

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ГРУПОВОГО СИГНАЛУ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ  
ОРТОГОНАЛЬНИМИ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ  
УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ**

*Орешков В.І., Барба І.Б., Єзупова О.П.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.  
[Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [irina\\_barba@mail.ru](mailto:irina_barba@mail.ru), [dodonka\\_1981@mail.ru](mailto:dodonka_1981@mail.ru)*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРУППОВОГО СИГНАЛА  
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ  
СИГНАЛАМИ ОБОБЩЕННОГО КЛАССА**

*Орешков В.И., Барба И.Б., Езупова Е.П.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1  
[Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [irina\\_barba@mail.ru](mailto:irina_barba@mail.ru), [dodonka\\_1981@mail.ru](mailto:dodonka_1981@mail.ru)*

**OPTIMIZATION OF GROUP SIGNAL PARAMETERS OF GENERAL CLASS  
ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS TRANSMISSION SYSTEMS**

*Oreshkov V.I., Barba I.B., Iegupova O.P.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kuznechnaya St., Odessa, 65029, Ukraine.  
[Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [irina\\_barba@mail.ru](mailto:irina_barba@mail.ru), [dodonka\\_1981@mail.ru](mailto:dodonka_1981@mail.ru)*

**Анотація.** У статті здійснено моделювання роботи системи передачі за технологією ADSL2+ по телефонних кабелях типу ТПП-0,5, що використовують ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу з різними величинами захисних інтервалів. Досліджено залежність інтерференційних завад від параметрів лінії при зміні величини тривалості захисного інтервалу за удосконаленим алгоритмом розрахунку співвідношення ефективних значень інтерференційної завади та сигналу. Оцінено досяжну системою передачі ОГС УК швидкість передавання по телефонних кабелях типу ТПП з урахуванням величини захисного інтервалу та потужності адитивних завад.

**Ключові слова:** ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу, система передачі, швидкість передавання, інтерференційні завади, захисний інтервал.

**Аннотация.** В статье осуществлено моделирование работы системы передачи по технологии ADSL2 + по телефонным кабелям типа ТПП-0,5, использующих ортогональные гармонические сигналы обобщенного класса с различными величинами защитных интервалов. Исследована зависимость интерференционных помех от параметров линии при изменении величины продолжительности защитного интервала с использованием усовершенствованного алгоритма расчета соотношения эффективных значений интерференционной помехи и сигнала. Оценена достижимая системами передачи ОГС ОК скорость передачи по телефонным кабелям типа ТПП с учетом величины защитного интервала и мощности аддитивных помех.

**Ключевые слова:** ортогональные гармонические сигналы обобщенного класса, система передачи, скорость передачи, интерференционные помехи, защитный интервал.

**Abstract.** In the article the modeling of ADSL2+ technology transmission system over ТПП-0,5 type telephone cable using generic class orthogonal harmonic signals with different values of guard intervals is provided. The dependence of the interference noises from the line parameters to the extent that the value of

the guard interval with an improved algorithm for calculating the ratio of the effective values of the interference noise and signal is investigated. Achievable transmission rate of generic class orthogonal harmonic signals transmission systems over ТПП type telephone cable considering the value of the guard interval and the power of additive noises is estimated.

**Key words:** generalized class orthogonal harmonic signals, transmission system, transmission rate, interference, guard interval.

Сучасні технології передачі передбачають адаптацію параметрів систем передачі (СП) в залежності від умов передачі по лініях зв'язку. СП з ортогональними гармонічними сигналами (ОГС) мають специфічні можливості адаптації, пов'язані з багаточастотною структурою групового сигналу [1]. Одна з таких можливостей полягає у варіації тривалості посилки і захисного інтервалу. Збільшення захисного інтервалу забезпечує зниження потужності інтерференційних завад, викликаних лінійними спотвореннями сигналів. Тому при роботі по лініях зв'язку зі значними лінійними спотвореннями доцільно піти на зниження швидкості передавання за рахунок збільшення тривалості посилки, збільшивши при цьому тривалість захисного інтервалу. У науковому плані цей варіант адаптації СП ОГС не досліджений, тому являє інтерес вивчити його.

**Метою даної статті** є дослідження інтерференційних завад та оцінка досяжної швидкості передавання СП ОГС в залежності від величини захисного інтервалу.

Методика дослідження полягає в моделюванні СП ОГС з різними величинами захисних інтервалів й оцінці швидкості передавання при роботі по різних лініях зв'язку. Результати моделювання стануть основою для розробки практичної стратегії адаптації СП ОГС при роботі по реальних лініях зв'язку.

Для моделювання обрана сучасна СП за технологією з параметрами сигналу:  $N = 1024$ ,  $L = 64$ ,  $m = 33$ ,  $n = 479$  [2]. СП ADSL2+ використовує ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу (ОГС УК) – СП-2 [3]. Тривалість захисного інтервалу  $L$  вибиралася рівною 32, 64 і 128 відліків. Лінія зв'язку – телефонні кабелі типу ТПП з діаметром жил 0,5 мм з довжинами  $l_{л} = 2, 3$  і 4 км. Для наведених варіантів моделі СП ОГС були розраховані інтерференційні завади, а потім і швидкості передавання з урахуванням адитивних й інтерференційних завад.

На рис. 1 надано структурну схему  $l$ -го каналу СП (СП-2).

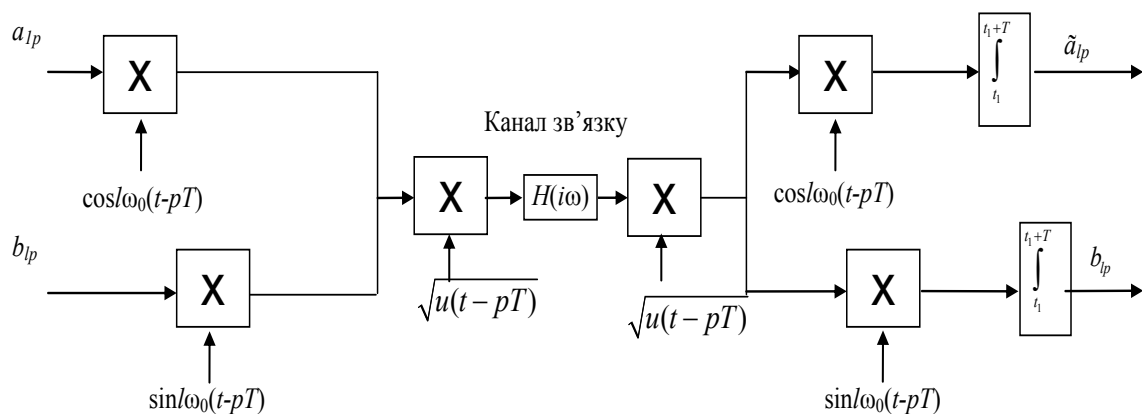


Рисунок 1 – Структурна схема  $l$ -го каналу СП ОГС з сигналами-переносниками узагальненого класу (СП-2)

Для оцінки швидкості передавання СП ОГС скористаємося методом, розглянутим у [3].

Для урахування інтерференційних завад, величина яких залежить від тривалості захисного інтервалу, попередньо необхідно визначити значення відліку початку інтегрування, за якого забезпечується мінімальне значення інтерференційних завад, та величину цих завад. На рис. 2 надано блок-схему реалізації удосконаленого алгоритму розрахунку інтерференційних завад за методом, розглянутим у [4]. Удосконалення алгоритму розрахунку полягає у тому, що матриця  $\mu_{k,q}$  розраховується повністю один раз, для першого значення  $lt$ , а для усіх наступних  $lt$  розраховуються лише нові елементи матриці (один стовпчик та один рядок) та виконується її зсув. Швидкість розрахунку при цьому зростає у рази. Даний алгоритм реалізовано мовою програмування C++.

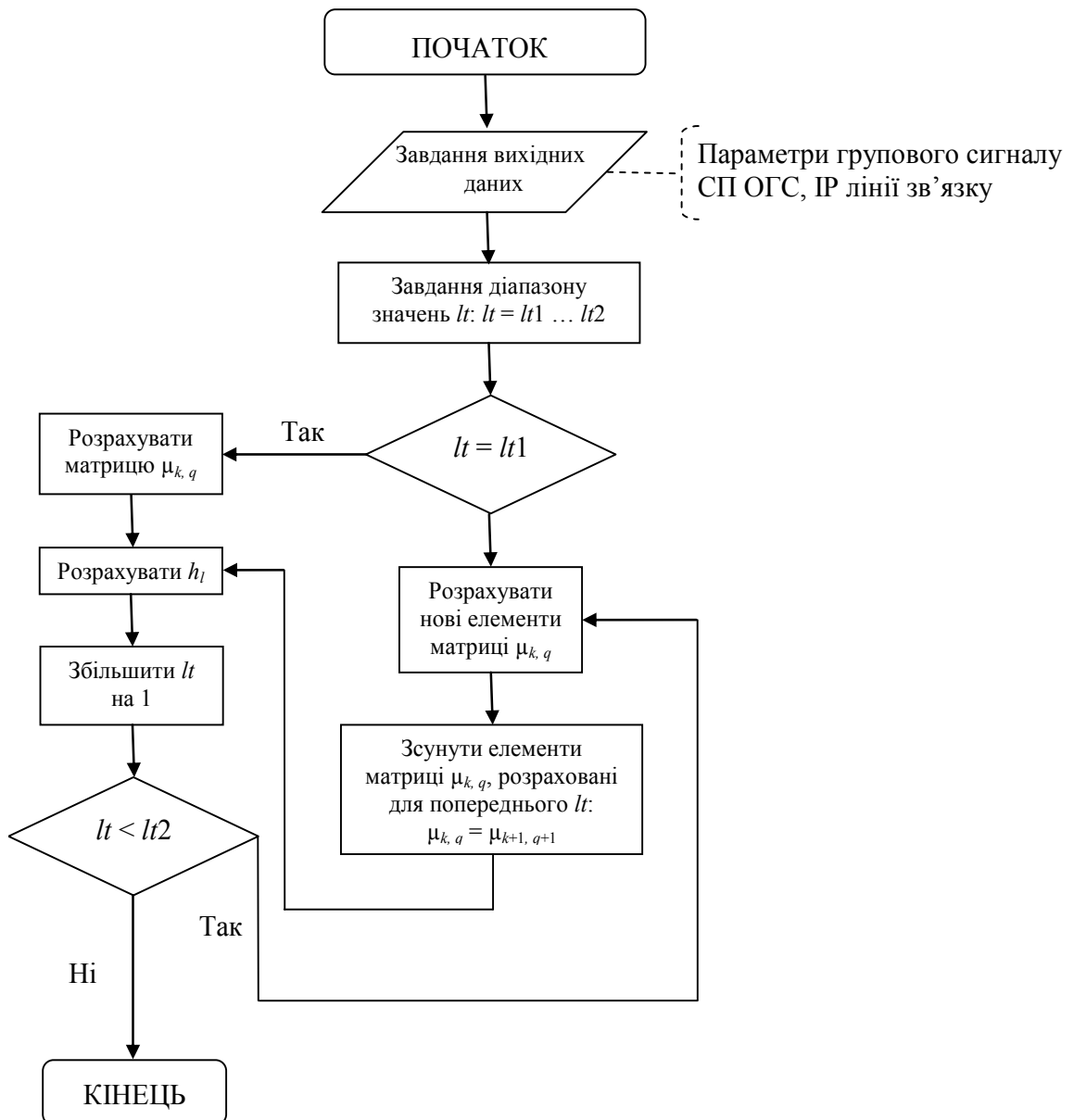


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму розрахунку інтерференційних завад у СП ОГС

На рис. 3, 4 та 5 показані тривимірні графіки розподілення відсоткового співвідношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу по каналах СП-2 в залежності від номера початку інтегрування сигналу у приймачі  $h_l(k_T)$ , відповідно для  $L = 32$ , 64 та 128 при моделюванні роботи СП-2 по кабелю ТПП-10 x 2 x 0,5, довжина лінії  $l_n = 3$  км.

На графіках:  $k_T$  – номер відліку початку інтегрування сигналу у приймачі;  $l$  – номер каналу.

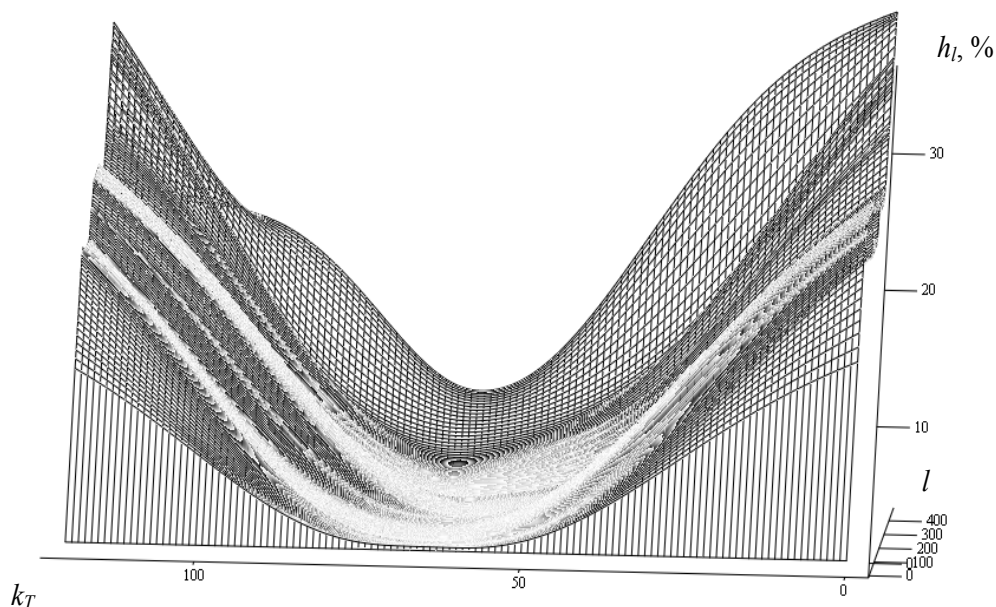


Рисунок 3 – Розподілення  $h_l$  по каналах СП-2 в залежності від  $k_T$  (ТПП-10x2x0,5, ADSL2+,  $L = 32$ ,  $l_n = 3$  км)

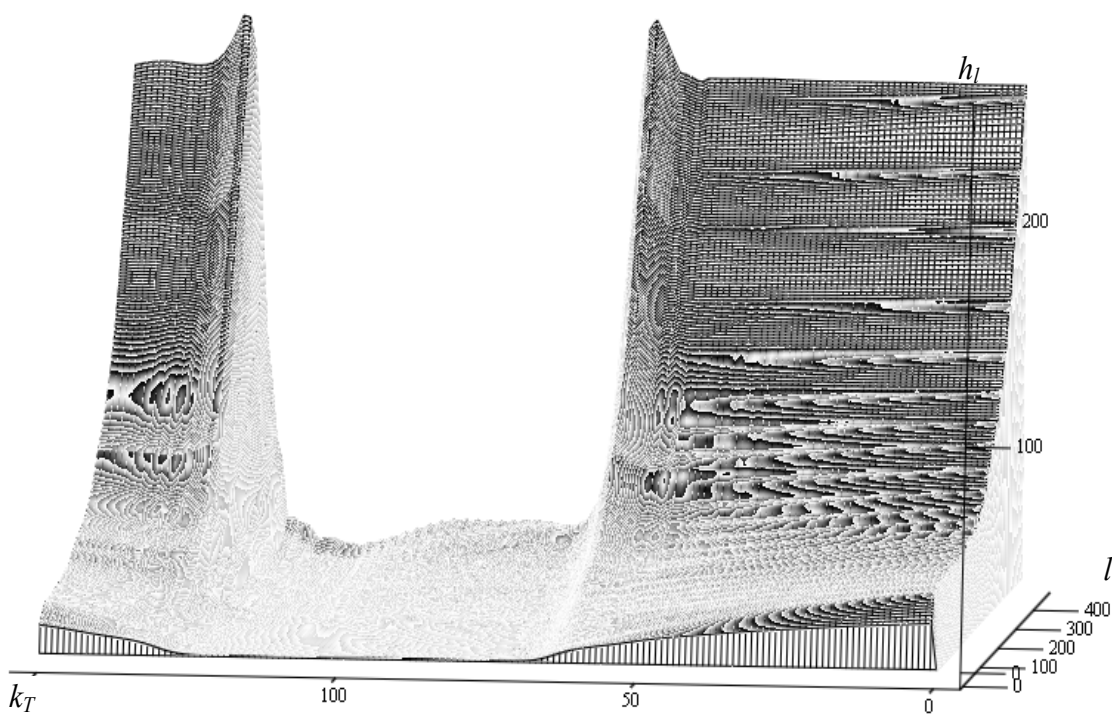


Рисунок 4 – Розподілення  $h_l$  по каналах СП-2 в залежності від  $k_T$  (ТПП-10x2x0,5, ADSL2+,  $L = 64$ ,  $l_n = 3$  км)

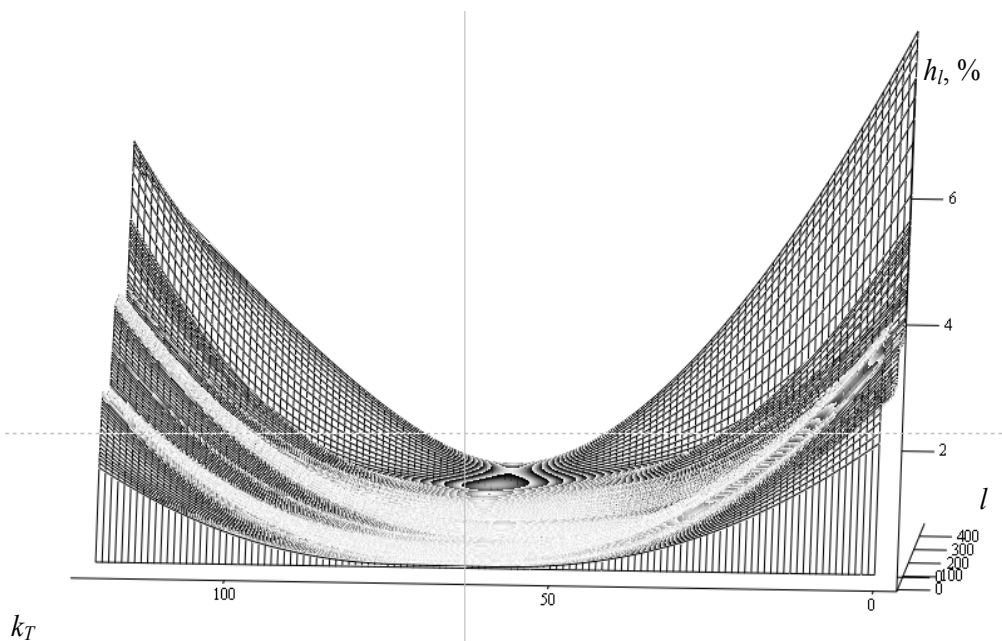


Рисунок 5 – Розподілення  $h_l$  по каналах СП-2 в залежності від  $k_T$   
(ТПП-10×2×0,5, ADSL2+,  $L = 128$ ,  $l_n = 3$  км)

Для досліджуваних моделей за результатами дослідження  $h_l(k_T)$  визначено розподіл інтерференційних завад по каналах СП  $h_l$  при оптимальному значенні  $k_T$  при довжині лінії 2, 3 і 4 км, відповідні графіки показані на рис. 6, 7 і 8.

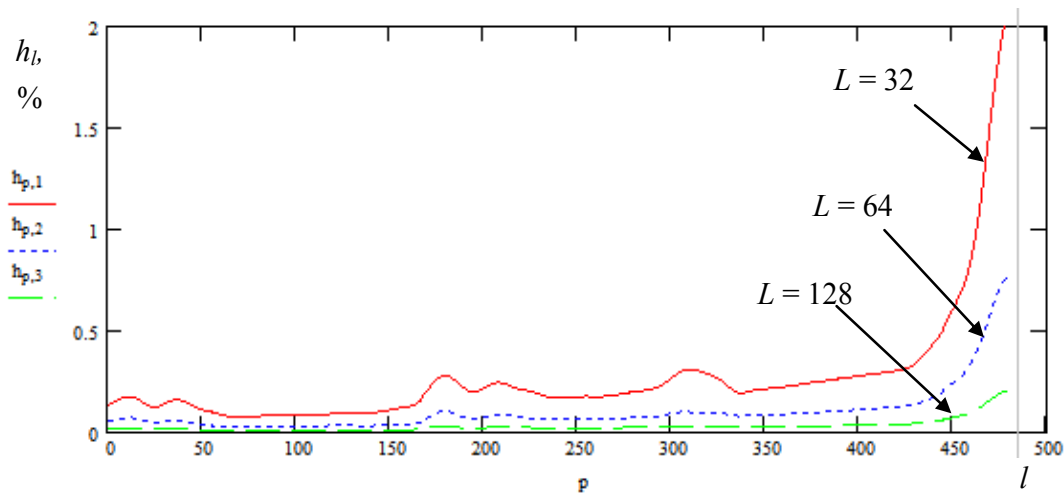


Рисунок 6 – Залежність  $h_l$  від  $l$  при оптимальному  $k_T$   
(ТПП-10 × 2 × 0,5, ADSL2+,  $l_n = 2$  км)

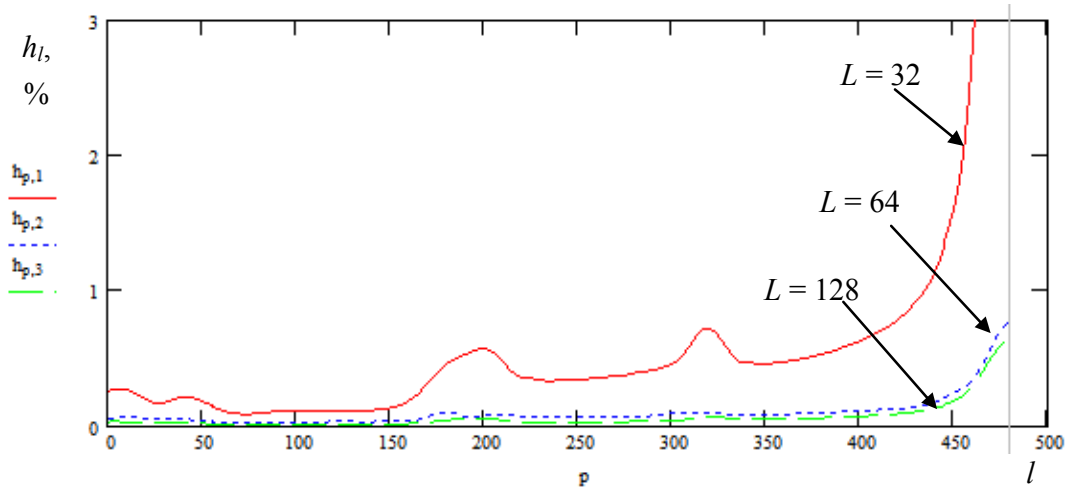


Рисунок 7 – Залежність  $h_l$  від  $l$  при оптимальному  $k_T$   
(ТПП-10 × 2 × 0,5, ADSL2+,  $l_{л} = 3$  км)

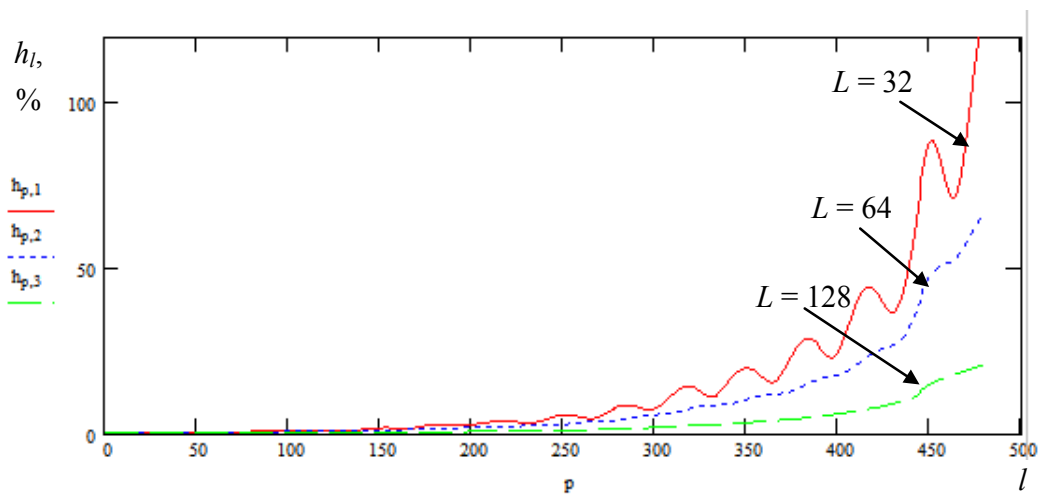


Рисунок 8 – Залежність  $h_l$  від  $l$  при оптимальному  $k_T$   
(ТПП-10 × 2 × 0,5, ADSL2+,  $l_{л} = 4$  км)

Для досліджуваних варіантів моделей СП ОГС з урахуванням характеристик ліній зв'язку, адитивних (з рівномірною спектральною густиною потужності, АЗРСГП) і інтерференційних завад були оцінені швидкості передавання.

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

Таблиця 1 – Швидкість передавання СП ОГС при  $L = 32$ , Мбіт/с

АЗРСГП, дБм/Гц		-140		-130		-120		-100	
Інтерференція		без	з	без	з	без	з	без	з
$l_{л},$ км	2	23,964	23,387	19,624	19,414	14,098	13,892	4,776	4,772
	3	14,625	14,226	10,443	10,175	6,573	6,54	11,459	1,459
	4	8,341	7,533	5,25	5,094	2,872	2,856	0,375	0,375

Таблиця 2 – Швидкість передавання СП ОГС при  $L = 64$ , Мбіт/с

АЗРСГП, дБм/Гц		-140		-130		-120		-100	
Інтерференція		без	з	без	з	без	з	без	з
$l_{л, км}$	2	23,26	23,232	19,048	19,024	13,684	13,668	4,636	4,636
	3	14,196	14,184	10,136	10,116	6,38	6,376	1,416	1,416
	4	8,096	7,592	5,096	5	2,788	2,776	0,364	0,364

Таблиця 3 – Швидкість передавання СП ОГС при  $L = 128$ , Мбіт/с

АЗРСГП, дБм/Гц		-140		-130		-120		-100	
Інтерференція		без	з	без	з	без	з	без	з
$l_{л, км}$	2	21,969	21,965	17,991	17,987	12,925	12,925	4,379	4,379
	3	13,408	13,408	9,573	9,573	6,026	6,026	1,337	1,337
	4	7,647	7,609	4,813	4,809	2,633	2,633	0,344	0,344

Дослідження впливу інтерференційних завад на швидкість передавання з урахуванням рівня СГП адитивних завад у залежності від довжини лінії проводилося у попередніх роботах [4, 5], тому при аналізі даних результатів основну увагу приділимо порівнянню досяжних швидкостей при зміні тривалості захисного інтервалу. Аналізуючи результати розрахунку швидкості передавання, можна дійти висновку, що при збільшенні тривалості захисного інтервалу зменшується потужність інтерференційних завад (див. рис. 6...8) та їх вплив на швидкість передавання (порівняти результати розрахунку швидкості у сусідніх стовпчиках «без» та «з» урахуванням інтерференції, див. табл. 1...3: так, при  $L = 128$  різниця складає не більш ніж 36 кбіт/с, а при  $L = 32$  – досягає 800 кбіт/с), але необхідно враховувати, що при цьому знижується частота передавання інформаційних кадрів (інформаційна частота), що призводить до зменшення результуючої швидкості передавання (порівняти результати розрахунку швидкості між таблицями, див. однойменні стовпчики «без» урахування інтерференції: наприклад, при довжині 2 км та рівні АЗРСГП мінус 140 дБм/Гц при  $L = 128$  досяжна швидкість складає 21,969 Мбіт/с, а при  $L = 32$  – 23,964, тобто на 2 Мбіт/с більше). Тому збільшення тривалості захисного інтервалу буде доцільним лише у випадку великих лінійних спотворень сигналу, коли воно дає підвищення швидкості передавання за рахунок зменшення потужності інтерференційних завад більше за зменшення швидкості передавання від зниження інформаційної частоти, так при довжині лінії 4 км (рівень АЗРСГП мінус 140 дБм/Гц) швидкість передавання при  $L = 128$  складає 7,609 Мбіт/с, що на 17 кбіт/с більше за швидкість при  $L = 64$  та на 76 кбіт/с більше за швидкість при  $L = 32$ .

З аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

- при малій довжині лінії (за умов визначених вихідними даними – до 2 км) лінійні спотворення незначні, тому доцільним є зменшення тривалості захисного інтервалу до 32 відліків;

- при збільшенні довжини лінії лінійні спотворення зростають і виражаються у швидкості передавання при меншій  $L$  нівелюється більш суттєвим збільшенням потужності інтерференційних завад, тому швидкості передавання вже при довжині лінії 3 км для  $L = 64$  та  $L = 32$  практично зрівнюються;

- при значній довжині лінії (4 км) лінійні спотворення настільки великі, що втрата швидкості передавання за рахунок зменшення інформаційної частоти поступається вирашу

за рахунок захищеності від інтерференційних завад, а тому доцільним є збільшення тривалості захисного інтервалу до 128 відліків.

Результати моделювання роботи СП ОГС по кабелях типу ТПП-0,5 з різними величинами захисних інтервалів та їх аналіз дозволяє стверджувати, що такий варіант адаптації СП ОГС дозволяє підвищити їх ефективність при побудові мереж широкосмугового доступу.

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. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

REFERENCES:

1. Balashov V. A. Sistemy peredachi ortogonal'nymi garmonicheskimi signalami / Balashov V. A, Vorobienko P.P, Ljahoveckij L.M. – М.:JEko-Trendz, 2012. – 228 s.: il.
2. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
3. 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. – № 2 (2014). – Part 2: 186-193.
4. Lyakhovetskiy L.M., Barba I.B., Zablotskiy S.A. "Research of interference noise in ADSL2+ technology transmission systems." Zv'yazok. – № 4 (2012): 6-9.
5. Balashov V.A. Interferencionnye pomehi v sistemah peredachi garmonicheskimi signalami obobshhennogo klassa /V.A. Balashov, L.M. Ljahoveckij, I.B. Barba // Sbornik nauchnyh trudov SWorld. – 2014. – Vypusk 1. – Tom 9. – S. 79 – 86.