

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ
ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ
ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА И ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛА**

Орешков В.И., Барба И.Б., Егунова 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, dodonka_1981@mail.ru*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ У СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ОРТОГОНАЛЬНИМИ
ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ ПРИ ВАРІАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ
ТА ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛУ**

Орешков В.І., Барба І.Б., Єгунова 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, dodonka_1981@mail.ru*

**RESEARCH OF INTERFERENCE IN THE ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS
TRANSMISSION SYSTEMS WHEN SIGNAL PARAMETERS
AND CHANNEL CHARACTERISTICS VARIATION**

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

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine. [Oreshkov VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), irina_barba@mail.ru, dodonka_1981@mail.ru*

Аннотация. В статье даны результаты исследования интерференционных помех в системах передачи ортогональными гармоническими сигналами с традиционной формой огибающей группового линейного сигнала и обобщенного класса с оптимальной формой огибающей на примере системы ADSL2+, работающей по телефонному кабелю типа ТПП-0,5. Определено распределение отношения эффективных значений интерференционной помехи и сигнала по информационным каналам нисходящего потока системы ADSL2+ в зависимости от значения номера отсчета начала интегрирования при вариации длительности защитного интервала и длины линии. Определены оптимальные значения отсчета начала интегрирования в зависимости от параметров сигнала и характеристик канала и соответствующие величины среднеарифметического по всем информационным каналам отношения эффективных значений интерференционной помехи и сигнала.

Ключевые слова: ортогональные гармонические сигналы, система передачи, импульсная реакция, интерференционные помехи, защитный интервал, длина линии.

Анотація. У статті надані результати дослідження інтерференційних завод у системах передачі ортогональними гармонічними сигналами з традиційною формою обвідної групового лінійного сигналу й узагальненого класу з оптимальною формою обвідної на прикладі системи ADSL2+, що працює по телефонному кабелю типу ТПП-0,5. Визначено розподіл відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу по інформаційних каналах низхідного потоку системи ADSL2+ в залежності від значення номера відліку початку інтегрування при варіації тривалості захисного інтервалу і довжини лінії. Визначено оптимальні значення відліку початку інтегрування в залежності від параметрів сигналу і характеристик каналу і відповідні величини середньоарифметичного за всіма інформаційними каналами відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу.

Ключові слова: ортогональні гармонічні сигнали, система передачі, імпульсна реакція, інтерференційні завади, захисний інтервал, довжина лінії.

Abstract. The article presents the results of research of the interference noise in the orthogonal harmonic signals transmission systems with the traditional envelope shape of the group linear signal and the

generic class with the optimum envelope shape, on the example of the ADSL2+ system, which operates on the ТПП-0.5 type telephone cable. Effective value of the interference noise to signal ratio distribution on the downstream information channels of the ADSL2+ system, depending from the integration beginning sample number value at the guard time interval duration and line length variation is determined. The optimal integration beginning sample value depending on the signal parameters and the channel characteristics and corresponding values of the arithmetic average effective value of the interference noise to signal ratio for all information channels are determined.

Key words: orthogonal harmonic signals, the transmission system, the impulse response, noise interference, the guard time interval, line length.

Системы передачи (СП), использующие ортогональные гармонические сигналы (ОГС), имеют широкий спектр применения на сетях связи: телевизионное и радиовещание, широкополосный проводной и радиодоступ, проводятся исследования для применения ОГС в системах оптической связи. Такая популярность СП ОГС связана с использованием метода передачи DMT (Discrete MultiTone), для радиосистем традиционным является термин OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), который обеспечивает высокую эффективность передачи информации по каналам связи с ненормированными и нестабильными частотными характеристиками, с мультипликативными и аддитивными помехами [1].

Многочастотная структура группового сигнала СП ОГС определяет специфические возможности адаптации этих СП к изменяющимся характеристикам канала передачи. Одна из таких возможностей заключается в вариации длительности защитного интервала в зависимости от величины линейных искажений в канале передачи, другая – в применении оптимальной формы огибающей посылки сигнала на тактовом интервале.

Целью статьи является исследование интерференционных помех в системе передачи, использующей традиционные ОГС и ОГС обобщенного класса (ОК) при вариации длительности защитного интервала группового сигнала и длины абонентской линии на примере СП ADSL2+, работающей по кабелю ТПП-0,5.

Исследование проводилось путем аналитического моделирования работы СП ADSL2+ по телефонному кабелю типа ТПП-0,5 при следующих параметрах [2]:

- количество информационных каналов (n) – 479;
- номер первого информационного канала (m) – 33;
- количество отсчетов интервала ортогональности (N) – 512;
- количество отсчетов защитного интервала (L) варьируется в пределах 32...128;
- линия передачи – телефонный кабель типа ТПП с диаметром жил 0,5 мм;
- длина линии (l_n) варьируется в пределах – 1...5 км;
- вид огибающей посылки линейного сигнала – традиционный (П-образной формы) и ОК с оптимальной функцией (с косинусквадратичными фронтами) [3].

На рис. 1 и 2 даны структурные схемы l -го канала традиционной СП ОГС (СП-1) и СП ОГС ОК (СП-2). В СП ОГС ОК, по сравнению с традиционной СП ОГС, при формировании группового сигнала используется дополнительный опорный сигнал $u(t-pT)$, который и позволяет сформировать линейный сигнал длительностью T с косинусквадратичными фронтами.

Для рассмотренных вариантов моделей СП ОГС были рассчитаны интерференционные помехи по методике, описанной в работах [3] и [4].

В соответствии с используемой методикой расчета интерференции были рассчитаны импульсные реакции (ИР) $g(k)$. Импульсные реакции, соответствующие длинам линий передачи заданных исходными данными, показаны на рис. 3. В расчетах интерференции за длительность ИР принималось количество отсчетов (R), на которых сосредоточено не менее 99,99 % ее мощности.

Интерференционные помехи оценивались в каждом канале СП ОГС как процентное соотношение эффективных значений помехи и сигнала h_l .

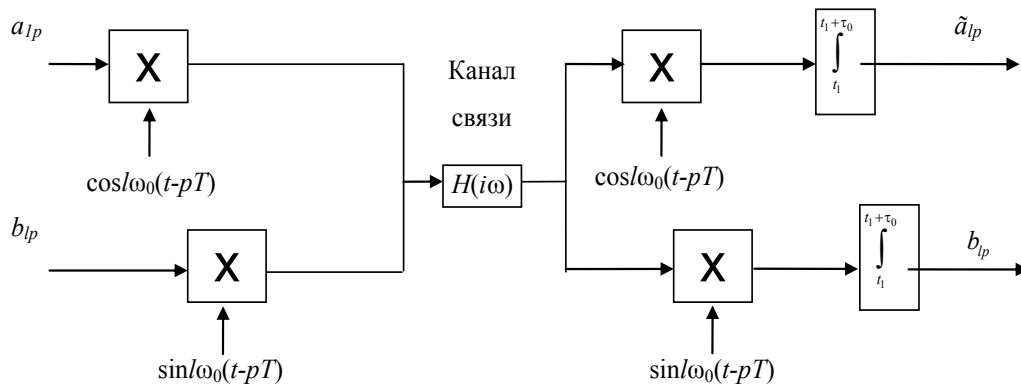


Рисунок 1 – Структурная схема l -го канала традиционной СП ОГС (СП-1)

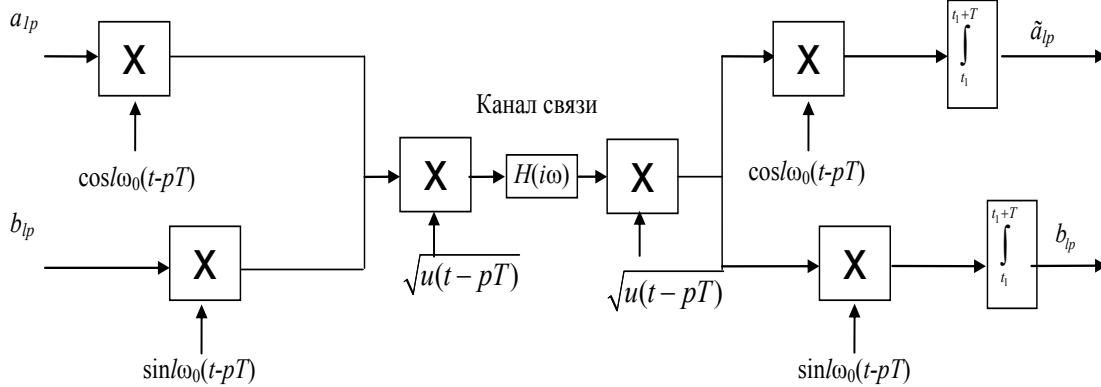


Рисунок 2 – Структурная схема l -го канала СП ОГС с сигналами-переносчиками обобщенного класса (СП-2)

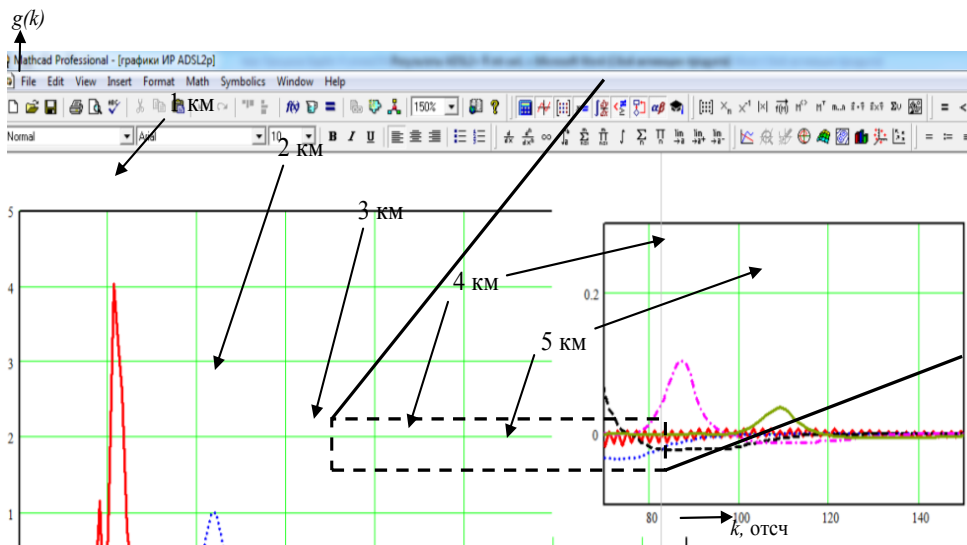


Рисунок 3 – Импульсные реакции линии передачи СП ADSL2+ при работе по кабелю ТПП-0,5

На рис. 4 и 5 показаны трехмерные графики зависимости распределения по каналам соотношения эффективных значений помехи и сигнала от момента начала интегрирования $h_{l,k}$ при вариации длительности защитного интервала L для длины линии $l_{л} = 3$ км для СП-1 и СП2 соответственно.

На графиках: $h_{l,k}$ – процентное соотношение эффективных значений помехи и сигнала, k_T – номер отсчета начала интегрирования (обработки сигнала в приемнике); l – номер канала (несущей).

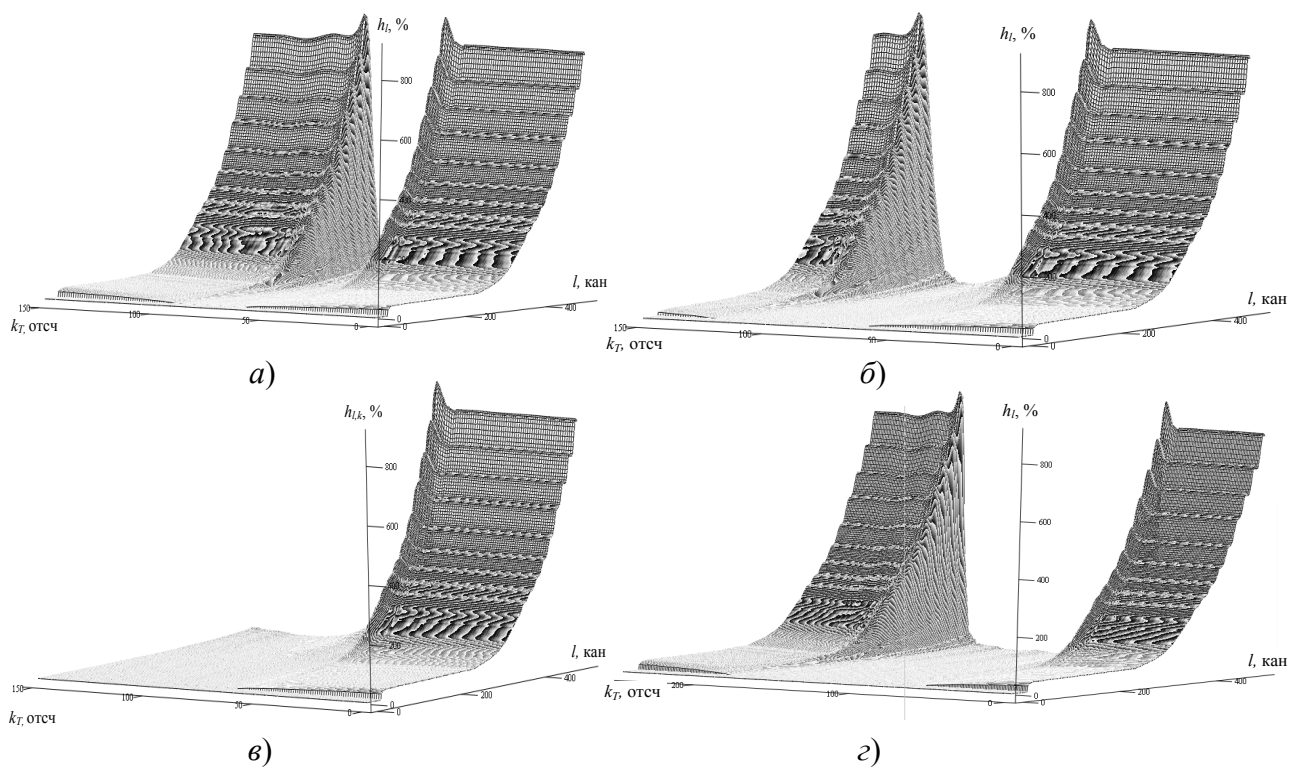


Рисунок 4 – Распределение h по каналам СП-1 в зависимости от k_T ($l_{\text{л}} = 3$ км, ТПП-0,5 мм, $L = 32$ (а), 64 (б), 96 (в) и 128 (г))

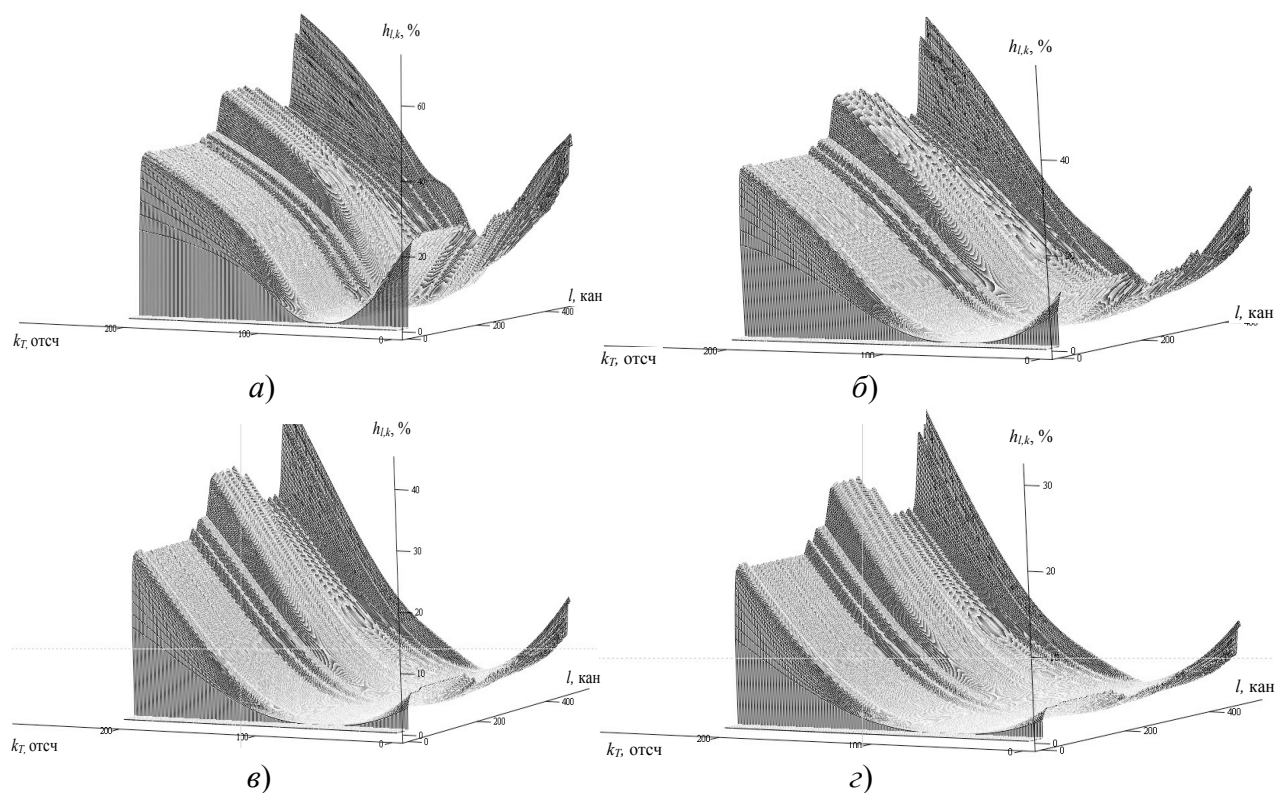


Рисунок 5 – Распределение h по каналам СП-2 в зависимости от k_T ($l_{\text{л}} = 3$ км, ТПП-0,5 мм, $L = 32$ (а), 64 (б), 96 (в) и 128 (г))

Аналізуючи результати, можна зробити висновок, що h_l суттєво залежить від номера отсчета начала інтегрування k_T , тому важливим являється правильно вибрати момент начала обробки сигналу в приймачі (функція системи тактової синхронізації). Оптимальним буде момент $k_{T\text{опт}}$, при якому середнєарифметичне по всім інформаційним каналам відношення ефективних значень інтерференційної поєми і сигналу h_k буде мінімальним.

Для порівняння розподілення інтерференційних поєм по каналах СП ОГС при оптимальному значенні $k_{T\text{опт}}$ на рис. 6 і 7 представлені результати розрахунків процентного співвідношення ефективних значень поєми і сигналу h_l при граничних значеннях вихідних даних: максимальної і мінімальної тривалості захисного інтервалу і довжини лінії.

На рис. 6 представлені графіки залежності h_l від номера каналу l при тривалості захисного інтервалу $L = 32, 128$ отсчетов і варіації довжини лінії для традиційної СП ОГС (а і б) і СП ОГС ОК (в і г) відповідно.

На рис. 7 представлені графіки залежності h_l від номера каналу l для довжини лінії $l_{\text{л}} = 1$ і 5 км і варіації тривалості захисного інтервалу для традиційної СП ОГС (а і в) і СП ОГС – ОК (б і г) відповідно.

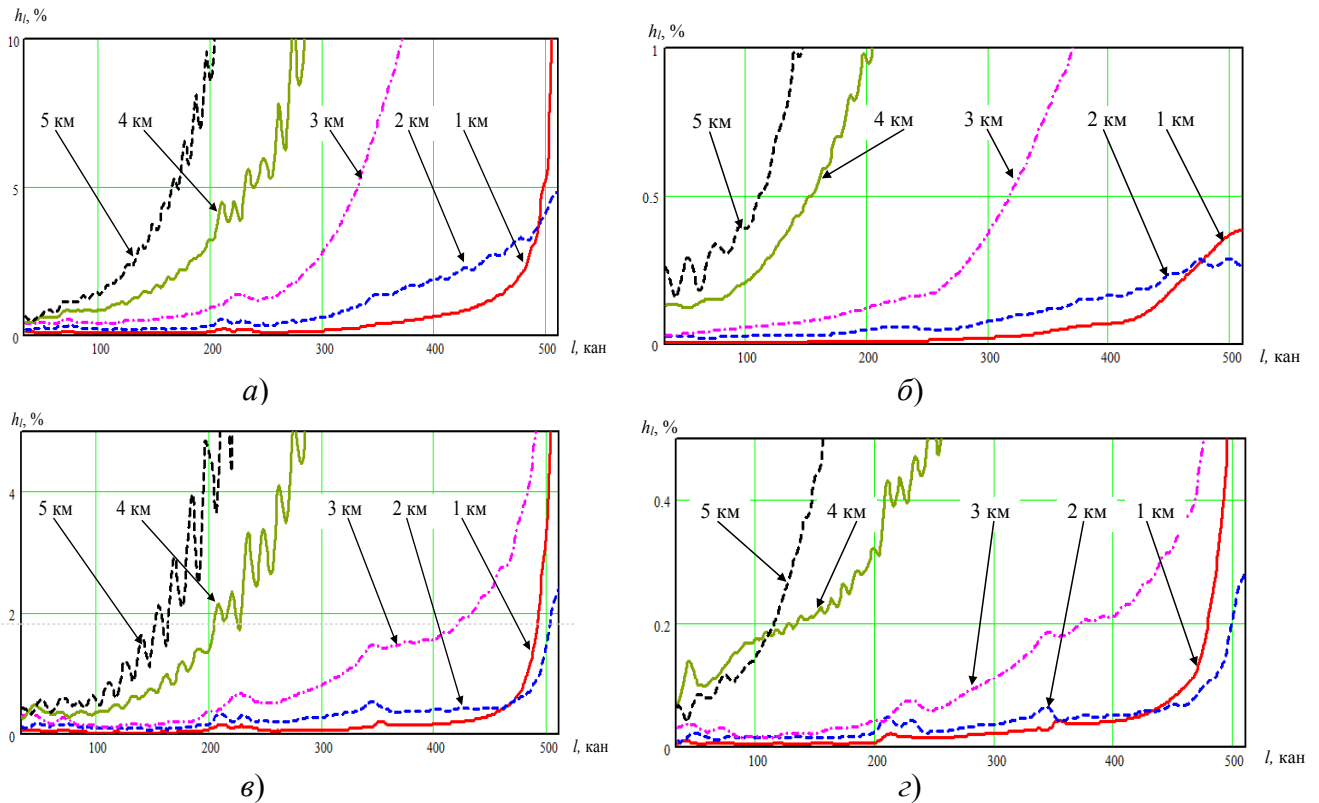


Рисунок 6 – Залежність h від l при оптимальному $k_{T\text{опт}}$ для СП ADSL2+ при варіації довжини лінії: а) $L = 32$, СП-1; б) $L = 128$, СП-1; в) $L = 32$, СП-2; г) $L = 128$, СП-2

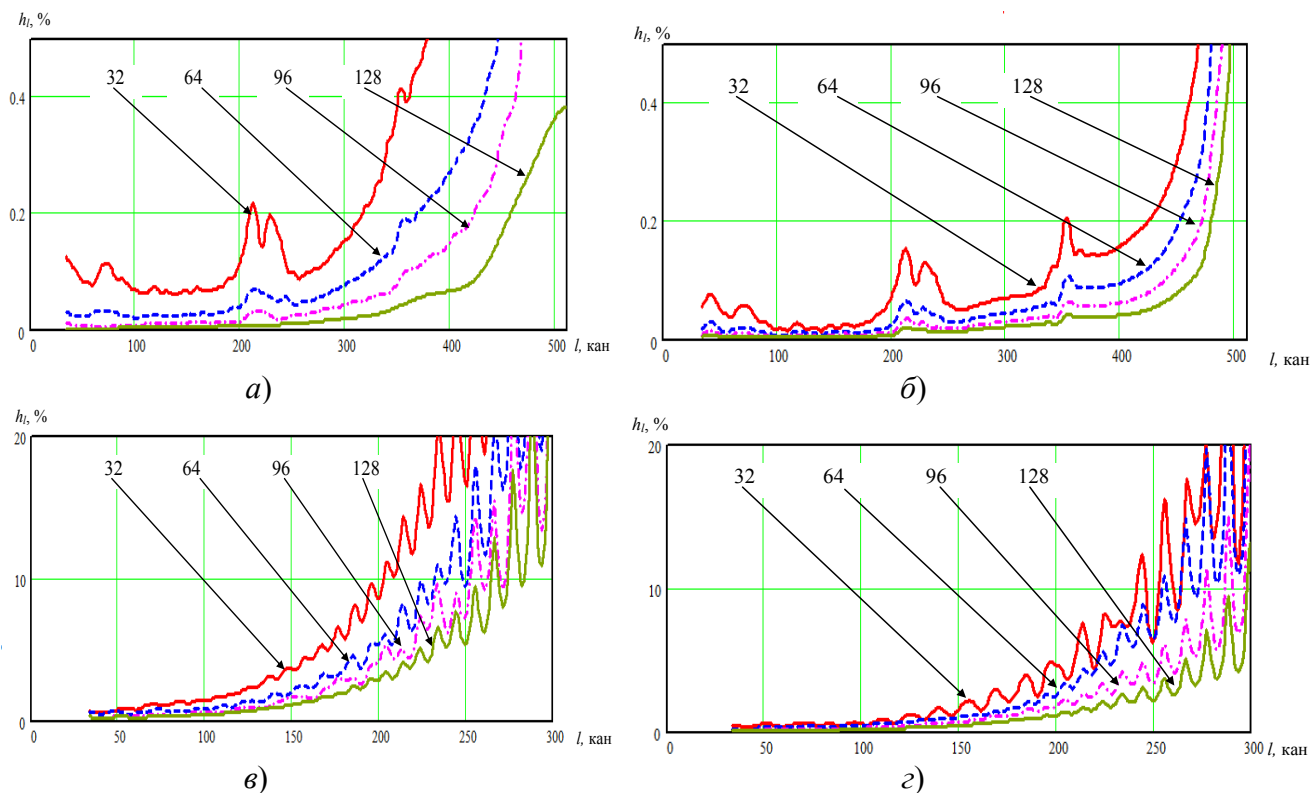


Рисунок 7 – Зависимость h от l при оптимальном $k_{T\text{ опт}}$ для СП ADSL2+ при вариации длительности защитного интервала: а) $l_{\text{Л}} = 1$ км, СП-1; б) $l_{\text{Л}} = 1$ км, СП-2; в) $l_{\text{Л}} = 5$ км, СП-1; г) $l_{\text{Л}} = 5$ км, СП-2

Из сравнения полученных результатов видно, что увеличение длительности защитного интервала L позволяет существенно повысить помехозащищенность (так, изменение L от 32 до 128 отсчетов приводит к уменьшению амплитуды интерференционных помех в 2...20 раз, в зависимости от номера канала l). Применение СП ОГС ОК, по сравнению с традиционной СП ОГС, при прочих равных условиях также позволяет повысить помехозащищенность (амплитуда интерференционных помех уменьшается в 1,5...4 раза, в зависимости от номера канала l).

Для получения интегральных оценок помехозащищенности определено среднеарифметическое по всем информационным каналам отношение эффективных значений интерференционной помехи и сигнала \bar{h}_k при оптимальном значении отсчета начала интегрирования $k_{T\text{ опт}}$.

В табл. 1 даны оптимальные значения $k_{T\text{ опт}}$ для различных значений длительности защитного интервала L и длины линии $l_{\text{Л}}$. А соответствующие значения среднеарифметического \bar{h}_k при оптимальном значении $k_{T\text{ опт}}$ сведены в табл. 2.

Таблица 1 – Оптимальные значения отсчета начала интегрирования $k_{T\text{ опт}}$, отсчет

Длительность защитного интервала	32		64		96		128	
Длина линии, км	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2
1	36	20	65	22	96	23	128	24
2	54	41	89	41	96	42	123	42
3	76	63	111	64	123	65	129	65
4	97	85	136	73	144	70	145	70
5	119	108	158	115	167	112	199	109

Таблица 2 – Среднеарифметическое отношение эффективных значений интерференционной помехи и сигнала \bar{h}_k при оптимальном значении отсчета начала интегрирования $k_{T\text{ опт}}$, %

Длительность защитного интервала	32		64		96		128	
Длина линии, км	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2
1	0,736	0,391	0,379	0,216	0,205	0,127	0,061	0,079
2	1,111	0,432	0,566	0,241	0,268	0,176	0,098	0,085
3	7,844	1,239	3,773	0,539	1,613	0,273	0,792	0,159
4	39,184	9,298	19,448	5,367	11,286	2,884	8,273	1,745
5	87,751	21,037	41,334	14,084	26,218	8,963	19,479	5,619

Анализируя результаты, приведенные в табл. 1 и 2, можно сделать следующие выводы:

– для традиционной СП ОГС оптимальное значение отсчета начала интегрирования $k_{T\text{ опт}}$ зависит от длины линии (длительности ИР) и длительности защитного интервала и определяется номером следующего отсчета за L -тым количеством отсчетов ИР, на которых сосредоточена максимальная энергия этой ИР (см. рис. 3 и табл. 1);

– для СП ОГС ОК оптимальное значение отсчета начала интегрирования $k_{T\text{ опт}}$ также зависит от длины линии (длительности ИР), но, в отличие от традиционной СП ОГС, практически не зависит от длительности защитного интервала и примерно совпадает с номером отсчета ИР с наибольшей амплитудой;

– при малой длине линии линейные искажения незначительные, соответственно даже минимальный защитный интервал ($L = 32$) позволяет эффективно противодействовать интерференции (при длине 1 км как для СП-1, так и для СП-2 \bar{h}_k меньше 1 %);

– при увеличении длины линии СП-1 и СП-2 по-разному реагируют на возрастание линейных искажений, так при длине 2 км, чтобы сохранить \bar{h}_k меньше 1 %, в СП-1 необходимо увеличить длительность защитного интервала в 2 раза ($L = 64$), а в СП-2 такой необходимости нет, при дальнейшем увеличении длины линии соблюдается та же тенденция;

– обеспечение СП ОГС ОК одинаковой с традиционной СП ОГС помехозащищенности при меньшей длительности защитного интервала, а значит и меньшей длительности посылки линейного сигнала, приводит к увеличению информационной частоты (например, при $L = 64 - f_{\text{инф}} = 4$ кГц, а при $L = 32 - f_{\text{инф}} = 4,121$ кГц) и, в конечном итоге, к большей потенциально достижимой скорости передачи.

В заключение можно отметить, что путем оптимизации длительности защитного интервала в зависимости от характеристик канала передачи можно обеспечить эффективное подавление интерференционных помех, причем СП ОГС ОК позволяет уменьшить длительность защитного интервала при заданном уровне интерференционных помех, соответственно повысить эффективность передачи информации.

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. 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.І. Оптимізація параметрів групового сигналу систем передачі ортогональними гармонічними сигналами узагальненого класу / В.І. Орешков, І.Б. Барба, О.П. Єгупова // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2016. – № 1. – С. 122 – 129.

REFERENCES:

1. Balashov V. A. Vorobienko P.P, Ljahoveckij L.M. "Orthogonal harmonic signals transmission systems" M.: Eko-Trendz, 2012. – 228 p.
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. Balashov V.A., Ljahoveckij L.M., Barba I.B. "Interference noise on the generic class harmonic signals transmission system" Scientific papers SWorld №1 (2014). Tome 1: 79-86.
4. Oreshkov V.I., Barba I.B., Iegupova O.P. "Optimization of group signal parameters of general class orthogonal harmonic signals transmission systems" Proc. of the O.S. Popov ONAT "Information Science and Communication" №1 (2016). Part 1: 122-129.