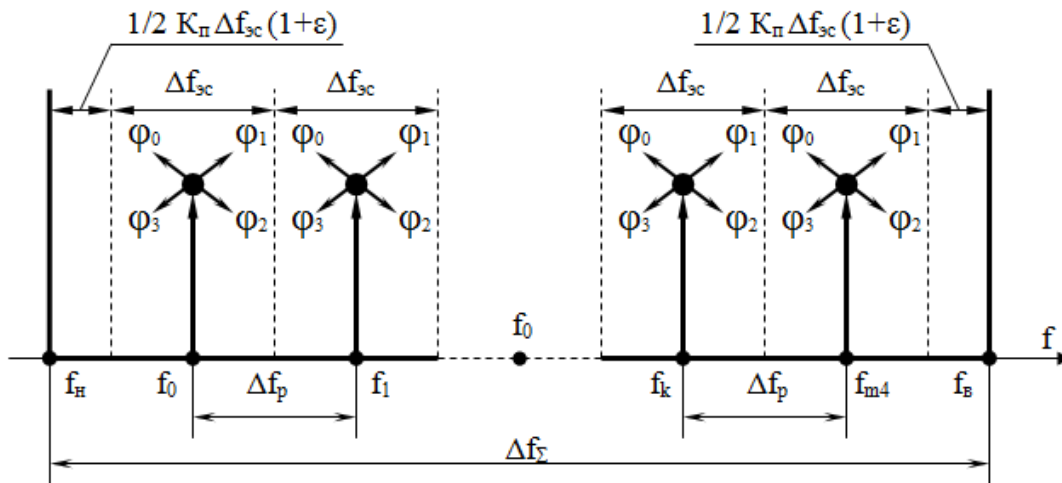


Рис. 1. Розташування позицій сигналу у смузі частот каналу

розповсюдження сигналів-носіїв інформації, так і параметрів самих сигналів. Знання цієї залежності дозволить оптимальним чином побудувати механізм адаптивного перерозподілу телекомунікаційних ресурсів між клієнтськими застосуваннями, що є необхідним елементом технічного забезпечення системи ДОГС. Зокрема отримані вирази після вибору відповідних критеріїв оптимізації мають слугувати для визначення оптимальних діапазонів припустимих значень параметрів КПД, котрі, у свою чергу, слугуватимуть у якості вихідних даних для побудови системи ДОГС.

Ціль роботи – визначення залежності між швидкістю передавання диференційованих потоків у реальних каналах з фіксованими смугами пропускання та показниками завадостійкості телекомунікаційної системи для типових умов функціонування ТКС. Визначення впливу параметрів ТКО на якість обслуговування клієнтів пакетних мереж.

### Розташування сигналу у смузі частот каналу

В якості носіїв інформації використані відрізки гармонічного коливання (так звані «елементарні послілки сигналів») виду:

$$X_{j,l}^{(k)}(t) = A_j \sin(2\pi f_k t + \psi_l), \quad t \in [0, \tau], \quad (1)$$

де  $X_{j,l}^{(k)}(t)$  – послілка на виході передавальної частини обладнання КПД, що розташована на  $k$ -ій частотній позиції сигналу (див.рис.1);  $A_j$  –  $j$ -та амплітудна позиція сигналу,  $j \in [0, m_a - 1]$ ;  $f_k$  –  $k$ -та частотна позиція сигналу,  $k \in [0, m_q - 1]$ ;  $\psi_l$  –  $l$ -та фазова позиція сигналу,  $l \in [0, m_\phi - 1]$ ;  $m_a$ ,  $m_q$ ,  $m_\phi$  – відповідно кількість амплітудних, частотних і фазових позицій сигналу.

Можливі позиції сигналів у смузі частот КПД для випадку  $m_a = 2$  та  $m_\phi = 4$  слід розташувати

так, як це показано на рис. 1. Розглядати потрібно ортогональні щодо частоти зразки сигналів на інтервалі  $[0, \tau]$ , що мають однакову енергію  $E = A^2$ .

Зробимо розтин сигналу (1) на ортогональні складові

$$X_1^{(k)}(t) = \sum_{k=0}^{m_q-1} (A \cos \psi_{k,1} \cdot \sin \omega_k t + A \sin \psi_{k,1} \cdot \cos \omega_k t) \quad (2)$$

та використаємо геометричне уявлення сигналів у вигляді векторів у  $2 \cdot m_q$ -мірному просторі.

Геометричне уявлення позицій сигналів для випадку  $m_a = 1$ ,  $m_q = 2$ , та  $m_\phi = 4$  показано на рис. 2. У цьому випадку відстань між кінцями векторів, що відображають будь-які два сигнали із заданої множини, визначиться формулою:

$$d = \left[ \sum_{k=0}^{m_q-1} E(\cos \psi_{k,1} - \cos \psi_{k,j})^2 + \sum_{k=0}^{m_q-1} E(\sin \psi_{k,1} - \sin \psi_{k,j})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Із формули (3) можна отримати такі вирази:

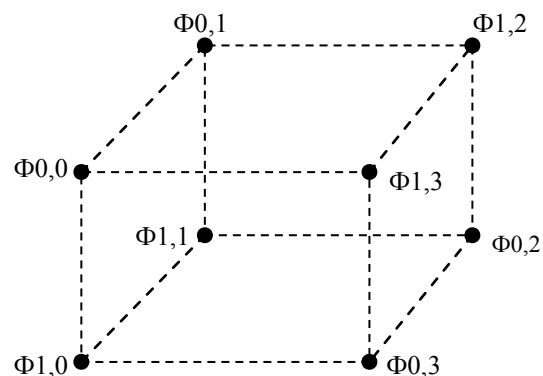


Рис. 2. Геометричне представлення багатопозиційного сигналу

– для мінімальної відстані між будь-якою парою  $\{x_i^{(k)}, x_j^{(k)}\}$  із підмножини сигналів з однаковими частотними позиціями при  $k \in [0, m_{\text{ч}} - 1]$  і  $i \neq j$ :

$$\min d_{\text{MФ}} = 2\sqrt{E} \cdot \sin \frac{\pi}{m_{\text{ф}}}; \quad (4)$$

– для відстані між будь-якою парою  $\{x_i^{(k)}, x_j^{(k)}\}$  із різними частотними позиціями при  $k \neq n$  (ця відстань за прийнятих умов інваріантна до значень частотних та фазових компонент сигналів):

$$\min d_{\text{ЧМ}} = \sqrt{2E}. \quad (5)$$

### Математична модель каналу передавання даних

Потрібно вирішити задачу синтезу та оптимізації параметрів моделі КПД. Для цього слід задати параметрами маніпуляційного кодера/декодера моделі завад та моделі аналогового каналу. Із урахуванням саме цих параметрів знайти аналітичні вирази залежностей між швидкістю ПД та показниками завадостійкості каналу.

Математична модель Визначається рівняннями для швидкості передачі інформації (R), імовірності помилкового прийому біта (p) і займаної системою смуги частот безперервного каналу (БК) ( $\Delta f_{\Sigma}$ ):

$$p = \frac{1}{2k_3 k_{\text{и}} \log_2 m} \left\{ \beta (m_{\text{ч}} - \beta) \exp \left( -\frac{h^2 \tau}{2\beta Q} \right) + \exp \left( -\frac{h^2 \tau}{\beta Q} \sin^2 \frac{\pi}{m_{\text{ф}}} \right) \right\}; \quad (6)$$

$$R = \frac{(k_3 k_{\text{и}} \log_2 m)}{\tau}; \quad (7)$$

$$\Delta f_{\Sigma} = \frac{m + k_{\text{п}} + \varepsilon (m_{\text{ч}} - 1)}{\tau}, \quad (8)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт ентропії джерела повідомлень;  $k_{\text{и}}$  – коефіцієнт нестатистичної надмірності повідомлень;  $m$  – загальна кількість позицій сигналу;  $m_{\text{а}}$ ,  $m_{\text{ч}}$  та  $m_{\text{ф}}$  – кількість позицій сигналу відповідно за амплітудою, частотою та фазою;  $\beta$  – кількість одночасних, відмінних за частотою, реалізацій сигналу-носія на одному тактовому інтервалі;  $k_{\text{п}}$  – відмінність між сумарною ефективною шириною смуги частот елементарних сигналів та смугою, що займає модем;  $\tau$  – тривалість елементарного сигналу, який відповідає символу коду на виході маніпуляційного кодера;  $h^2$  – відношення сили сигналу до спектральної щільності сили завади на вході демодулятора з урахуванням параметрів частотних характеристик БК.

Як бачимо, вирази (6) – (8) відображають аналітичні залежності між швидкістю передачі даних і показниками завадостійкості каналу, що визначені з

урахуванням впливів як параметрів фізичного середовища поширення сигналів-носіїв інформації (в основному параметрів АЧХ і ФЧХ каналу), так і параметрів самих сигналів. Наведена математична модель КПД із контрольованою точністю відбиває реально існуючі функціональні взаємозв'язки між параметрами таких каналів.

### Параметрична оптимізація моделі каналу

Поставимо задачу параметричної оптимізації КПД згідно із системним підходом на основі концепції задачі про оптимальний розподіл ресурсів. У якості критеріального параметру оберемо ймовірність помилкового прийому біта  $p$ , а у множину параметрів каналу, що підлягають оптимізації, включимо такі елементи: кількість позицій сигналу за амплітудою, частотою та фазою ( $m_{\text{а}}$ ,  $m_{\text{ч}}$  та  $m_{\text{ф}}$ ); кількість паралельних субканалів (тобто кількість одночасних реалізацій елементарного сигналу на одному тактовому інтервалі)  $\beta$ ; параметр укрупнення та розукрупнення алфавіту (тобто параметр маніпуляційного декодера)  $k_{\text{м}}$ ; параметр, що враховує розташування спектрів сигналів у смузі каналу  $k_{\text{п}}$  (цей параметр характеризує відмінність сумарної ефективної смуги частот елементарних сигналів від смуги пропускання обладнання каналу зв'язку);  $\varepsilon$  – коефіцієнт, що характеризує відмінність ефективної ширини спектру елементарного сигналу від величини відстані між сусідніми частотними позиціями сигналів.

Рішення задачі зведемо до визначення числових значень оптимізаційних параметрів, при котрих значення ймовірності помилкового прийому біту  $p$  у демодуляторних пристроях обладнання каналу є мінімальним за умов фіксованих значень швидкості ПД, смуги частот каналу та відношення сигнал/завада. Параметри аналогового каналу та джерела повідомлень за цих умов будемо вважати відомими.

Суть алгоритму рішення такої задачі полягає в наступному (рис. 3). Здійснюється розбивка параметричної моделі КПД на кілька рівнів ієрархії, визначивши в якості оптимізаційного на першому з них параметр  $\beta$  (підклас), на другому рівні – параметр  $m_{\text{ф}}$  (підгрупа) і на третьому – параметр  $k_{\text{м}}$  (підпідгрупа). Шукаються оптимальні рішення для кожної підгрупи у розрізі всіх підпідгруп. Шляхом зіставлення отриманих рішень вибирають кращі з них, одержуючи в такий спосіб оптимальні рішення для всіх підкласів. Далі, зіставляючи ці рішення й вибираючи кращі, одержують, нарешті, оптимальне рішення щодо всієї моделі.

Для спрощення рішення з усієї множини можливих значень параметра  $m$  відбираються тільки потенційно оптимальні  $m_{\text{опт}}^{\text{пот}}$ . Реалізація такого

алгоритму дозволяє замінити оптимізацію за критерієм  $\min p$  оптимізацією за відносно більш простим критерієм  $\max F_0$ , де

$$F_0 = k_n \log_2 m. \quad (9)$$

Однак функціональний зв'язок між  $F_0$  й  $p$  є досить складним:

$$p = \exp(-\alpha \cdot F_0 / \varphi(\beta) - \ln F_0 + b - 0,7) + \exp(-\alpha \cdot F_0 \cdot \varphi(m_\phi) / \varphi(\beta) - \ln F_0 - 0,7), \quad (10)$$

тому використовувалась апроксимація у вигляді:

$$p = \exp(-\alpha F), \quad (11)$$

де 
$$\alpha = h^2 / 2R \quad (12)$$

$$F = F_0 \cdot \frac{(1 + k_M / n_n) \log_2 N}{\log_2 N_H / \log_2 m_{i, \text{опт}}} \cdot \frac{\psi(m_\phi)}{\beta^Q} \quad (13)$$

У виразі (13)  $\psi(m_\phi)$  визначається як:

$$\psi(m_\phi) = \begin{cases} 1, & m_\phi \leq 4; m_\phi \geq 2 \\ 2 \cdot \sin^2(\pi / m_\phi), & \begin{cases} m_\phi \geq 6; m_\phi \geq 2 \\ m_\phi = 1; m_\phi \geq 2 \end{cases} \end{cases} \quad (14)$$

Оскільки в апроксимуючій функції  $\alpha F$  величина  $\alpha$  є фіксованим співмножником, то це дозволяє замінити пошук  $\max(\alpha F)$  на пошук  $\max F$ , тобто одержати інваріантне відносно  $\alpha$  рішення оптимізаційної задачі.

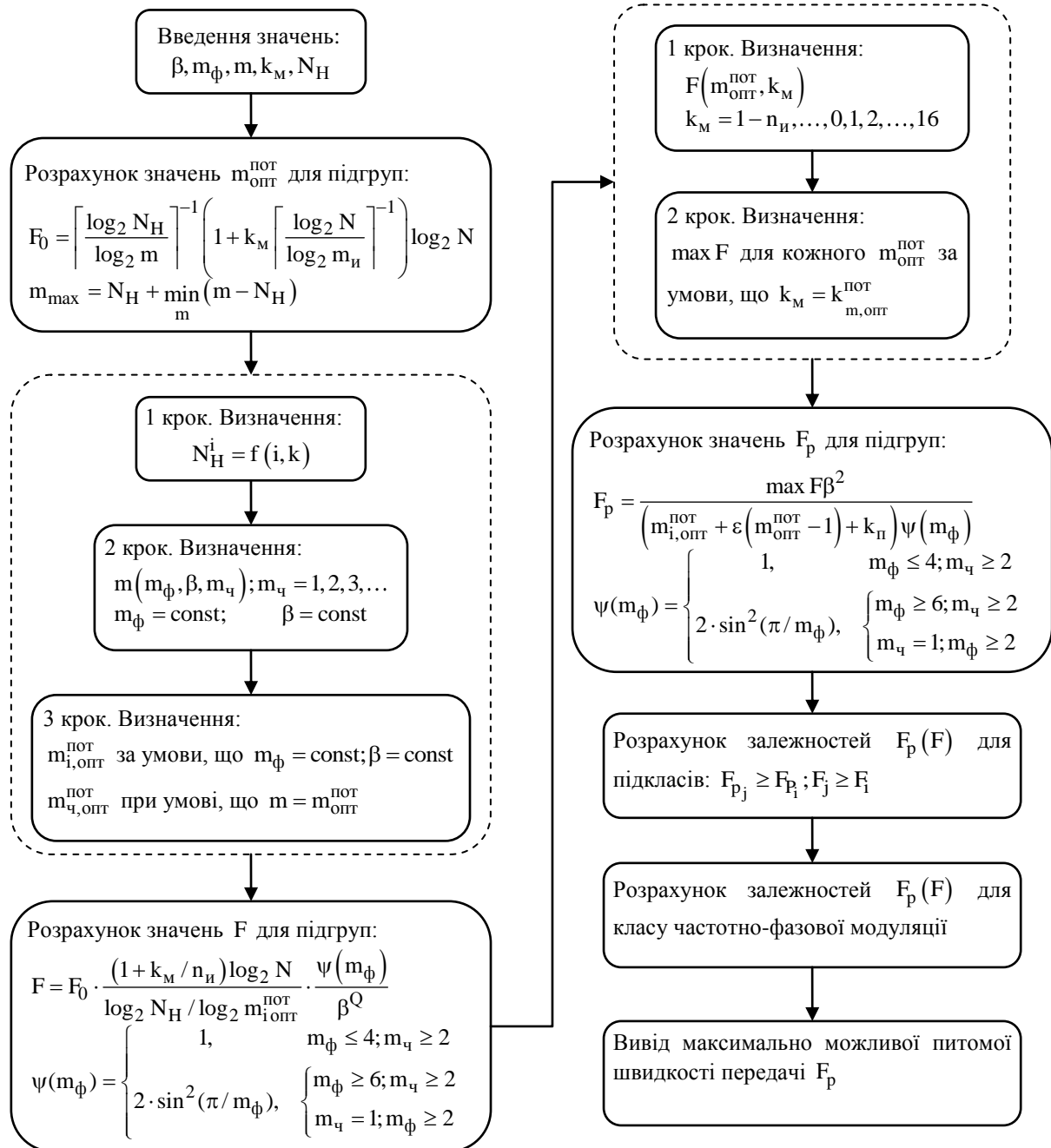


Рис. 3. Структурно-аналітична модель методу оптимального розподілу інформаційних ресурсів каналу передавання даних

І, отже, у цьому випадку оптимізаційна задача зводиться до пошуку  $\max F$  згідно формули (13) з урахуванням обмеження

$$r_c = R / \Delta f_k \leq F_p, \quad (15)$$

де  $F_p$  – гранично можлива питома швидкість передавання при заданих значеннях  $p$  й  $\Delta f_k$ , що дорівнює:

$$F_p = \frac{k_3 k_{\Pi} \log_2 m}{m_q + k_{\Pi} + \varepsilon(m_q - 1)}. \quad (16)$$

У процесі оптимізації моделі каналу в якості міри завадостійкості обрана величина  $F$ , оскільки має місце співвідношення  $p \approx \exp(-\alpha F)$ , де  $\alpha = h^2 / (2R)$ , причому  $h^2 = \text{const}$  й  $R = \text{const}$

### Висновки (результати оптимізації)

Оптимальні криві для значень  $\beta = 1 - 5$  при  $N=32$  і  $k_{\Pi} = 0$  показані на рис. 4, з якого видно, що оптимальною є крива при  $\beta=1$ . Кожна точка на оп-

тимальній кривій характеризує граничні можливості каналу щодо швидкості передачі інформації та завадостійкості. Аналогічні криві отримані для різних сполучень  $k_{\Pi}$  й  $N$ .

На рис. 4 та 5 для прикладу показані графіки залежності  $F_p(F)$ . Зокрема на рис. 5 показані дві оптимальні криві: при  $N = 32$ ,  $k_{\Pi} = 1$  і при  $N = 256$ ,  $k_{\Pi} = 0$ . Точки на графіках пронумеровані одна за одною. Кожному номеру точки відповідають оптимальні значення  $m_q$ ,  $m_{\phi}$ ,  $k_M$ , а також граничні значення  $F_p$  й  $F$ .

Проведено аналіз впливу параметрів системи передавання на результати рішення вищезазначених оптимізаційних задач, а також порівняння характеристик ЧМ, ФМ та АЧФМ. Показано, що АЧФМ переважає за своїми характеристиками ЧМ та ФМ у діапазоні питомих швидкостей 0,5-1,8 [(біт/с)/Гц].

Значення виграшу  $F$  за потужністю або довжиною послідовки знаходиться у межах 1,3 – 5

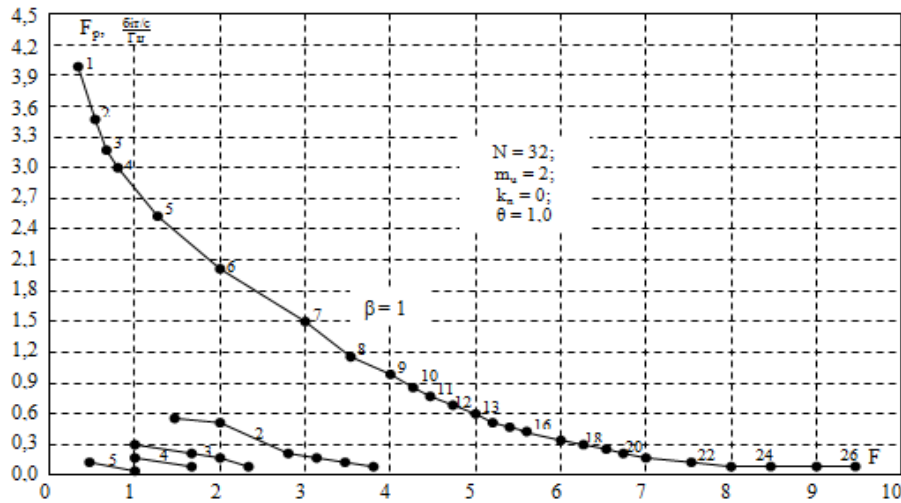


Рис. 4. Залежність  $F_p$  від  $F$  для  $\beta = 1, 2, \dots, 5$

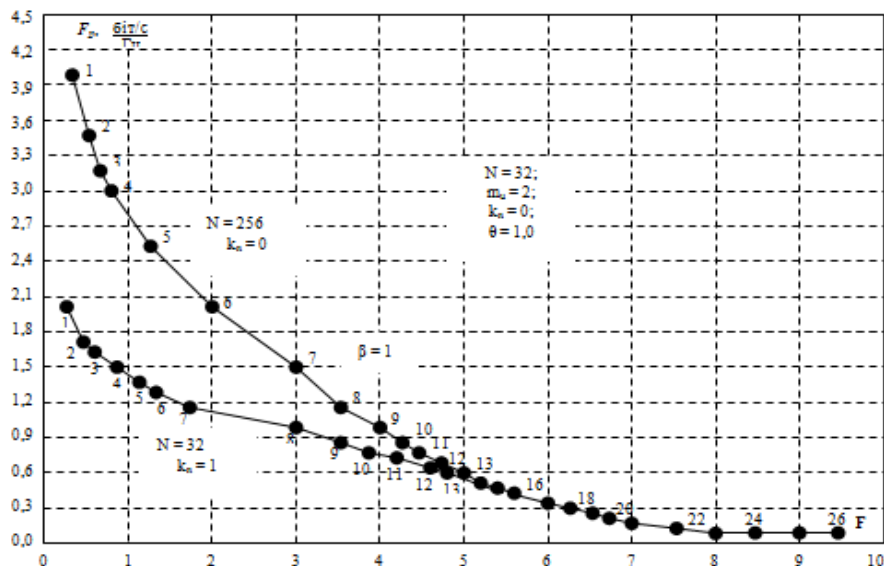


Рис.5. Залежність  $F_p$  від  $F$  для  $N = 32$  й  $N = 256$

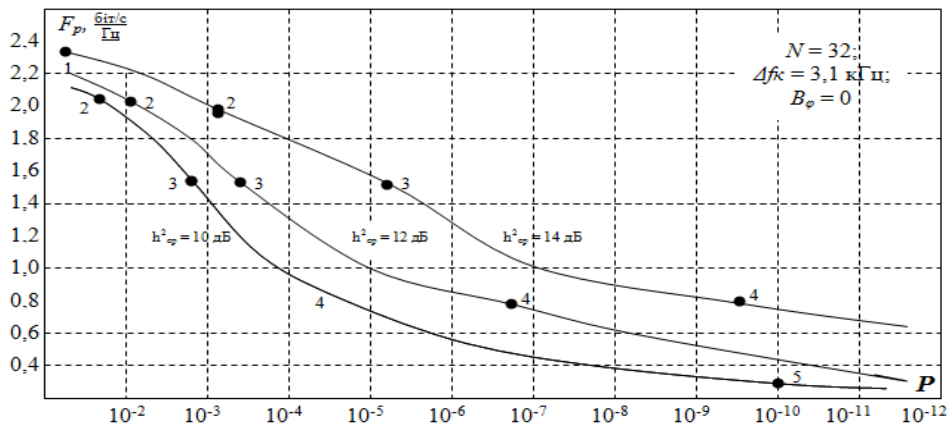


Рис. 6. Результати оптимізації для моделі реального каналу

( $p \approx \exp(-\alpha F)$ , де  $\alpha = h^2 / (2R)$ ). Із ростом питомих швидкостей виграш  $F$  зменшується.

Результати рішення оптимізаційної задачі при  $N = 32$ ,  $m_{\text{и}} = 2$ ,  $b_{\text{ф}} = 0$  для трьох значень  $h^2_{\text{порівн}}$ , що дорівнюють відповідно 10 дБ, 12 дБ й 14 дБ, відбиті на рис. 6 у вигляді родини графіків залежності  $F_p = F(p)$ , де  $F_p = R / \Delta f_k$ . Дані відносяться до випадку передачі зі стандартними швидкостями 1200, 2400, 4800, 6400, 7200 [біт/с] через канал  $\Delta f_k = 3,1$  кГц і лінійної ФЧХ.

Аналізуючи графіки на рис. 6, можна зробити наступні висновки:

- із збільшенням значень  $h^2_{\text{порівн}}$  при  $F_p = \text{const}$  завадостійкість системи поліпшується (імовірність помилки  $p$  зменшується);
- із збільшенням значень параметра  $F_p$  значення ймовірності помилкового прийому біта  $p$  у демодуляторах приймачів при  $h^2_{\text{порівн}} = \text{const}$  зменшується, причому швидкість зміни  $p$  у міру збільшення  $F_p$  спочатку зменшується, а потім при  $F_p$  більше 1,0 - 1,6 (біт/с) / Гц зростає, тобто на кривих  $F_p = F(p)$  при  $h^2_{\text{порівн}} = \text{const}$  утворюються точки перегину;
- у діапазоні середніх питомих швидкостей ( $F_p$  менше 1,55 (біт/с) / Гц оптимальною є АЧФМ;

– у діапазоні питомих швидкостей вище 2,0 (біт/с) / Гц оптимальною є багатократна ФМ;

– у міру зростання значень  $F_p$  у класі модемів із АЧФМ значення параметра  $k_{\text{п}}$  зменшуються;

– вплив параметрів  $m_{\text{ф}}$ ,  $m_{\text{ч}}$  і  $k_{\text{м}}$  на результати оптимізації підкоряється тим же закономірностям, що й для розглянутого вище випадку передавання інформації через ідеальний смуговий канал.

## Список літератури

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Олифер В. Г., Олифер Н. А. – СПб: Питер, 2001. – 672 с.
2. Коначович Г. Ф. Сети передачи пакетных данных / Коначович Г. Ф., Чуприн В. М. – К.: МК-Пресс, 2006. – 272 с.
3. Муранов А. С. Модели дифференцированного обслуживания с гарантированным сервисом / М. Г. Луцкий, О. С. Муранов, А. С. Муранов // Научосмі технології. – 2010. – Вып. 3–4(7–8). – С. 55–62.
4. Муранов А. С. Анализ технологической схемы надання телекоммуникаційних сервісів за системою ДОГС / А. С. Муранов // Інженерія програмного забезпечення: міжнар. наук.-практ. конф. аспірантів і студентів, (Київ, 20–24 червня 2011 р.) – К.: Нац. авіац. ун-т, 2011. – С. 55–56.

Надійшла до редколегії 16.03.2013

Рецензент: д-р. техн. наук проф. Г. М. Жолткевич, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ

М. Г. Луцкий, А. С. Муранов, О. С. Муранов

Определены зависимости между скоростью передачи дифференцированных потоков в реальных каналах с фиксированными полосами пропускания и показателями помехоустойчивости телекоммуникационной системы (ТКС) для типичных условий функционирования ТКС. Определено влияние параметров телекоммуникационного оборудования на качество обслуживания клиентов пакетных сетей.

**Ключевые слова:** пакетная сеть, технические средства, качество обслуживания, дифференциальное обслуживание, с гарантированным сервисом.

## THE IMPACT OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT PARAMETERS ON THE QUALITY OF PACKET NETWORK CLIENT CARE

M. H. Lutsky, A. S. Muranov, O. S. Muranov

Relationships have been determined between the transfer rates of differentiated flows in real fixed-bandwidth channels and the noise immunity of a telecommunication system under typical operating conditions. The impact of telecommunication equipment parameters on the quality of packet network client care has been established.

**Keywords:** packet network, hardware, service quality, differentiated care with guaranteed service.