

УДК 621.395.7 (045)

**В. В. Антонов**, ст. викл.,  
**О. О. Горбунов**, асист.,  
**Р. С. Одарченко**, асп.,  
**С. М. Паук**, канд. техн. наук, доц., проф.,  
**В. Г. Потапов**, доц.

## АНАЛІЗ ВИТРАТ НА СИСТЕМУ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ ЗАДАНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ

Кафедра телекомунікаційних систем Національного авіаційного університету  
e-mail: [odarchenko.r.s@mail.ru](mailto:odarchenko.r.s@mail.ru)

*Проаналізовано місце мережі абонентського доступу в перспективній цифровій телекомунікаційній системі, функції складових елементів телекомунікаційної системи. Визначено вплив параметрів багатоканальної лінії на її вартість. Оцінено зв'язок між технічними параметрами багатоканальної лінії і показником її вартості.*

**Ключові слова:** абонентський доступ, пропускна здатність, витрати, багатоканальна лінія, методи доступу, телекомунікаційна мережа.

**Вступ.** Однією з найважливіших тенденцій розвитку інфокомунікацій є динамічний розвиток Глобальної інформаційної інфраструктури (Global Information Infrastructure – GII). Відповідно до визначення Міжнародного союзу електрозв'язку (International Telecommunications Union-ITU) GII – це сукупність мереж, обладнання кінцевих користувачів, інформації і людських ресурсів, яка може бути використана для доступу до корисної інформації, зв'язку користувачів один з одним у будь-який час та у будь-якому місці, отримання роботи, розваг за доступною ціною, що визначається за деякою глобальною шкалою [1 – 6]. Перелік основних служб і послуг електрозв'язку, які мають надаватись GII, включає:

- інтерактивний мовний зв'язок;
- передавання зображень у реальному часі;
- електронну пошту;
- пошук мультимедійних документів;
- відео за вимогою;
- інтерактивне відео;
- передавання даних для сумісної роботи комп'ютерів;
- розподільне оброблення інформації;
- збирання та розподіл інформації мовного радіо, телебачення, даних;
- багатоадресний пошук у реальному часі;
- мобільний радіозв'язок.

Для успішної реалізації наведених служб і послуг перспективні концепції цифровізації інфокомунікацій передбачають дворівневу побудову первинних мереж: транспортної мережі та мережі абонентського доступу. Для ефективного використання кабельних мереж значна увага приділяється розвитку новітніх технологій цифрового абонентського доступу xDSL (Digital Subscriber Line) [3 – 6].

Роботу присвячено дослідженню умов забезпечення мінімальних витрат на багатоканальну систему цифрового абонентського доступу з урахуванням вимог до пропускної здатності системи та дії взаємних впливів (завад) між каналами.

**Постановка завдання дослідження.** Місце мережі абонентського доступу у перспективній цифровій телекомунікаційній системі (ТКС) ілюструє рис. 1, на якому у межах узагальненої моделі системи можна виділити чотири основні функціональні елементи [3 – 5]:

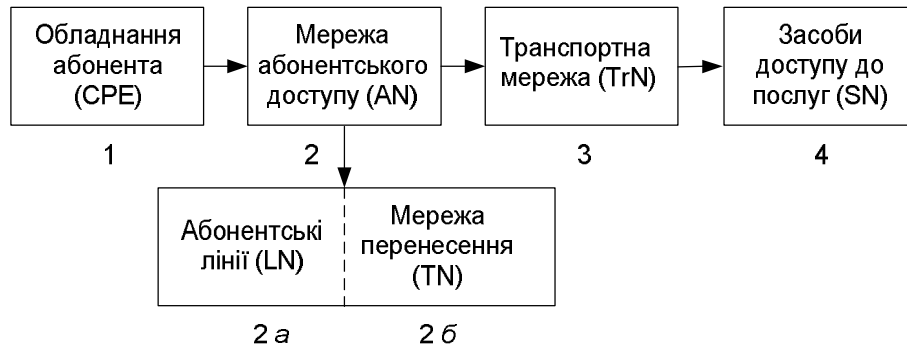


Рис. 1. Узагальнена мережа ТКС

1) термінальне та інше обладнання, установлене у приміщенні користувача (Customers Premises Equipment – CPE);

2) мережа абонентського доступу (AN). Завдяки цій мережі забезпечується взаємодія між обладнанням CPE і транспортною мережею. Зазвичай для спряження мережі абонентського доступу з транспортною мережею використовують комутаційну станцію. У деяких працях [3; 5] мережа абонентського доступу складається з двох ділянок: абонентських ліній (Loop Network) і мережі перенесення (Transfer Network), яка може істотно підвищити ефективність засобів абонентського доступу;

3) транспортна мережа (Transport Network), яка забезпечує встановлення з’єднань між терміналами різних мереж абонентського доступу, або між терміналами і засобами підтримки яких-небудь послуг;

4) засоби доступу до різних послуг електрозв’язку (Service Nodes).

Аналіз функцій складових елементів ТКС показує, що мережа абонентського доступу в загальному плані може включати як абонентські ділянки, так і з’єднувальні лінії між АТС, які зазвичай будуються як багатоканальні. Одним з найважливіших показників якості роботи багатоканальної лінії (БКЛ) абонентського доступу є її пропускна здатність  $C$ , яка (за Шеноном) дорівнює [7; 8]:

$$C = \sum_{i=1}^V F_i \log_2 \left( 1 + \frac{P_{c_i}}{P_{z_i}} \right), \quad (1)$$

де  $F_i$  – ширина смуги частот  $i$ -го каналу;  $P_{c_i}$  – середня потужність сигналу в  $i$ -му каналі;  $P_{z_i}$  – середня потужність завад;  $V$  – кількість каналів у БКЛ.

Потужність завад  $P_{z_i}$  зумовлюється двома основними складовими: потужністю шуму  $P_{ш_i}$  і потужністю взаємних впливів від  $(V - 1)$  сусідніх каналів:

$$P_{z_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^V P_j \varepsilon_{ji}, \quad (2)$$

де коефіцієнт  $\varepsilon_{ji}$  характеризує ступінь впливу завад  $j$ -го каналу на  $i$ -й канал.

З урахуванням взаємних впливів пропускна здатність

$$C = \sum_{i=1}^V F_i \log_2 \left( 1 + \frac{P_{c_i}}{P_{ш_i} + P_{z_i}} \right) = \sum_{i=1}^V F_i \log_2 \left( 1 + \frac{P_{c_i}}{P_{ш_i} + \sum_{j=1; j \neq i}^V P_j \varepsilon_{ji}} \right). \quad (3)$$

Для БКЛ абонентського доступу, яка складається із  $V$  рівносмугових ідентичних каналів, замість (3) маємо:

$$C = VF \log_2 \left[ 1 + \frac{H}{1 + \varepsilon(V-1)H} \right], \quad (4)$$

де  $H = P_c / P_{ш}$ .

Взаємні впливи у БКЛ абонентського доступу визначаються багатьма чинниками. У системах з технологію xDSL взаємні впливи нормуються залежно від типу лінійного коду та кількості кодових позицій, кількості впливових ланцюгів, необхідного рівня захищеності, довжини БКЛ, кінця вимірювань (ближнього або віддаленого). Норми на параметри впливів для чотирьох найбільш поширених лінійних кодів подано у таблиці [1 – 4], у якій:  $A_0$  – величина перехідного затухання на ближньому кінці;  $A_3$  – величина перехідного затухання на віддаленому кінці;  $a_3$  – захищеність (відношення сигнал/завада), яка забезпечує теоретичну імовірність помилки  $10^{-10}$  з урахуванням потрібного запасу стійкості та стабільності тракту;  $l$  – довжина ланцюга;  $\alpha l$  – затухання ланцюга;  $V$  – кількість ущільнених ланцюгів (каналів).

#### Нормовані параметри взаємних впливів для лінійних кодів xDSL

Параметр	Код															
	HDB3				2B1Q				TC-PAM				CAP			
$a_3$ , дБ	24,7				25,7				29				32			
$V$	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
$A_0$ , дБ	66,7	69,7	71,4	72,7	67,7	70,7	72,4	73,7	59	62	63,7	65	62	65	66,7	68
$A_3$ , дБ	24,7	27,7	29,4	30,7	25,7	28,7	30,4	31,7	29	32	33,7	35	32	35	36,7	38

Оскільки  $\alpha l = 30 - 42$  дБ, вважають, що справджуються такі основні співвідношення:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &\geq A_3 + \alpha l; \\ A_3 &= a_3 + 10 \lg V. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Проаналізуємо зв'язок нормованих значень  $A_3$  і послаблення  $\varepsilon$  в моделі взаємних впливів (4). Відповідно до формул (4) і (5) можна записати:

$$a_3 + 10 \lg V \geq 10 \lg [\varepsilon(V-1)], \quad (6)$$

звідки для нормованих значень  $\varepsilon_n$  маємо:

$$\varepsilon_n \leq 10^{0,1a_3} \left( \frac{V}{V-1} \right) = 10^{0,1a_3} \varphi(V). \quad (7)$$

У випадку, коли  $V = 2$ , величина  $\varphi(V) = 2$ ; якщо  $V = 5$ , то  $\varphi(V) = 1,2$ , а якщо  $V = 10$ , тоді  $\varphi(V) \approx 1,1$ . Отже, якщо нерівність (7) виконується для  $V = 10$ , то тим більше вона виконується і для  $V = 2$ . Таким чином, певною інженерною точністю можна вважати, що при  $V \geq 5$  величини  $\varepsilon_n$  слабо залежать від  $V$  (величина  $\varphi(V) \rightarrow 1$ , коли  $V \rightarrow \infty$ ). Це дозволяє для БКЛ із  $V$  ідентичних каналів записати:

$$C \approx VF \log_2 \left[ 1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}} + \varepsilon_{\text{н}} P_c} \right] \approx VF \log_2 \frac{P_c (1 + \varepsilon_{\text{н}}) + P_{\text{ш}}}{\varepsilon_{\text{н}} P_c + P_{\text{ш}}} = VF \log_2 \frac{H(1 + \varepsilon_{\text{н}}) + 1}{\varepsilon_{\text{н}} H + 1} = VF \log_2 H_E, \quad (8)$$

$$\text{де } H_E = \frac{H(1 + \varepsilon_{\text{н}}) + 1}{\varepsilon_{\text{н}} H + 1}.$$

Таким чином, існуючі норми на параметри взаємних впливів враховують вимоги забезпечення необхідного рівня якості надання послуг QoS (Quality of Service). При цьому залишається поза увагою один з найважливіших показників якості роботи БКЛ – вартість. Аналіз формул (1) – (8) показує, що необхідну пропускну здатність БКЛ  $C$  можна забезпечити за рахунок збільшення кількості каналів  $V$ , смуги частот  $F$ , потужності сигналу  $P_c$ , або зменшенням  $a_3$ .

Усі наведені фактори зумовлюють зростання складової вартості  $G$ , яка в узагальненому випадку може бути подана як

$$G = \sum_{i=1}^V (S_{k_i} + S_{n_i} H_i^{k_i}), \quad (9)$$

де  $S_{k_i}$  і  $S_{n_i}$  – вартості  $i$ -го каналу та його відношення  $H_i = P_{c_i} / P_{\text{ш}_i}$  відповідно;  $K_i$  – коефіцієнт, який залежить від типу і конструкції БКЛ.

Для випадку ідентичних каналів замість виразу (9) можна записати:

$$G = VS_k + VS_n H_n^k. \quad (10)$$

Модель (1) – (9) дозволяє розв'язувати задачу оптимізації БКЛ як у прямій, так і в оберненій постановці [7; 10]. У цій роботі розглядається задача мінімізації витрат  $G$  на БКЛ за умови забезпечення пропускну здатності  $C$ .

Отже, необхідно знайти такі  $V$  і  $H$ , які забезпечують мінімум вартості  $G$  (функція цілі (10)) за обмеження:

$$C - VF \log_2 H_E = 0; \quad V \geq 2. \quad (11)$$

Сформульована задача є задачею на знаходження умовного мінімуму, яка зазвичай розв'язується методом невизначених множників Лагранжа [7; 10; 11].

**Особливості узагальненого подання методу невизначених множників Лагранжа.** В узагальненому вигляді необхідні умови існування екстремуму функції

$$f = f(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad (12)$$

аргументи  $x_i$  якої пов'язані  $k$  додатковими умовами

$$\varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_k) = 0; \quad i = \overline{1, k}; \quad k < N, \quad (13)$$

визначені, наприклад, у працях [10; 11]. Ці умови мають такий вигляд:

$$\frac{\partial f}{\partial x_n} + \sum_{l=1}^L \frac{\partial g_l}{\partial x_n} \mu_l + \sum_{q=1}^Q \frac{\partial h_q}{\partial x_n} \nu_q + \sum_{i=1}^I \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_n} \eta_i = 0; \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} n &= 1, \dots, N; \\ \mu_l \sqrt{1 - g_l^2} &= 0, \quad l = 1, \dots, L; \\ \nu_q h_q &= 0, \quad q = 1, \dots, Q; \\ \varphi_i &= 0, \quad i = 1, \dots, I \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

де  $g, h, i$  і  $\varphi$  – безперервні і гладкі функції, які визначають обмеження різного типу:

$$\left. \begin{aligned} g_l &= g_l(x_1, \dots, x_N), -1 \leq g_l \leq 1, l = 1, \dots, L; \\ h_q &= h_q(x_1, \dots, x_N), 0 \leq h_q, q = 1, \dots, Q; \\ \varphi_i &= \varphi_i(x_1, \dots, x_N), \varphi_i = 0, i = 1, \dots, I; I < N. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

З метою використання узагальнених умов існування екстремуму функції  $f(x)$  перепишемо рівняння (4), (10) і (11) у формі, яка підходить для безпосереднього використання (14; 15):

$$f = G = VS_K + VS_n H^K; \quad (17)$$

$$\varphi = C - VF \log_2 H_E; \quad (18)$$

$$h = V - 2. \quad (19)$$

З урахуванням виразів (14) – (19) і того, що  $V = x_1, H = x_2, S_K = S_1, S_n = S_2$ , маємо ( $\nu$  і  $\eta$  – невизначені множники Лагранжа):

$$\frac{\partial G}{\partial V} + \frac{\partial(V-2)}{\partial V} \nu + \frac{\partial \varphi}{\partial V} \eta = 0;$$

$$\frac{\partial G}{\partial H} + \frac{\partial(V-2)}{\partial H} \nu + \frac{\partial \varphi}{\partial H} \eta = 0;$$

$$\nu(V-2) = 0; \varphi = 0.$$

звідки:

$$\left. \begin{aligned} S_1 + S_2 H^K + \nu - F \log_2 \frac{H(1+\varepsilon_H)+1}{\varepsilon_H H + 1} \eta &= 0; \\ KS_2 V H^{K-1} - \frac{VF \left\{ (1+\varepsilon_H)(\varepsilon_H H + 1) - \varepsilon_H [H(1+\varepsilon_H)+1] \right\}}{[H(1+\varepsilon_H)+1] \ln 2 (\varepsilon_H H + 1)} \eta &= 0; \\ \nu(V-2) &= 0; \\ C - VF \log_2 H_E &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Проаналізуємо вплив параметрів БКЛ, які пов'язані оптимізаційними умовами (20).

**Вплив параметрів БКЛ на її вартість.** Аналіз почнемо з найпростішого випадку двоканальної системи.

Якщо  $\nu \neq 0$ , то  $V = 2$  і з останнього четвертого рівняння системи (20) маємо:

$$H_{\text{опт}} = \frac{2^{C/(2F)} - 1}{1 - \varepsilon_H (2^{C/(2F)} - 1)} = \frac{2^{\gamma/2} - 1}{1 - \varepsilon_H (2^{\gamma/2} - 1)}, \quad (21)$$

де  $\gamma = C/F$  – питома пропускна здатність каналу зв'язку, (біт/с)/Гц.

З урахуванням рівнянь (17) і (21) для двоканальної системи цифрового абонентського доступу маємо:

$$G_{\min} = 2S_2 (\alpha_S + H_{\text{опт}}^K) = 2S_2 \left[ \alpha_S + \frac{2^{0.5\gamma} - 1}{1 - \varepsilon_H (2^{0.5\gamma} - 1)} \right]^K,$$

де  $\alpha_S = S_1/S_2$ .

У випадку, коли  $\nu = 0$ , у відповідності з умовами (20) маємо:

$$S_1 + S_2 H^K - F \log_2 H_E \eta = 0; \quad (22)$$

$$S_2 V K H^{K-1} - \frac{VF \left\{ (1 + \varepsilon_n)(\varepsilon_n H + 1) - \varepsilon_n [H(1 + \varepsilon_n) + 1] \right\}}{[H(1 + \varepsilon_n) + 1] \ln 2 [\varepsilon_n H + 1]} \eta = 0. \quad (23)$$

Із рівняння (22) знаходимо, що

$$\eta = \frac{S_1 + S_2 H^K}{F \log_2 H_E}. \quad (24)$$

Підставивши  $\eta$  із виразу (24) у формулу (23), після певних перетворень отримаємо:

$$S_2 V K H^{K-1} - \frac{V \left\{ (1 + \varepsilon_n)(\varepsilon_n H + 1) - \varepsilon_n [H(1 + \varepsilon_n) + 1] \right\} (S_1 + S_2 H^K)}{\ln 2 [H(1 + \varepsilon_n) + 1] (\varepsilon_n H + 1) \log_2 \{H_E\}} = 0. \quad (25)$$

Величини  $S_1, S_2, V, K$  відмінні від нуля. Тому, використовуючи формулу (25) з урахуванням співвідношення  $\log_2 x = \frac{\ln x}{\ln 2}$ , отримаємо рівняння, яке визначає оптимальне значення  $H_{\text{опт}}$ , що мінімізує витрати  $G$ :

$$S_2 K H^{K-1} - \frac{(S_1 + S_2 H^K)}{[H(1 + \varepsilon_n) + 1] (\varepsilon_n H + 1) \ln [H_E]} = 0, \quad (26)$$

звідки

$$\ln H_E = \frac{S_1 + S_2 H^K}{[H(1 + \varepsilon_n) + 1] (1 + \varepsilon_n H) S_2 K H^{K-1}},$$

або

$$\ln H_E = \frac{\alpha_s + H^K}{[H(1 + \varepsilon_n) + 1] (1 + \varepsilon_n H) K H^{K-1}}. \quad (27)$$

Результати графічного розв'язання трансцендентного рівняння (27) для окремих прикладів систем БКЛ для різних  $\alpha, \varepsilon$  і  $K$  наведено на рис. 2. Аналіз рівнянь (26) і (27), а також прикладів їх розв'язання на рис. 2 показує, що при  $H \geq 20$  і  $\varepsilon_n \leq 10^{-3}$  значення  $H$  і  $\varepsilon_n$  мало впливають на оптимальність розв'язання. Так, якщо  $K = 1, \alpha_s = 100$  і  $\varepsilon_n = \{0; 10^{-3}; 10^{-2}\}$ , відповідні значення  $H_{\text{опт}}$  складають  $H_{\text{опт}} \approx \{36, 34, 30\}$ . Параметром, який істотно впливає, є відношення  $\alpha_s = S_1/S_2$ . Із зростанням  $\alpha_s$  значення  $H_{\text{опт}}$  теж зростають. Так, якщо  $\alpha_s = 200$ , і за тих самих значень  $H_{\text{опт}}$  відповідно становлять  $\{60; 56; 47\}$ .

Для випадку  $H \gg 1$  і  $\varepsilon_n = 0$  замість (27) маємо рівняння

$$\frac{\alpha_s + H^K}{K H^K} = \ln(H), \quad (28)$$

якому на рис. 2 відповідають криві для  $\varepsilon_n = 0$ .

Рівняння (27) дає змогу визначити залежність  $\alpha = f(H, \varepsilon, K)$ , яка має вигляд

$$\alpha_s = (1 + \varepsilon_n H)(1 + \varepsilon_n H + H) K H^{K-1} \ln [H_E] - H^K. \quad (29)$$

Для випадку, коли  $H \gg 1$  і  $\varepsilon_H \ll 1$ , рівняння (29) можна подати у спрощеному вигляді:

$$\alpha_S \approx (1 + \varepsilon_H H) K H^K \ln[H_E] - H^K \approx H^K \{(1 + \varepsilon_H H) K \ln(H_E) - 1\}. \quad (30)$$

Коли у БКЛ взаємні впливи відсутні ( $\varepsilon_H = 0$ ), рівняння (30) спрощується ще більше:

$$\alpha_S \approx H^K [K \ln(H) - 1]. \quad (31)$$

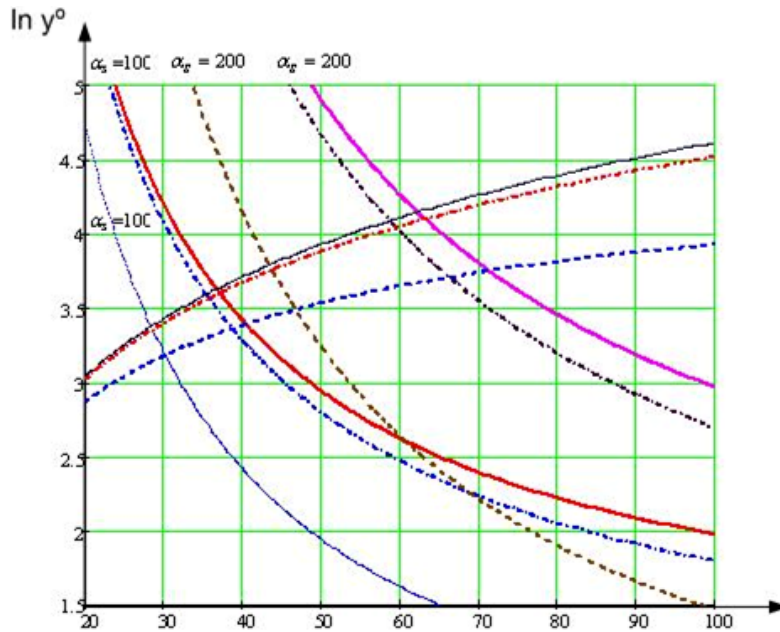


Рис. 2. Результати графічного розв’язання трансцендентного рівняння (27) для окремих прикладів систем БКЛ:  $\dashdotdashdash$   $\varepsilon_H = 10^{-3}$ ;  $\dashdashdash$   $\varepsilon_H = 10^{-2}$ ;  $\text{—}$   $\varepsilon_H = 0$

Вирази (29) – (31) визначають взаємний зв’язок між показником  $\alpha_S$  вартості БКЛ і технічними параметрами  $\varepsilon_H$ ,  $K$ ,  $H_{\text{опт}}$  (рис. 3).

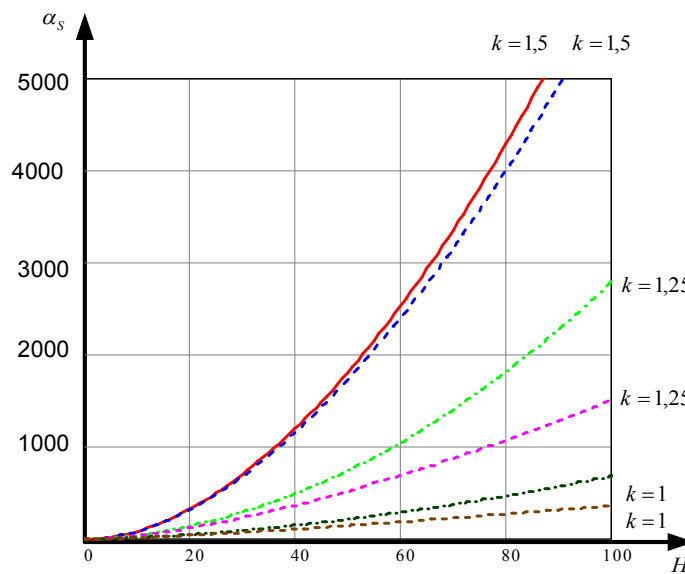


Рис. 3. Взаємний зв’язок між показником  $\alpha_S$  вартості БКЛ і технічними параметрами:

$\varepsilon_H$ ,  $K$ ,  $H_{\text{опт}}$ ;  $\dashdotdashdash$   $\varepsilon_H = 10^{-3}$ ;  $\dashdashdash$   $\varepsilon_H = 10^{-2}$ ;  $\text{—}$   $\varepsilon_H = 0$

Аналіз виразів (29) – (31) і графіків залежностей  $\alpha_s = f(H)$  на рис. 3 показує таке:

- послаблення взаємних впливів  $\varepsilon_n$  мало впливає на  $\alpha_s$ , якщо  $\varepsilon_n \ll 1$ ,  $H \geq 5$  і  $\varepsilon_n H \ll 1$ ;
- параметр  $K$  має вплив на значення  $\alpha_s$  завдяки множнику  $H^K$ ;
- величина  $\alpha_s$  пропорційна множнику  $H^K$ ; це свідчить про те, що має виконуватись умова  $S_1 \gg S_2$ .

Використовуючи вираз (27) можна отримати формулу для визначення необхідного значення  $C_H$  на підставі моделі (8) і з урахуванням рівняння  $\log_a x = \frac{\ln x}{\ln a}$ :

$$C_H = VF \log_2(H_E) = \frac{VF \ln(H_E)}{\ln 2} \approx \frac{VF}{\ln 2} \cdot \left[ \frac{\alpha_s + H^K}{(1 + \varepsilon_n H) KH^K} \right]. \quad (32)$$

Питома пропускна здатність БКЛ відповідно до співвідношення (32) становить:

$$\gamma_K = \frac{C_H}{VF} = \frac{1}{\ln 2} \left[ \frac{\alpha_s + H^K}{(1 + \varepsilon_n H) KH^K} \right]. \quad (33)$$

З виразу (33) для  $\alpha_s$  маємо:

$$\alpha_s = \gamma_K (\ln 2) (1 + \varepsilon_n H) KH^K - H^K = H^K \left\{ \left[ \gamma_K (\ln 2) (1 + \varepsilon_n H) K \right] - 1 \right\}. \quad (34)$$

Таким чином,  $\alpha_s$  зростає не тільки зі збільшенням  $H$  і  $K$ , але й з підвищенням питомої пропускної здатності БКЛ  $\gamma_K$ .

Мінімальна вартість БКЛ:

$$\begin{aligned} G_{\min} &= S_1 V + S_2 V H^K = V S_2 (\alpha_s + H^K) = V S_2 \left[ KH^K (1 + \varepsilon_n H) \ln(H_E) \right] = \\ &= V S_2 \left[ KH^K (1 + \varepsilon_n H) \gamma_K \ln 2 \right]. \end{aligned} \quad (35)$$

Інакше з урахуванням рівнянь (32) – (34) маємо:

$$G_{\min} = V S_1 \left( 1 + \frac{H^K}{\alpha_s} \right) = V S_1 \left( \frac{\alpha_s + H^K}{\alpha_s} \right) = V S_1 \frac{K (1 + \varepsilon_n H) \ln \left[ 1 + \frac{H}{(1 + \varepsilon_n H)} \right]}{K \cdot \gamma \ln 2 (1 + \varepsilon_n H) - 1}. \quad (36)$$

Вирази (35) і (36) визначають кількісні співвідношення між вартістю  $G_{\min}$  і такими параметрами БКЛ, як  $\gamma_K$ ,  $H$ ,  $\varepsilon$ ,  $K$  і  $S_2$  або  $S_1$ .

**Висновки.** Проаналізовано місце мережі абонентського доступу в перспективній цифровій ТКС, функції складових елементів ТКС. Визначено вплив параметрів БКЛ на її вартість. Аналіз рівнянь (26) і (27), а також прикладів їх розв'язання (рис. 2) показує: якщо  $H \geq 20$  і  $\varepsilon_n \leq 10^{-3}$ , то значення  $H$  і  $\varepsilon_n$  мало впливають на оптимальність розв'язку. Параметром, який істотно впливає, є відношення  $\alpha_s = S_1/S_2$ . Зі зростанням  $\alpha_s$  значення  $H_{\text{opt}}$  теж зростають. Проаналізовано зв'язок між технічними параметрами БКЛ і показником її вартості. Цей аналіз показав, що послаблення взаємних впливів  $\varepsilon_n$  мало впливає на  $\alpha_s$ ; параметр  $K$  справляє істотний вплив на вартісний показник; величина  $\alpha_s$  пропорційна множнику  $H^K$ . Таким чином,  $\alpha_s$  зростає не лише із зростанням  $H$  і  $K$ , але й з підвищенням питомої пропускної здатності БКЛ  $\gamma_K$ .



### Список літератури

1. *Стеглов В. К.* Телекомунікаційні мережі / В. К. Стеглов, Л. Н. Беркман – К.: Техніка, 2001. – 392 с.
2. *Современные телекоммуникации. Технологии и экономика* / под ред. С. А. Довгого. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 320 с.
3. *Соколов Н. А.* Сети абонентского доступа. Принципы построения / Н. А. Соколов. – М.: Энтер-профи, 1999. – 255 с.
4. *Парфенов Ю. А.* Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование / Ю. А. Парфенов, Д. Г. Мирошников. – М.: ЭкоТрендз. – 342 с.
5. *Козвонин Н. А.* Автоматизация измерений линий DSL / Н. А. Козвонин, Ю. А. Парфенов. – М.: Электросвязь, 2006. – 376 с.
6. *Бакланов И. Г.* Технологии ADSL/ADSL2+. Теория и практика применения / И. Г. Бакланов. – М.: Метротек, 2007 – 384 с.
7. *Паук С. М.* Сети авиационной связи / С. М. Паук. – М.: Транспорт, 1986. – 408 с.
8. *Конахович Г. Ф.* Системы радіозв'язку / Г. Ф. Конахович. – К.: НАУ, 2004. – 312 с.
9. *Харченко В. П.* Супутникові системи авіаційного зв'язку / В. П. Харченко, С. М. Паук, Л. М. Нестерова, Є. А. Бабак – К.: НАУ, 2003. – 188 с.

В. В. Антонов, О. О. Горбунов, Р. С. Одарченко, С. М. Паук, В. Г. Потапов

#### **Анализ затрат на систему абонентского доступа заданной пропускной способности**

Проанализировано место сети абонентского доступа в перспективной цифровой телекоммуникационной системе, функции составных элементов телекоммуникационной системы. Определено влияние параметров многоканальной линии на ее стоимость. Оценены связи между техническими параметрами многоканальной линии и показателем ее стоимости.

V. V. Antonov, O. O. Gorbunov, R. S. Odarchenko, S. M. Pauk, V. G. Potapov

#### **Analysis of user access system of the specified bandwidth cost**

In this paper we analyzed the location of subscriber access network in the forward-looking digital telecommunications system, the functions of the constituent elements of the telecommunications system. It was determined the influence of parameters on the multi-line costs. Were also analyzed the relationship between technical parameters of the multi-line and the measure of its value.