

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВАРІЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ У СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ  
ОРТОГОНАЛЬНИМИ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ**

*Балашов В.О., Орешков В.І., Єгупова О.П.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.  
[bva@oniis.org.ua](mailto:bva@oniis.org.ua), [Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [elena.iegupova@gmail.com](mailto:elena.iegupova@gmail.com)*

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАРЬИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ  
ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ**

*Балашов В.А., Орешков В.И., Егупова Е.П.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.  
[bva@oniis.org.ua](mailto:bva@oniis.org.ua), [Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [elena.iegupova@gmail.com](mailto:elena.iegupova@gmail.com)*

**EFFICIENCY OF PARAMETERS VARIATION IN THE TRANSMISSION SYSTEMS BY  
ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS**

*Balashov V.O., Oreshkov V.I., Iegupova O.P.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.  
[bva@oniis.org.ua](mailto:bva@oniis.org.ua), [Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [elena.iegupova@gmail.com](mailto:elena.iegupova@gmail.com)*

**Анотація.** У статті надані результати дослідження ефективності варіювання параметрів групового сигналу систем передачі (СП), що використовують системи ортогональних гармонічних сигналів (ОГС) шляхом оцінки досяжної швидкості передавання в умовах впливу інтерференційних завад. Здійснено моделювання роботи систем передачі ортогональними гармонічними сигналами з традиційною формою обвідної й сигналами узагальненого класу з оптимальною формою обвідної групового лінійного сигналу за різних величин захисного інтервалу на прикладі системи ADSL2+. Надана оцінка досяжної системами передачі ОГС швидкості передавання по телефонних кабелях типу ТПП з урахуванням потужності інтерференційних та адитивних завад при варіюванні тривалості захисного інтервалу. Доведено, що збільшення тривалості захисного інтервалу більш ефективно у СП ОГС з традиційною формою обвідної, а ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу порівняно з традиційними забезпечують підвищення швидкості передавання каналами з частотними спотвореннями.

**Ключові слова:** ортогональні гармонічні сигнали, система передачі, канал передачі, довжина лінії, швидкість передавання, інтерференційні та адитивні завади, захисний інтервал.

**Аннотация.** В статье даны результаты исследования эффективности варьирования параметров группового сигнала систем передачи (СП), использующих системы ортогональных гармонических сигналов (ОГС) путем оценки достижимой скорости передачи в условиях воздействия интерференционных помех. Выполнено моделирование работы систем передачи ортогональными гармоническими сигналами с традиционной формой огибающей и сигналами обобщенного класса с оптимальной формой огибающей группового линейного сигнала при различных величинах защитного

інтервала на прикладі системи ADSL2+. Дана оцінка досяжимої системою передачі ОГС швидкості передачі по телефонних кабелях типу ТПП з урахуванням потужності інтерференційних і адитивних шумів при варіюванні тривалості захисного інтервала. Доведено, що збільшення тривалості захисного інтервала більш ефективно в СП ОГС з традиційною формою обгортаючої, а ортогональні гармонічні сигнали обобщеного класу порівняно з традиційними забезпечують підвищення швидкості передачі по каналах з частотними спотвореннями.

**Ключевые слова:** ортогональні гармонічні сигнали, система передачі, канал передачі, швидкість передачі, інтерференційні і адитивні шуми, захисний інтервал.

**Abstract.** In the article the research results of efficiency of group signal parameters variation of the transmission systems (TS) using systems of orthogonal harmonic signals (OHS) by estimating the achievable transmission rate in the presence of interference noises are given. Modeling of the operation of transmission systems by orthogonal harmonic signals with the traditional envelope shape and signals of the generalized class with the optimal envelope shape of the group linear signal with different guard interval values for example ADSL2+ system is carried out. An estimation of the achievable transmission rate by orthogonal harmonic signals transmission systems over ТПП type telephone cables with considering the power of interference and additive noises with guard interval duration variation is given. The guard interval duration increasing is more effective in the OHS TS with the traditional envelope shape, while the generalized class orthogonal harmonic signals provide the transmission rate increasing over channels with frequency distortions, in comparison with the traditional ones is proved.

**Key words:** orthogonal harmonic signals, transmission system, transmission channel, transmission rate, interference and additive noises, guard interval.

Технології та системи передачі (СП), що використовують для передавання інформації множини ортогональних гармонічних сигналів (ОГС), зараз є найпоширенішими в телекомунікації. Вони застосовуються на мережах цифрового телевізійного і радіомовлення, широкопasmового проводного та радіодоступу, також проводяться дослідження для застосування ОГС у системах оптичного зв'язку [1].

Метод передавання інформації множиною ОГС, які одночасно і незалежно модулюються інформаційними сигналами, що передаються, називають різними термінами: Discrete Multitone (DMT) – дискретна багаточастотна модуляція; Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) – мультиплексування з ортогональним частотним розділенням [2]. Але в основі лежить одне – використання багаточастотної структури групового сигналу, яке забезпечує високу ефективність передавання інформації каналами зв'язку з ненормованими та нестабільними в часі частотними характеристиками, з адитивними та мультиплікативними завадами, що визначає специфічні можливості адаптації СП ОГС. Одна з таких можливостей полягає у варіації тривалості захисного інтервалу в залежності від величини лінійних спотворень в каналі передачі, інша – в застосуванні оптимальної форми обвідної посилки сигналу на тактовому інтервалі (ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу – ОГС УК [3]).

У роботі [4] визначено, що варіацією тривалості захисного інтервалу можливо ефективно протидіяти інтерференційним завадам, викликаних лінійними частотними спотвореннями в каналі передачі, а застосування оптимальної форми обвідної посилки

сигналу дозволяє зменшити потужність інтерференційних завад більш ніж у два рази. Зрозуміло, що у кінцевому рахунку варіацією параметрів сигналу СП ОГС можливо досягти підвищення ефективності передавання інформації – підвищення досяжної швидкості передавання інформації.

**Метою даної статті** є дослідження ефективності впливу варіювання тривалості захисного інтервалу на досягну швидкість передавання у системах передачі, які використовують традиційні ОГС і ОГС УК.

Дослідження проводилось шляхом аналітичного моделювання роботи традиційних СП ОГС (СП-1) і СП з ОГС УК (СП-2) на прикладі СП за технологією ADSL2+ [5]. Структурні схеми систем передачі показані відповідно на рис. 1 і 2.

Для дослідження використані наступні параметри СП за технологією ADSL2+ та лінії зв'язку:

- кількість інформаційних каналів ( $n$ ) – 479;
- номер першого інформаційного каналу ( $m$ ) – 33;
- кількість відліків інтервалу ортогональності ( $N$ ) – 512;
- кількість відліків захисного інтервалу ( $L$ ) вибиралася 32, 64, 96, 128;
- лінія зв'язку – телефонні кабелі типу ТПП з діаметром жил 0,5 мм;
- довжина лінії ( $l_n$ ) вибиралася 1, 2, 3, 4, 5 км;
- спектральна густина потужності адитивних завад задавалася рівномірною (АЗРСГП) в межах – мінус 140...мінус 120 дБм/Гц;
- вид обвідної послідовності лінійного сигналу – традиційний (П-подібної форми) та узагальненого класу з оптимальною функцією (з косинус квадратичними фронтами) [3].

У роботі [4] досліджено залежність інтерференційних завад при варіюванні тривалості захисного інтервалу у традиційних СП ОГС та СП з ОГС УК. Для прикладу на рис. 3 надано результати залежності середньоарифметичного значення інтерференційних завад для всіх каналів ( $\bar{h}$ ) від номера відліку початку інтегрування в приймачі ( $kT$ ), які пояснюють вплив тривалості захисного інтервалу на величину інтерференційних завад та значення оптимального моменту початку обробки сигналу у приймачі СП ОГС.

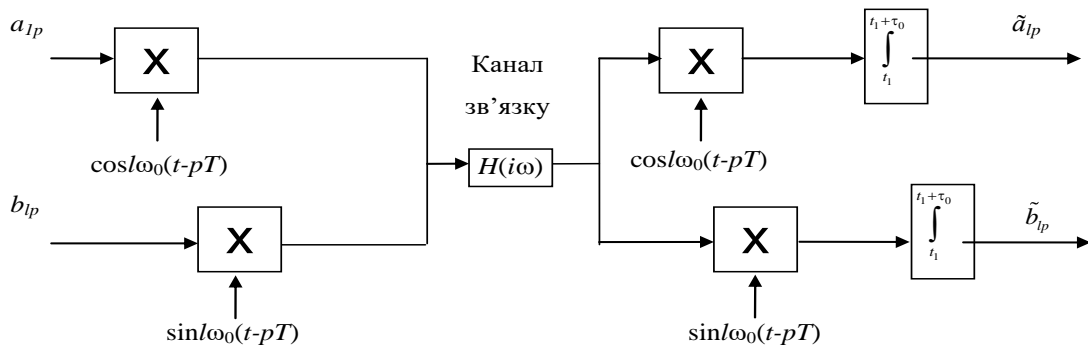


Рисунок 1 – Структурна схема  $l$ -го каналу традиційної СП ОГС (СП-1)

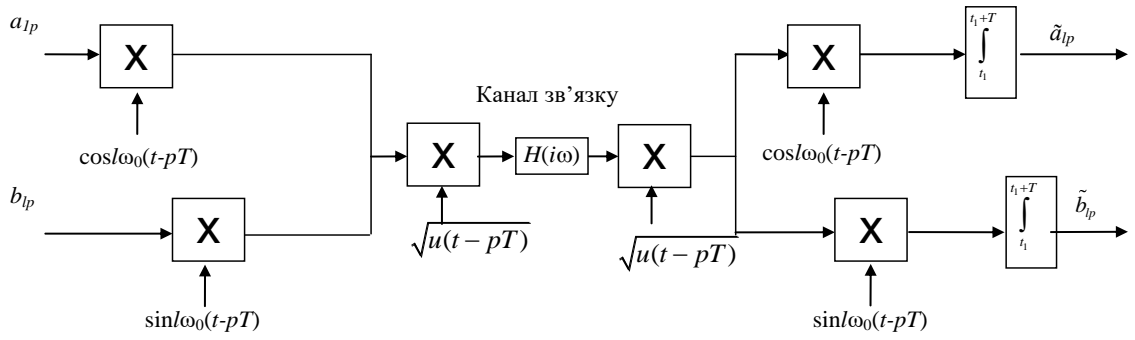


Рисунок 2 – Структурна схема  $l$ -го каналу СП з ОГС УК (СП-2)

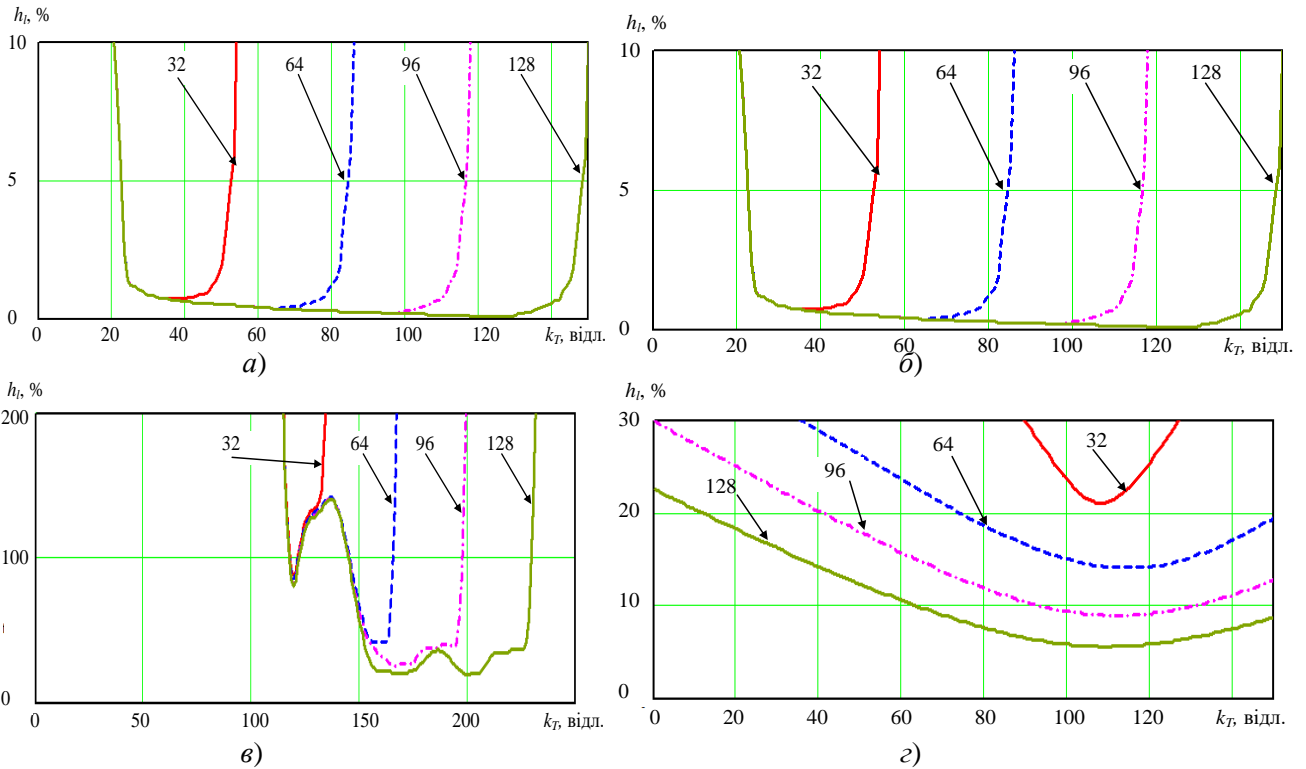


Рисунок 3 – Залежність  $\bar{h}$  від  $k_T$  для СП ADSL2+ при варіюванні тривалості захисного інтервалу: а)  $l_l = 1$  км, СП-1; б)  $l_l = 1$  км, СП-2; в)  $l_l = 5$  км, СП-1; г)  $l_l = 5$  км, СП-2

За результатами розрахунку визначені оптимальні значення  $k_T$  та розподіл інтерференційних завад по каналах СП ОГС  $h(l)$  при цьому. Отримані у [4] результати є вихідними даними для розрахунку досяжної швидкості передавання у СП ОГС.

Для досліджуваних варіантів моделей СП ОГС з урахуванням характеристик ліній зв'язку, адитивних завад (заданих рівномірною спектральною густиною потужності, АЗРСГП) й інтерференційних завад були оцінені швидкості передавання за методикою, розглянутою у [6].

Результати розрахунків швидкості передавання наведено в табл. 1...3.

Таблиця 1 – Швидкість передавання СП ADSL2+ (СП-0) без урахування інтерференційних завад, Мбіт/с

$L$ , відл	32		64		96		128	
$\begin{matrix} \text{АЗРСГП, дБм/Гц} \\ l_L, \text{ км} \end{matrix}$	- 140	- 120	- 140	- 120	- 140	- 120	- 140	- 120
1	24	24	24	24	24	23,636	24	22,985
2	24	14,329	23,464	13,908	22,789	13,508	22,162	13,136
3	14,869	6,73	14,432	6,532	14,017	6,344	13,631	6,169
4	8,535	2,963	8,284	2,876	8,046	2,793	7,824	2,716
5	4,578	1,261	4,444	1,224	4,316	1,189	4,197	1,156

Таблиця 2 – Швидкість передавання СП ADSL2+ (СП-1) з урахуванням інтерференційних завад, Мбіт/с

$L$ , відл	32		64		96		128	
$\begin{matrix} \text{АЗРСГП, дБм/Гц} \\ l_L, \text{ км} \end{matrix}$	- 140	- 120	- 140	- 120	- 140	- 120	- 140	- 120
1	22,95	22,043	24	23,112	24	23,081	24	22,868
2	17,18	12,882	19,648	13,224	22,133	13,399	22,014	13,106
3	9,969	6,223	11,704	6,284	13,104	6,267	13,438	6,162
4	5,576	2,794	6,328	2,784	6,892	2,762	7,19	2,701
5	3,322	1,216	3,68	1,2	3,947	1,185	3,944	1,152

У табл. 2 і 3 максимальні швидкості передавання при варіації тривалості захисного інтервалу при фіксованих характеристиках каналу передачі (значеннях довжини лінії та СГП адитивних завад) сірим кольором позначено клітинки таблиці (світліші при завадах мінус 140 дБм/Гц, темніші – мінус 120 дБм/Гц).

Крім безпосередньої оцінки швидкості передавання доцільним є також порівняння втрат швидкості передавання традиційної СП ОГС та СП з ОГС УК при варіюванні тривалості захисного інтервалу відносно варіанта, коли у розрахунку не враховується потужність інтерференційних завад, що дасть змогу оцінити ефективність придушення інтерференційних завад.

Таблиця 3 – Швидкість передавання СП ADSL2+ (СП-2) з урахуванням інтерференційних завад, Мбіт/с

$L$ , відл	32		64		96		128	
$\begin{matrix} \text{АЗРСГП, дБм/Гц} \\ l_L, \text{ км} \end{matrix}$	- 140	- 120	- 140	- 120	- 140	- 120	- 140	- 120
1	24	23,824	24	23,768	24	23,329	24	22,804
2	21,545	13,805	22,84	13,756	22,622	13,469	22,113	13,121
3	13,018	6,532	14	6,492	13,955	6,336	13,608	6,166
4	7,014	2,889	7,004	2,836	7,257	2,774	7,477	2,705
5	3,977	1,249	4,152	1,22	4,223	1,189	4,152	1,156

*Примітка.* У таблицях використовуються наступні позначення: СП-0 – СП ОГС, при розрахунку швидкості передавання якої інтерференційні завади не враховуються; СП-1 – це традиційна СП ОГС, в якій для боротьби з інтерференційними завадами застосовується захисний інтервал, а СП-2 – СП з ОГС узагальненого класу, в якій замість захисного інтервалу застосовується обвідна  $u(t)$ .

Визначалися абсолютна (у Мбіт/с) та відносна (у %) втрата швидкості передавання відповідно за формулами:

$$\Delta R = R_0 - R_i ; \quad (1)$$

$$\Delta R_{\%} = \frac{(R_0 - R_i)}{R_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $R_0$  – швидкість передавання СП-0, без урахування інтерференційних завад;  $R_i$  – швидкість передавання СП- $i$  ( $i=1,2$ ), з урахуванням інтерференційних завад.

Результати розрахунків абсолютної та відносної втрати швидкості передавання показані відповідно на рис. 4 та 5.

Аналізуючи отримані результати розрахунку, можна дійти наступних висновків:

– потенційно досяжні швидкості передавання без урахування інтерференційних завад зменшуються при збільшенні тривалості захисного інтервалу (див. табл. 1), що пояснюється збільшенням надлишковості лінійного сигналу та відповідно зменшенням частоти передавання інформаційних кадрів (інформаційної частоти), так при  $L = 32$  інформаційна частота дорівнює 4,121 кГц, а при  $L = 128$  – лише 3,778 кГц;

– інтерференційні завади призводять до зменшення досяжної швидкості передавання (див. табл. 2 та 3), при цьому збільшення тривалості захисного інтервалу зменшує вплив інтерференційних завад на швидкість передавання (див. рис. 4 та 5), наприклад, для СП-1 за рівня СГП завад мінус 140 дБм/Гц та довжини лінії 2 км при  $L = 128$  втрата швидкості складає 0,148 Мбіт/с (0,67 %), а при  $L = 32$  – досягає 6,82 Мбіт/с (28,42 %). Але при цьому максимальна швидкість передавання з урахуванням інтерференційних завад досягається за тривалості захисного інтервалу  $L = 96$  – 22,133 Мбіт/с (абсолютна та відносна втрата швидкості відповідно складає 0,656 Мбіт/с та 2,89 %). Отже, оптимальна (за максимальною досяжною з урахуванням інтерференційних завад швидкістю передавання) тривалість захисного інтервалу визначається за умови забезпечення балансу між підвищенням швидкості передавання за рахунок зменшення потужності інтерференційних завад та зменшенням швидкості від зниження інформаційної частоти;

– при збільшенні довжини лінії зростання лінійних спотворень призводить до того, що максимальна швидкість передавання досягається при більшому значенні захисного інтервалу (див. зафарбовані клітинки в табл. 2 та 3), за якого досягається достатній рівень придушення інтерференційних завад. Але до певного моменту (5 км), коли спостерігається зворотний ефект – зменшення швидкості передавання за рахунок зниження інформаційної частоти превалює перед підвищенням швидкості за рахунок зменшення потужності інтерференційних завад. Це пояснюється суттєвим збільшенням власного загасання лінії, відповідно, зменшенням частки інтерференційної завади у сумарній заваді;

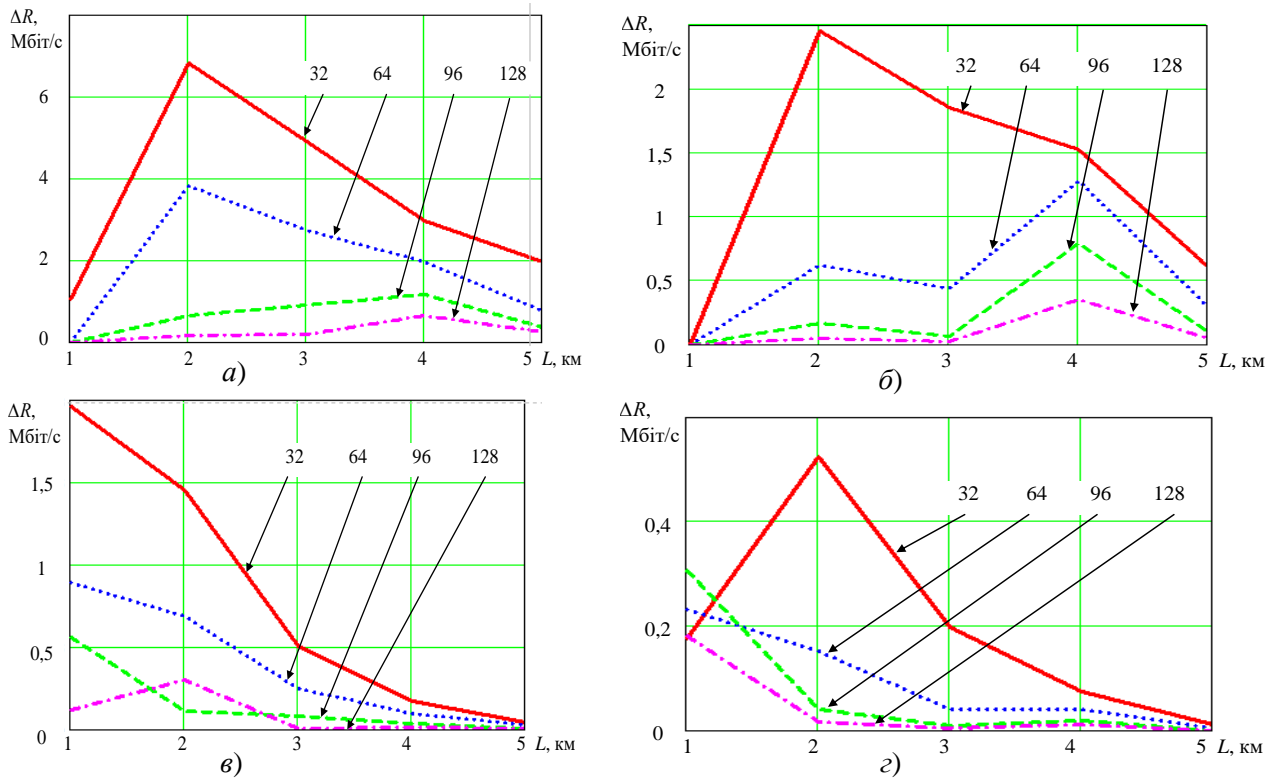


Рисунок 4 – Залежність абсолютної втрати швидкості передавання від довжини лінії:  
 а) АЗРСГП = -140 дБм/Гц, СП-1; б) АЗРСГП = -140 дБм/Гц, СП-2;  
 в) АЗРСГП = -120 дБм/Гц, СП-1; з) АЗРСГП = -120 дБм/Гц, СП-2

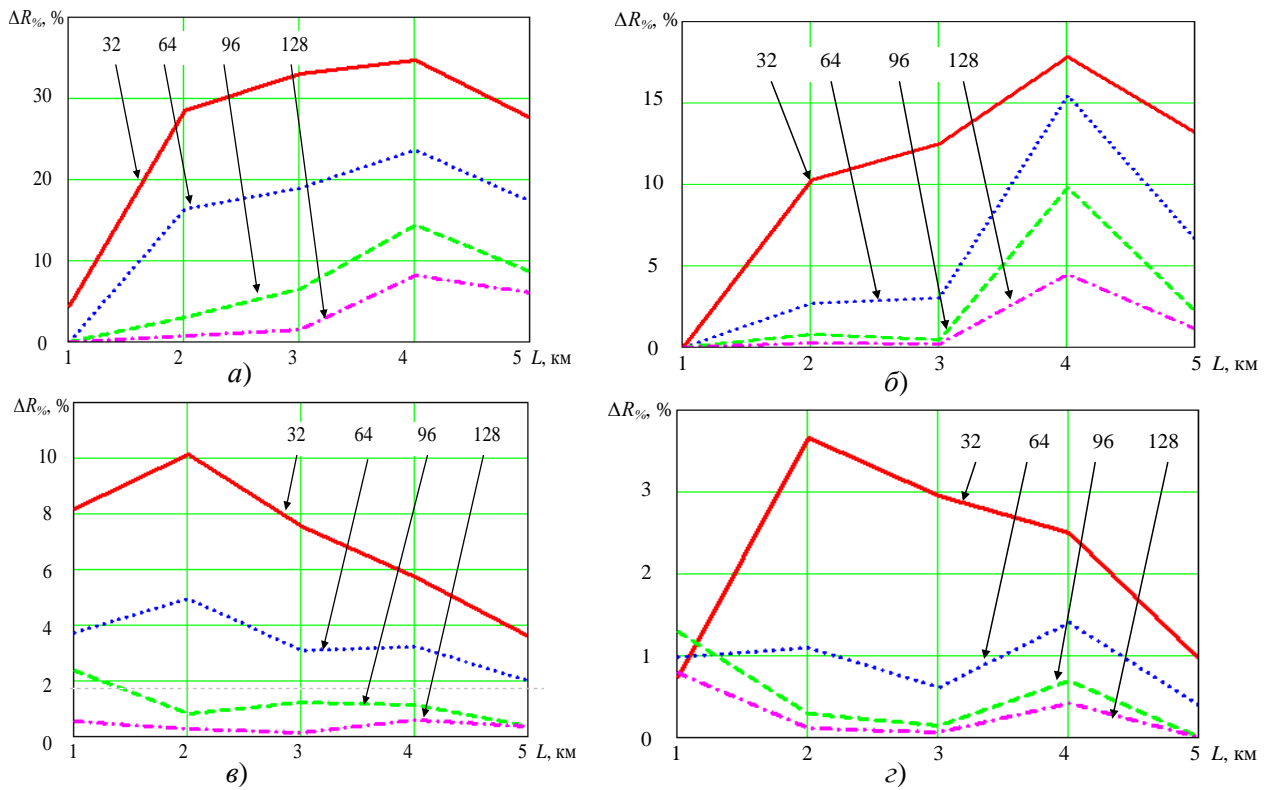


Рисунок 5 – Залежність відносної втрати швидкості передавання від довжини лінії:  
 а) АЗРСГП = -140 дБм/Гц, СП-1; б) АЗРСГП = -140 дБм/Гц, СП-2;  
 в) АЗРСГП = -120 дБм/Гц, СП-1; з) АЗРСГП = -120 дБм/Гц, СП-2

– збільшення потужності адитивних завад призводить до того, що максимальна швидкість передавання досягається при меншому значенні тривалості захисного інтервалу. Як і в попередньому висновку, це пов'язано зі зменшенням частки інтерференційної завади у сумарній заваді;

– незалежно від характеристик каналу передачі використання СП з ОГС узагальненого класу дозволяє досягти більших швидкостей ніж традиційна СП ОГС (порівнюємо табл. 2 та 3). За однакових умов (довжини лінії, рівня завад та тривалості захисного інтервалу) втрата швидкості для СП з ОГС УК у 1,5...6 разів менша ніж для традиційної СП ОГС. Якщо порівнювати максимально досяжні швидкості передавання, то слід відзначити, що для СП з ОГС УК вони досягаються за меншої величини тривалості захисного інтервалу, відповідно за меншої надлишковості лінійного сигналу та більшої інформаційної частоти. Тобто використання ОГС УК дозволяє підвищити ефективність передавання інформації.

Отримані результати доводять, що шляхом варіювання тривалості захисного інтервалу в залежності від характеристик каналу передачі дійсно можна забезпечити підвищення досяжної швидкості передавання порівняно з варіантом роботи СП ОГС з фіксованою тривалістю захисного інтервалу, причому СП з ОГС УК дозволяє досягти більшої швидкості передавання ніж традиційна СП ОГС, відповідно підвищити ефективність передавання інформації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / Балашов В. А., Воробийченко 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. Балашов В.А. Интерференционные помехи в системах передачи гармоническими сигналами обобщенного класса /В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий, И.Б. Барба // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Выпуск 1. – Том 9. – С. 79 – 86.
4. Орешков В.И. Исследование интерференции в системах передачи ортогональными гармоническими сигналами при вариации параметров сигнала и характеристик канала / В.И. Орешков, И.Б. Барба, Е.П. Егупова // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2016. – № 2. – С. 123 – 130.
5. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Apr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
6. Ляховецький Л.М. Удосконалення методу оцінки швидкості передавання систем передачі ортогональними гармонічними сигналами / Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков, І.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. – Частина 2. – № 2. – С. 186 – 193.



REFERENCES:

1. Balashov V. A. Transmission systems by orthogonal harmonic signals / Balashov V. A, Vorobienko P.P, Lyakhovetskiy L.M. – M.:Eko-Trendz, 2012. – 228 p.
2. Balashov V. A. “xDSL broadband access technologies. Engineering Handbook”; Under the general editorship V. A. Balashov. – M.: Eko-Trendz, 2008. – 262 p.
3. Balashov V.A., Lyakhovetskiy L.M., Barba I.B. “Interference noises in generalized class orthogonal harmonic signals transmission systems ” SWorld scientific papers. №1 (38). Tome 9. (2014): 79-86.
4. Oreshkov V.I., Barba I.B., Iegupova O.P. “Research of interference in the orthogonal harmonic signals transmission systems when signal parameters and channel characteristics variation” Proc. of the O.S. Popov ONAT "Information Science and Communication." №2 (2016): 123-130.
5. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
6. Lyakhovetskiy L.M., Oreshkov V.I., Barba I.B. “Enhancement of orthogonal harmonic signals transmission systems transmission rate evaluation method.” Proc. of the O.S. Popov ONAT "Information Science and Communication." № 2 (2014). Part 2: 186-193.