

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ОРТОГОНАЛЬНИМИ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ

Ляховецький Л.М., Орешков В.І., Барба І.Б.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.*

oreshkov_vi@mail.ru, irina_barba@mail.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ

Ляховецький Л.М., Орешков В.І., Барба І.Б.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.*

oreshkov_vi@mail.ru, irina_barba@mail.ru

ENHANCEMENT OF ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS TRANSMISSION SYSTEMS TRANSMISSION RATE EVALUATION METHOD

Lyakhovetskiy L.M., Oreshkov V.I., Barba I.B.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.*

oreshkov_vi@mail.ru, irina_barba@mail.ru

Анотація. Удосконалено метод оцінки швидкості передавання систем передачі ортогональними гармонічними сигналами. Проведено дослідження впливу інтерференційних завад порівняно з іншими видами завад, на швидкість передавання СП ОГС на прикладі СП за технологією ADSL2+.

Ключові слова: ортогональні гармонічні сигнали, система передачі, швидкість передавання, інтерференційні завади, перехідні завади, багатопарний кабель, відношення сигнал/завада, спектральна густина потужності, технологія ADSL2+.

Аннотация. Усовершенствован метод оценки скорости передачи систем передачи ортогональными гармоническими сигналами. Проведено исследование влияния интерференционных помех, по сравнению с другими видами помех, на скорость передачи СП ОГС на примере СП по технологии ADSL2+.

Ключевые слова: ортогональные гармонические сигналы, система передачи, скорость передачи, интерференционные помехи, переходные помехи, многопарный кабель, отношение сигнал/помеха, спектральная плотность мощности, технология ADSL2+.

Abstract. The method for estimating the transmission rate of orthogonal harmonic signals (OHS) transmission systems (TS) is enhanced. Research of interference noises influence in comparison with other types of noise to the transmission rate of OHS TS is carried out on the example of technology ADSL2+ TS.

Key words: orthogonal harmonic signals, transmission system, transmission rate, interference, crosstalk, multi-pair cable, the signal to noise ratio, power spectral density, ADSL2+ technology.

Серед сучасних засобів зв'язку значного поширення набули технології та системи передачі (СП), що використовують для передавання інформації множини ортогональних гармонічних сигналів (ОГС), які одночасно та незалежно модулюються інформаційними сигналами, що передаються, – СП ОГС з OFDM-модуляцією (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [1].

Головною причиною успіху СП ОГС є гнучкість, завдяки багаточастотності, у формуванні спектра OFDM-сигналу, що дозволяє швидко адаптуватися до ненормованих і змінних у часі характеристик середовища передавання [2]. До каналів зв'язку з ненормованими і змінними у часі характеристиками належать, наприклад, радіоканали та телефонні абонентські лінії, які останнім часом широко застосовуються для надання

ширококутний доступ до мережі Інтернет за технологіями xDSL, серед яких в Україні найбільш поширеною є технологія ADSL2+ [3].

Інтерес становить оцінка швидкості передавання СП ОГС, зокрема СП за технологією ADSL2+.

Загальний підхід до оцінки швидкості передавання СП ОГС розглядався у низці робіт, наприклад [4], при цьому розглядалися два фактори, які визначали швидкість передавання на кожній з ортогональних несучих багаточастотного групового сигналу: загасання сигналу кожної несучої у каналі зв'язку та рівень адитивного гауссівського шуму. Передбачалося, що до складу адитивного гауссівського шуму входять усі можливі завади, які надходять до входу приймача СП ОГС з будь-яких джерел. Але зважаючи на те, що СП ОГС, які працюють по багатопарних телефонних кабелях, зокрема СП ADSL2+, звичано піддаються впливу перехідних завод від СП, що працюють по паралельних парах телефонних кабелів, важливо володіти методом оцінки швидкості передавання СП ОГС, що дозволив би враховувати конкретну заводову ситуацію у багатопарному кабелі. Такий метод було розроблено в роботі [5]. Однак цей метод не враховує ще одного важливого заважаючого фактора – інтерференційних завод, що виникають внаслідок лінійних спотворень у каналі зв'язку. Подальше удосконалення методу оцінки швидкості передавання СП ОГС, що полягатиме в наданні цьому методу можливості враховувати інтерференційні завади, дозволить здійснити дослідження впливу потужності інтерференційних завод на швидкість передавання СП ОГС та порівняння цього впливу з впливом інших видів завод.

Метою статті є удосконалення методу оцінки швидкості передавання СП ОГС та дослідження впливу інтерференційних завод на досягну швидкість передавання СП ОГС і порівняння цього впливу з впливом інших видів завод на прикладі СП ADSL2+ при роботі багатопарними кабелями телефонної мережі загального користування.

В СП ОГС загальна швидкість передавання складається із суми біт інформації, що передаються на всіх несучих частотах за певний час [1, 2]:

$$R = f_{\text{т інф}} \cdot \sum_{i=N_{\text{мін}}}^{N_{\text{макс}}} b(i), \quad (1)$$

де $f_{\text{т інф}}$ – частота інформаційних кадрів у СП ОГС (4 кГц для технологій xDSL); $N_{\text{макс}}$ – номер максимальної несучої, що використовується у СП ОГС (для технології ADSL2+ це 511, а для VDSL2 – 2782 [3, 6]); $N_{\text{мін}}$ – номер мінімальної несучої частоти, що використовується у СП ОГС (6 для технологій xDSL); $b(i)$ – максимальна кількість біт передаваних протягом тактового інтервалу на i -й несучій ($i = 1, 2, \dots, n$, n – загальна кількість несучих).

Частота інформаційних кадрів у СП ОГС (1) відома, тому необхідно визначити максимальну кількість біт, передаваних протягом тактового інтервалу на кожній з несучих СП.

Як відомо [7], ймовірність помилки p на виході i -го каналу приймача СП ОГС визначається співвідношенням:

$$p = K \frac{2(M(i)-1)}{M(i) \log_2 M(i)} Q(r), \quad (2)$$

де K – коефіцієнт розмноження помилок; $M(i)$ – число рівнів сигналу по кожній з двох взаємно ортогональних несучих КАМ-сигналу, $M(i) = 2^{b(i)/2}$; $Q(r)$ – функція визначається як:

$$Q(r) = \int_r^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy, \quad (3)$$

r – відношення "напіввідстані" $a(i)$ між сусідніми сигнальними точками до середньоквадратичного відхилення гауссівського шуму потужністю $N(i)$.

Скориставшись перетвореннями, наданими у [7], з (2) можна визначити мінімально припустиме відношення сигнал/завада, за якого забезпечується передавання $b(i)$ біт протягом посилання на i -й несучій:

$$SNR_{b \text{ прип}}(i) = \frac{(2^{b(i)} - 1) \cdot [Q^{-1}(\frac{P}{K \cdot \beta})]^2}{3}, \quad (4)$$

де $Q^{-1}(r)$ – функція, зворотна (3);

β – коефіцієнт, який для кожної несучої визначається з (2):

$$\beta(i) = \frac{2(M(i)-1)}{M(i) \log_2 M(i)} = \frac{2(2^{b(i)/2} - 1)}{2^{b(i)/2} b(i)/2} = \frac{4(1 - 2^{-b(i)/2})}{b(i)}. \quad (5)$$

Для спрощення розрахункової формули $\beta(i)$ для всіх несучих приймають однаковою і рівною певній константі β .

З урахуванням [1], де пропонується розраховувати середньоарифметичне значення β (серед усіх $\beta(i)$ для $b(i) = 1, 2, \dots, 15$), яке дорівнює 0,558, а $K = 2,75$ (оскільки в СП за Рекомендаціями МСЕ-Т G.992.x та G.993.x застосовується тривідвідний скремблер [3, 6]), формула (4) набуває вигляду:

$$SNR_{b \text{ прип}}(i) = \frac{(2^{b(i)} - 1) \cdot [Q^{-1}(\frac{P}{1,5345})]^2}{3}. \quad (6)$$

З урахуванням того, що кількість бітів може бути тільки цілим числом, з (6) отримуємо формулу розрахунку $b(i)$:

$$b(i) = \text{floor} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{3 \cdot SNR_{\Sigma}(i)}{[Q^{-1}(\frac{P}{1,5345})]^2} \right) \right\}, \quad (7)$$

де $\text{floor} \{x\}$ – операція відкидання дробової частини числа x ; $SNR_{\Sigma}(i)$ – очікуване (виміряне або розраховане) відношення сигналу до сумарної завади на вході приймача СП на несучій частоті кожного підканалу, що застосовується для передавання інформації.

Отже, для розрахунку швидкості передавання СП ОГС спочатку необхідно визначити $SNR_{\Sigma}(i)$. На рис. 1 проілюстровано види завад, які необхідно враховувати при розрахунку відношення сигнал/завада на вході приймача СП ОГС при роботі багатопарними кабелями.

Потужність на виході передавача СП задається у вигляді спектральної густини потужності (СГП). $G_{S_x}(i)$, $G_{S_y}(i)$ – СГП сигналу на виході передавача x -ї СП та y -ї СП відповідно. СГП сигналу $G_S(i)$ визначається з Рекомендацій МСЕ-Т відповідно до того, яка саме СП застосовується для побудови цифрової абонентської лінії (ЦАЛ).

$G_{Sl_y}(f)$ – це СГП сигналу на вході приймача y -ї СП, що досліджується, та визначається різницею СГП сигналу на виході передавача СП та залежністю загасання абонентської лінії (АЛ) від частоти:

$$G_{Sl_y}(i) = G_{S_y}(i) - A_{ал_y}(i). \quad (8)$$

Загасання АЛ $A_{ал}(i)$ визначається типом кабелю та її довжиною:

$$A_{ал}(i) = \alpha(i) \cdot l_{ал}, \quad (9)$$

де $\alpha(i)$ – залежність коефіцієнта загасання кабелю від номера несучої частоти; $l_{ал}$ – довжина АЛ.

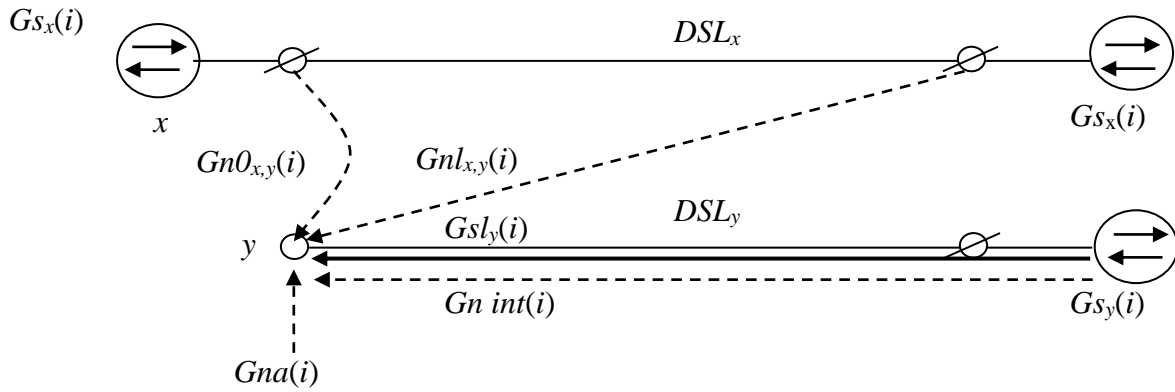


Рисунок 1 – Модель завад СП ОГС при роботі багатопарним кабелем

При роботі по багатопарних кабелях повинні враховуватися:

- інтерференційна завада, враховується як СГП інтерференційної завади $Gn\ int(i)$;
- перехідна завада на ближній кінець (ПЗ БК, NEXT), враховується як СГП перехідної завади на ближньому кінці від x -ї СП на y -у СП $Gn0_{x,y}(i)$;
- перехідна завада на далекий кінець (ПЗ ДК, FEXT), враховується як СГП перехідної завади на ближньому кінці від x -ї СП на y -у СП $Gnl_{x,y}(i)$;
- різноманітні види адитивних завад: атмосферні завади, завади від радіостанцій та промислові завади, які створюють лінії електропередачі, електрифіковані залізници та промислові і побутові електроприлади тощо, які мають різну природу (а отже різні спектри), що унеможливує врахування окремо внесок кожної з них; в подальшому для визначеності будемо враховувати адитивні завади з рівномірною спектральною густиною потужності (АЗРСГП); невід’ємною складовою АЗРСГП є тепловий шум, який має рівномірну СГП близько мінус 140 дБп/Гц у діапазоні частот до 6 ГГц; спектральна густина потужності АЗРСГП $Gna(i) = const$ в розрахунках приймається рівномірною в усьому робочому діапазоні каналу зв’язку і змінюється у межах мінус 140...мінус 100 дБп/Гц.

Складові $SNR_k(i)$ відношення сигнал/завада $SNR_{\Sigma}(i)$ визначаються наступним чином:

$$SNR_k(i) = 10^{0,1 \cdot (Gsl_y(i) - Gn_k(i))}, \quad (10)$$

де $Gsl_y(i)$ – СГП сигналу на вході приймача y -ї СП на i -й несучій; $Gn_k(i)$ – СГП k -ї завади на вході приймача СП на i -й несучій.

$Gn0_{x,y}(i)$ та $Gnl_{x,y}(i, l)$ від кожної з ЦАЛ, що впливають, розраховуються аналогічно (8) за наданими у [5] формулами. СГП сумарної ПЗ БК та ДК від усіх ЦАЛ, що впливають, визначається наступним чином:

$$Gn0_{\Sigma}(i) = 10 \lg \left(\sum_{x, x \neq y} 10^{0,1 \cdot Gn0_y(i)} \right); \quad (11)$$

$$Gnl_{\Sigma}(i) = 10 \lg \left(\sum_{x, x \neq y} 10^{0,1 \cdot Gnl_{x,y}(i)} \right). \quad (12)$$

Інтерференційна завада розраховується як відсоткове співвідношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу $h(i)$, тому СГП інтерференційної завади на вході приймача визначається за наступною формулою:

$$Gn\ int(i) = 20 \lg h(i) - 40 + Gsl_y(i), \quad (13)$$

де $h(i)$, %, – розраховане згідно з методом, викладеним у [8], співвідношення ефективних значень напруги інтерференційних завад і напруги сигналу на вході приймача на i -й несучій частоті; 40 – коефіцієнт, що враховує перерахунок відсоткового співвідношення $h(i)$ у децибелі.

Результати розрахунку $Gn\theta_{\Sigma}(i)$, $GnI_{\Sigma}(i)$, $Gn\text{int}(i)$ та $Gna(i)$ підставляються у (10).

Результуюче $SNR_{\Sigma}(i)$ визначається як:

$$SNR_{\Sigma}(i) = \frac{1}{\sum_k \frac{1}{SNR_k(i)}}. \quad (14)$$

З метою недопущення розриву з'єднання внаслідок непередбачуваної зміни рівня завад, у розрахунках необхідно врахувати запас завадозахищеності ΔSNR (SNR margin), який складає 6 дБ [3, 6]:

$$SNR_{\Sigma}(i) = \frac{1}{\left(\sum_k \frac{1}{SNR_k(i)}\right) \cdot 10^{0,1 \cdot \Delta SNR}}. \quad (15)$$

З урахуванням (15) формула (7) набуває кінцевого вигляду:

$$b(i) = \text{floor} \left\{ \log_2 \left[1 + \frac{3}{[Q^{-1}\left(\frac{p}{1,5345}\right)]^2 \cdot \left(\sum_k \frac{1}{SNR_k(i)}\right) \cdot 10^{0,1 \cdot \Delta SNR}} \right] \right\}. \quad (16)$$

Таким чином, розроблено метод розрахунку швидкості передачі, досяжної СП ОГС, з урахуванням як інтерференційних, так і перехідних завад: для визначення досяжної швидкості передачі використовуються формули (1) і (16).

Аналіз впливу від рівня АЗРСГП та перехідних завад у багатопарних кабелях на швидкість передавання СП ОГС вже проводився у [5], але без врахування інтерференційних завад, тому основною метою даного дослідження є врахування впливу інтерференційних завад при оцінці швидкості передавання СП ОГС за допомогою розробленого методу.

Дослідження проводилося для СП за технологією ADSL2+, розрахунки виконувались для наступних вихідних даних:

- визначалися досяжні швидкості передавання у низхідному напрямку (номери несучих частот – 33...511);
- СГП сигналу на виході передавача визначалася згідно з [3];
- ймовірність помилки p приймалася рівною 10^{-7} (відповідає нормі припустимої ймовірності помилки на абонентській ділянці мереж доступу);
- АЗРСГП приймалася рівною в межах мінус 140...мінус 120 дБп/Гц;
- розрахунки проводилися для кабелів типу ТП-10х2 та 50х2 пучкового скручення з діаметром жил 0,5 мм довжиною 1...4 км;
- вплив перехідних завад враховувався при 10, 50 та 100-відсотковому завантаженні багатопарного кабелю системами передачі ADSL2+, також враховувалося погіршення перехідного загасання на $\Delta A_l=10$ дБ для кабелів, що тривалий час знаходилися в експлуатації.

У табл. 1 та на рис. 2 надано результати розрахунку швидкості передавання СП ADSL2+ з урахуванням окремо внеску кожної складової завад та сумарної завади.

Таблиця 1 – Швидкість передавання СП ADSL2+, Мбіт/с

Довжина лінії, км	R_0	R_{int}	R_{xt}	R_a	$R_{\Sigma n}$
1	28,74	28,74	14,616	24,22	14,496
2	23,26	22,792	12,584	13,684	10,144
3	14,196	13,436	9,052	6,38	5,624
4	8,096	7,224	6,028	2,788	2,664

Примітка. На рисунках та у таблицях використовуються наступні позначення: R_0 – швидкість передавання розрахована без урахування завад (враховується тільки тепловий шум – мінус 140 дБн/Гц), R_{int} – швидкість передавання, розрахована з урахуванням тільки інтерференційних завад; R_{xt} – швидкість передавання, розрахована з урахуванням тільки перехідних завад, при 100-відсотковому завантаженні кабелю ТП-10х2х0,5 системами ADSL2+ та $\Delta A=10$ дБ; R_a – швидкість передавання, розрахована з урахуванням тільки АЗРСГП з рівнем мінус 120 дБн/Гц; $R_{\Sigma n}$ – швидкість передавання, розрахована з урахуванням АЗРСГП, інтерференційних та перехідних завад.

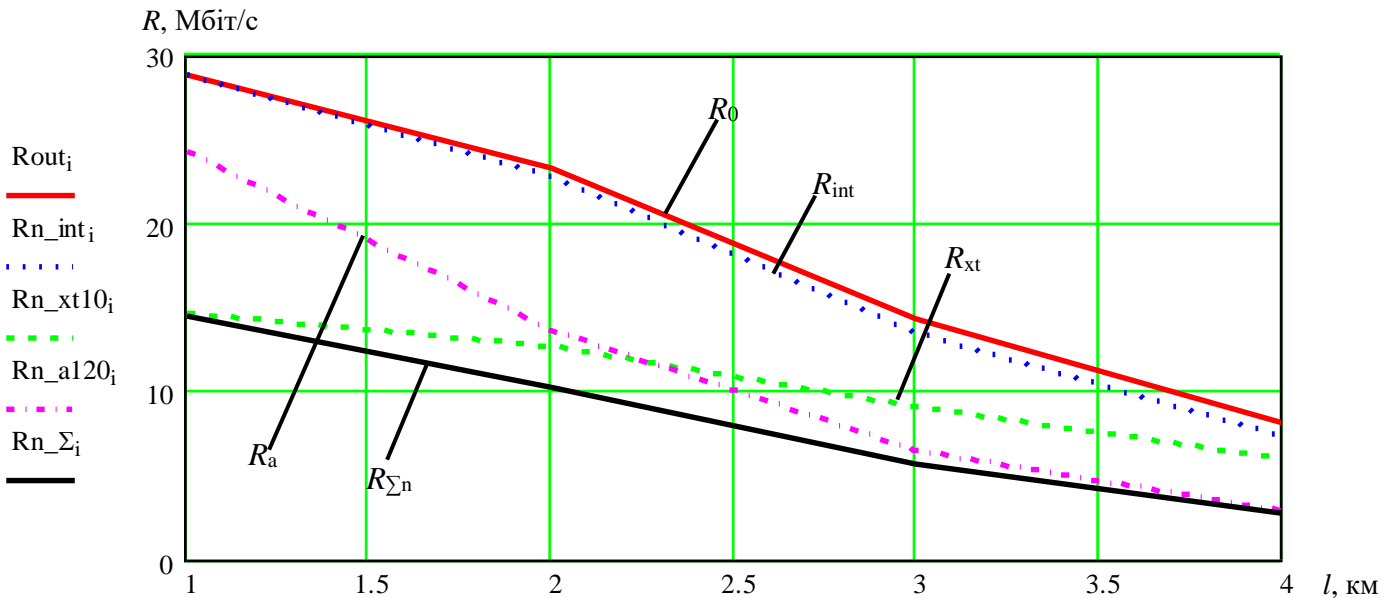


Рисунок 2 – Швидкість передавання СП ADSL2+ при роботі по багатопарному кабелю ТП-10х2х0,5

Як видно з рис. 2, швидкість передавання СП ADSL2+, в залежності від конкретної завадової ситуації (ефективності корекції частотних спотворень, рівня зовнішніх завад, кількості ліній, що впливають, та стану кабелю), може змінюватися в широкому діапазоні (обмежена кривими 1 і 5).

Для оцінки впливу кожного типу завад доцільно розглядати втрату швидкості передавання. Визначалися абсолютна (у кбіт/с) та відносна (у %) втрата швидкості передавання відповідно за формулами:

$$\Delta R = R_0 - R_i, \tag{17}$$

$$\Delta R_{\%} = \frac{(R_0 - R_i)}{R_0} \cdot 100\%, \tag{18}$$

де R_0 – швидкість передавання без урахування інтерференційних завад; R_i – швидкість передавання з урахуванням i -ї завади.

Результати розрахунків втрати швидкості передавання за формулами (17), (18) подані на рис. 3 та у табл. 2.

Таблиця 2 – Абсолютна та відносна втрата швидкості передавання СП ADSL2+

Довжина лінії, км	ΔR_{int}		ΔR_{xt}		ΔR_a		$\Delta R_{\Sigma n}$	
	ΔR , Мбіт/с	$\Delta R\%$, %	ΔR , Мбіт/с	$\Delta R\%$, %	R , Мбіт/с	$\Delta R\%$, %	$\Delta R\%$, %	R , Мбіт/с
1	0	0	14,124	49,144	4,52	15,727	14,244	49,562
2	0,468	2,012	10,676	45,899	9,576	41,169	13,116	56,389
3	0,76	5,354	5,144	36,236	7,816	55,058	8,572	60,383
4	0,872	10,771	2,068	25,543	5,308	65,563	5,432	67,095

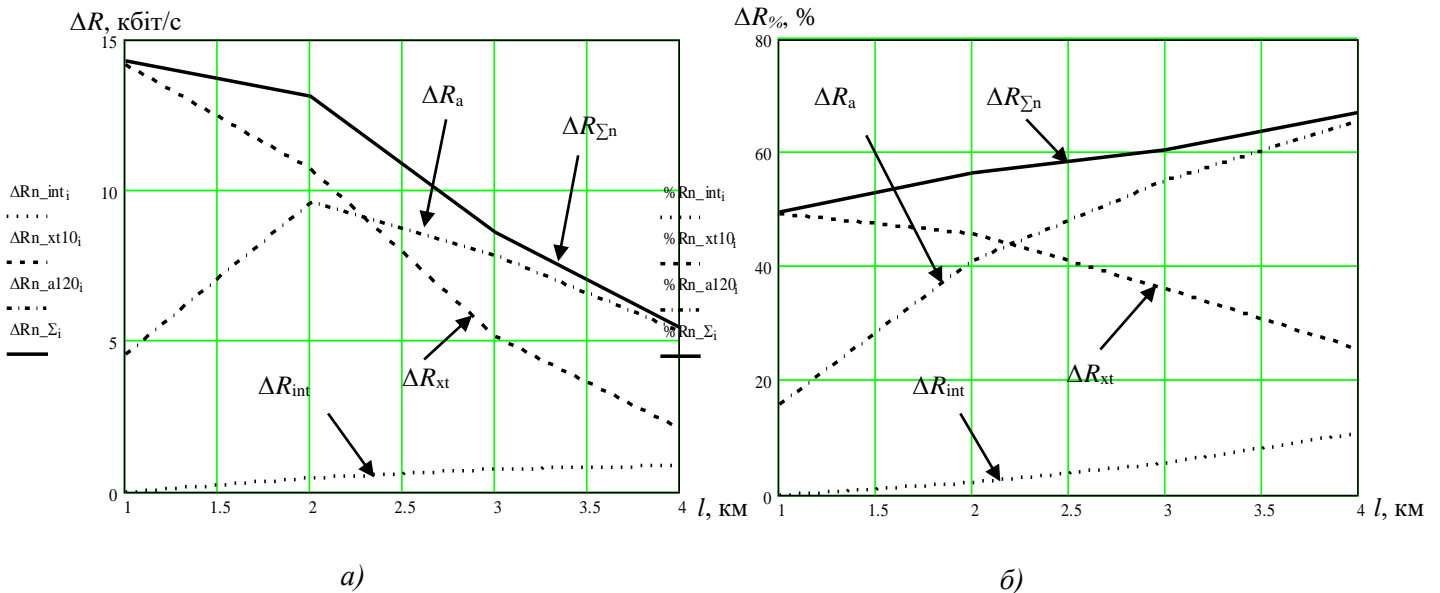


Рисунок 3 – Залежність абсолютної (а) та відносної (б) втрати швидкості передавання СП ADSL2+ від довжини лінії

За результатами розрахунків можна зробити наступні висновки:

– перехідні завади суттєво обмежують швидкість передавання на коротких лініях (< 2 км), а зі збільшенням довжини лінії спостерігається зменшення втрати швидкості передавання (відносна втрата на 4 км вдвічі менша ніж на 1 км). Це пояснюється тим, що при збільшенні довжини лінії перехідне загасання на ДК збільшується за рахунок збільшення власного загасання лінії, відповідно зменшується потужність перехідних завад;

– при впливі АЗРСГП відносна втрата швидкості передавання зростає зі збільшенням довжини лінії, що пояснюється зменшенням потужності сигналу на вході приймача при незмінній потужності завади. АЗРСГП суттєво обмежує швидкість передавання на довгих лініях (> 2 км);

– інтерференційні завади не обмежують швидкість передавання при довжині лінії менш ніж 1,5 км, що обумовлено малими лінійними спотвореннями сигналу. Це підтверджується дослідженнями інтерференційних завад в СП ADSL2+ [8]. При збільшенні довжини лінії збільшуються лінійні спотворення, відповідно починає зростати втрата швидкості передавання, яка сягає 10 % при довжині лінії 4 км.

На завершення підсумуємо, що у даній статті наведено удосконалений метод оцінки швидкості передавання СП ОГС, який дозволяє врахувати усі можливі види завад, якщо відома їх СГП; досліджено вплив завад на досягну швидкість передавання СП ADSL2+; встановлено, що на коротких лініях (< 2 км) основним видом завад, які обмежують досягну швидкість передавання, є перехідні завади, на довгих лініях (> 2 км) – АЗРСГП, а інтерференційні завади виявляють себе при низьких рівнях АЗРСГП та перехідних завад.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / Балашов В. А, Воробийенко П.П, Ляховецкий Л.М. – М.:Эко – Трендз, 2012. – 228 с.: ил.
2. Балашов В.А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник; под общей ред. В.А. Балашова. – М.: ЭкоТрендз. – 2008. – 262 с.
3. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
4. Балашов В. А. Моделирование характеристик цифровых абонентских линий [Текст] / В. А. Балашов, Л. М. Ляховецкий // Зв'язок. – 2003. – №2. – С. 19 – 23.
5. Ляховецький Л. М. Характеристики широкопосмугового доступу за технологією VDSL2 / Л. М. Ляховецький, В. І. Орешков // Наук. праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2012. – № 2. – С. 93 – 98.
6. ITU-T. Recommendation G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). – Appr. 2006, February. – Geneva, 2006. – 252 p.
7. Ляховецький Л. М. Визначення точної формули розрахунку швидкості передавання інформації на несучих систем передачі ортогональними гармонічними сигналами / Л. М. Ляховецький, В. І. Орешков // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2012. – № 1. – С. 138 – 143.
8. Ляховецький Л. М. Дослідження інтерференційних завад у системах передавання за технологією ADSL2+ / Л.М. Ляховецький, І. Б. Барба, С. А. Заблоцький // Зв'язок. – 2012. – №4. – С. 6 – 9.

REFERENCES:

1. Balashov, V.A., Lyakhovetskiy L.M. Orthogonal harmonic signals transmission system.– М.: Eco-Trends, 2012. Print.
2. Balashov, V.A. Broadband access technology xDSL. Engineering Handbook; ed. V.A. Balashov. –М.: Eco-Trends, 2008. Print.
3. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
4. Balashov, V.A., Lyakhovetskiy L.M. “Modeling the characteristics of digital subscriber lines.” *Zv'yazok* №2.– (2003): 19-23.
5. Lyakhovetskiy L.M., Oreshkov V.I. “Characteristics of broadband technology VDSL2.” *Proc. of the O.S. Popov ONAT* №2 (2012): 93-98.
6. ITU-T. Recommendation G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). – Appr. 2006, February. – Geneva, 2006. – 252 p.
7. Lyakhovetskiy L.M., Oreshkov V.I. “ Determining the exact formula for calculating transmission rate of information on orthogonal harmonic signals transmission system carriers.”. *Proc. of the O.S. Popov ONAT* №1 (2012): 138-143.
8. Lyakhovetskiy L.M., Barba I.B., Zablotskiy S.A. “Research of interference noise in ADSL2+ technology transmission systems.” *Zv'yazok* №2 (2012): 6-9.