

УДК 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАВАД У СИСТЕМАХ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ПО МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПРОВОДКИ ВІД ТРИВАЛОСТІ ЗАХИСНОГО ІНТЕРВАЛУ**

*Ляховецький Л.М., Яневич О.К.*

*ДП «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку»,  
65026, Україна, м. Одеса, вул. Буніна, 23.  
[lm@oniis.org.ua](mailto:lm@oniis.org.ua), [toledo@oniis.org.ua](mailto:toledo@oniis.org.ua)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА ПО СЕТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТНОГО ИНТЕРВАЛА**

*Ляховецкий Л.М., Яневич А.К.*

*ГП «Одесский научно-исследовательский институт связи»,  
65026, Украина, г. Одесса, ул. Бунина, 23.  
[lm@oniis.org.ua](mailto:lm@oniis.org.ua), [toledo@oniis.org.ua](mailto:toledo@oniis.org.ua)*

**RESEARCH OF DEPENDANCE OF HARMFUL INTERFERENCE IN SYSTEMS OF BROADBAND ACCESS OVER ELECTRICAL WIRING NETWORK ON GUARD INTERVAL DURATION**

*Lyakhovetskiy L.M., Yanevich A.K.*

*SE "Odessa scientific research institute of communication",  
23 Bunina str., Odessa, 65026, Ukraine.  
[lm@oniis.org.ua](mailto:lm@oniis.org.ua), [toledo@oniis.org.ua](mailto:toledo@oniis.org.ua)*

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню інтерференційних завад, що виникають у СП (системі передачі) ВРЛ при роботі по вітчизняних мережах електропроводки. На основі існуючої методики розраховано залежності інтерференційних завад на вході приймача СП ВРЛ від номера каналу і номера відліку групового сигналу, з якого починається його оброблення в приймачі, за різної тривалості захисного інтервалу. Розрахунки проводилися для випадку роботи СП ВРЛ по однорідній лінії фіксованої довжини (300 м), утвореній широко використовуваним у нашій країні для побудови мереж електропроводки двожилиним проводом типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил 2,5 мм<sup>2</sup>. На основі аналізу отриманих результатів розрахунків встановлено залежності інтерференційних завад у СП ВРЛ від моменту початку оброблення групового сигналу в приймачі та від тривалості захисного інтервалу.

**Ключові слова:** технологія ВРЛ, широкосмуговий доступ по лініях електропередавання, система передачі, передавання даних, мережа будинкової електропроводки.

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию интерференционных помех, возникающих в СП (системе передачи) ВРЛ при работе по отечественным сетям электропроводки. На основе существующей методики рассчитаны зависимости интерференционных помех на входе приемника СП ВРЛ от номера канала и номера отсчета группового сигнала, с которого начинается его обработка в приемнике, при разной длительности защитного интервала. Расчеты проводились для случая работы СП ВРЛ по однородной линии фиксированной длины (300 м), образованной широко используемым в нашей стране для построения сетей электропроводки двухжильным проводом типа ППВ с площадью поперечного сечения токопроводящих жил 2,5 мм<sup>2</sup>. На основе анализа полученных результатов расчетов установлены зависимости интерференционных помех в СП ВРЛ от момента начала обработки группового сигнала в приемнике и от длительности защитного интервала.

**Ключевые слова:** технология ВРЛ, широкополосный доступ по линиям электропередачи, система передачи, передача данных, сеть домовой электропроводки.

**Abstract.** This article is dedicated to research of harmful interference that appears in BPL TS (transmission system) when working on domestic electrical wiring networks. Dependences of harmful interference at the input of the BPL TS receiver on the channel number and the number of the sample of the group signal from which its processing in the receiver is beginning are calculated for different guard interval durations on the basis of existing method (300 m). The calculations are performed for the case of BPL TS working on homogeneous line with fixed length, created by widely used in our country for electric wiring networks construction two-core PPV type wire with cross-sectional area of conductors is  $2,5 \text{ mm}^2$ . The dependences of harmful interference in BPL TS on the beginning of the group signal processing in the receiver moment and on the duration of the guard interval are discovered.

**Key words:** BPL technology, broadband access over power lines, transmission system, data transmission, home electrical wiring network.

Однією з перспективних технологій широкосмугового доступу до мережі Інтернет на сьогодні є технологія BPL. Технологія ґрунтується на методі передавання із застосуванням ортогональних гармонічних сигналів (ОГС), якому притаманна висока ефективність роботи по каналах зв'язку, що характеризуються швидкозмінними в часі та ненормованими частотними характеристиками [1]. До таких каналів належать у тому числі і канали внутрішньобудинкової або внутрішньоквартирної електромережі, що використовуються технологією BPL як середовище поширення сигналів. Отже, завдяки використанню сучасного методу передавання з ОГС (який у зарубіжній літературі отримав назву OFDM) технологія BPL здатна забезпечувати високу швидкість передавання даних по середовищу, утвореному на основі проводів внутрішньобудинкової або внутрішньоквартирної електромережі [2].

Інтерференційні завади є одним і основних факторів, що обмежує швидкість передавання у системах передачі ОГС (СП ОГС), а отже і у системах передачі BPL (СП BPL). Вони обумовлені порушенням ортогональності несучих сигналів внаслідок лінійних спотворень у каналах зв'язку [1].

Інтерес являють характеристики (параметри) СП BPL при роботі по вітчизняних проводах внутрішньобудинкової або внутрішньоквартирної електромереж та взаємозв'язок між цими параметрами.

**Метою даної статті** є оцінка залежності співвідношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу СП BPL від тривалості захисного інтервалу при роботі по проводах типу ППВ, які широко використовується в Україні для побудови внутрішньобудинкових або внутрішньоквартирних мереж електропроводки.

Скориставшись методикою для розрахунку інтерференційних завад у СП ОГС, опублікованою в [1], проведено розрахунки співвідношення  $h$  ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП BPL при роботі по однорідній лінії, утвореній двожилиним проводом типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил  $2,5 \text{ mm}^2$  довжиною 300 м при тривалості захисного інтервалу  $L = 16; 32; 64$ .

Розрахунки проведено для наступних вихідних даних:

- кількість інформаційних каналів  $n = 235$ ;
- номер першого інформаційного каналу  $m = 21$ ;
- кількість відліків на інтервалі ортогональності  $N = 512$ ;
- кількість відліків на захисному інтервалі  $L = 16; 32; 64$ ;
- частотний план 25 MHz-PB [3], що передбачає діапазон частот передавання від 2 до 25 МГц;
- маска спектральної густини потужності (СГП) на виході передавача системи BPL [3];
- довжина проводу типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил  $2,5 \text{ mm}^2$ : 300 м;
- дискретна імпульсна реакція двожиливого проводу типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил  $2,5 \text{ mm}^2$  довжиною 300 м (рис. 1).

Кількість інформаційних каналів, номер першого інформаційного каналу і діапазон частот передавання обрано згідно з [4], де обґрунтовано використання саме таких вихідних параметрів.

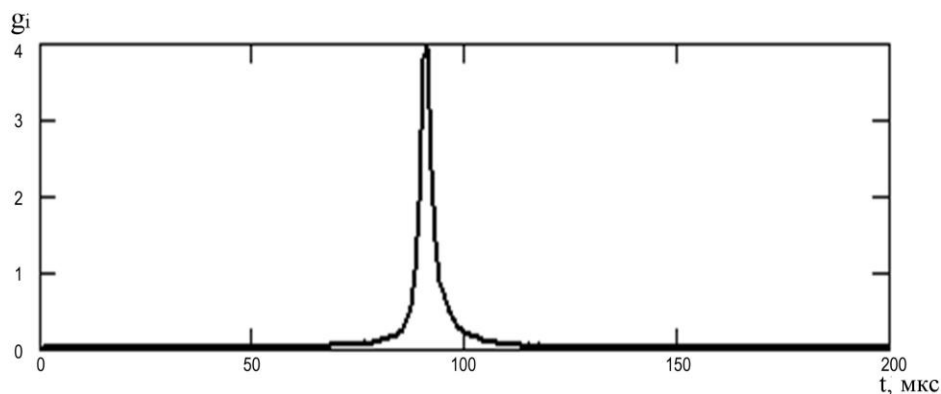


Рисунок 1 – Дискретна імпульсна реакція  $g(r)$  проводу типу ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м

На рис. 2...4 показано залежність співвідношення  $h$  від номера каналу  $l$  і номера відліку групового сигналу, з якого починається його оброблення в приймачі  $k_T$  при  $L = 16; 32; 64$  відповідно. Порівнявши рис. 2...4, можна дійти висновку, що при збільшенні тривалості захисного інтервалу зростає діапазон значень  $k_T$ , за яких співвідношення  $h$  набуває мінімальних значень.

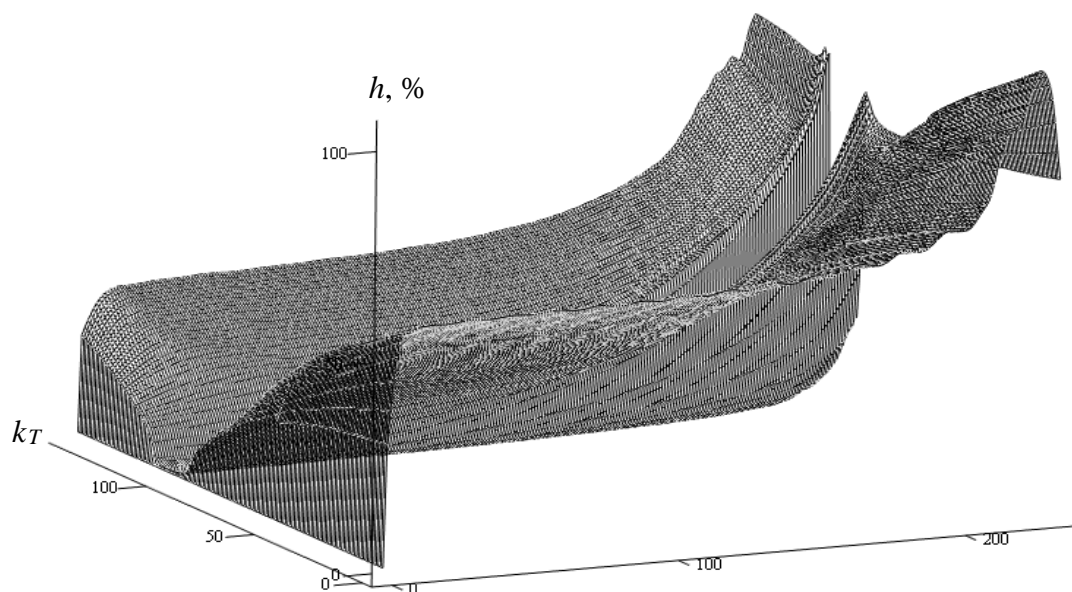


Рисунок 2 – Залежність співвідношення  $h$  від  $l$  і  $k_T$   
(провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235$ ,  $m = 21$ ,  $L = 16$ )

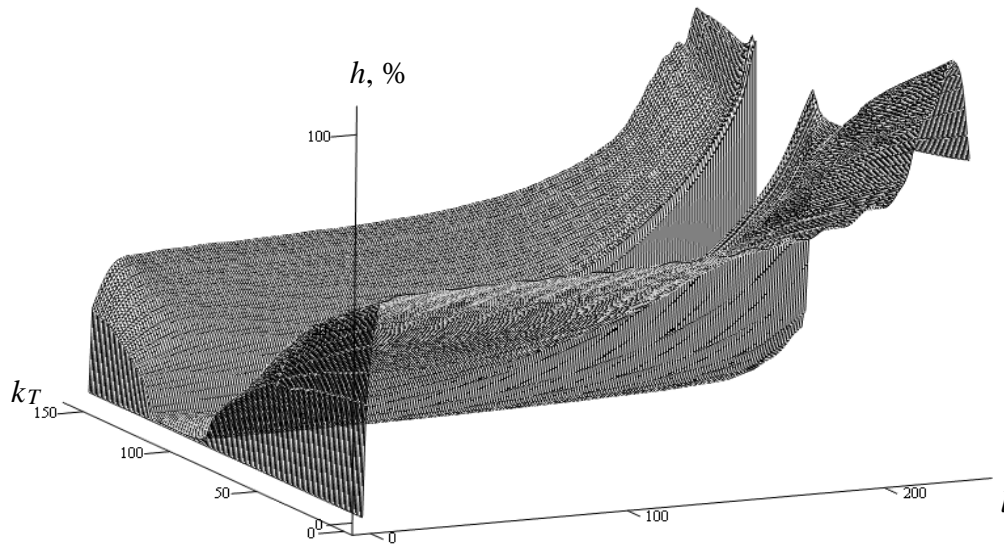


Рисунок 3 – Залежність співвідношення  $h$  від  $l$  і  $k_T$   
(провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235$ ,  $m = 21$ ,  $L = 32$ )

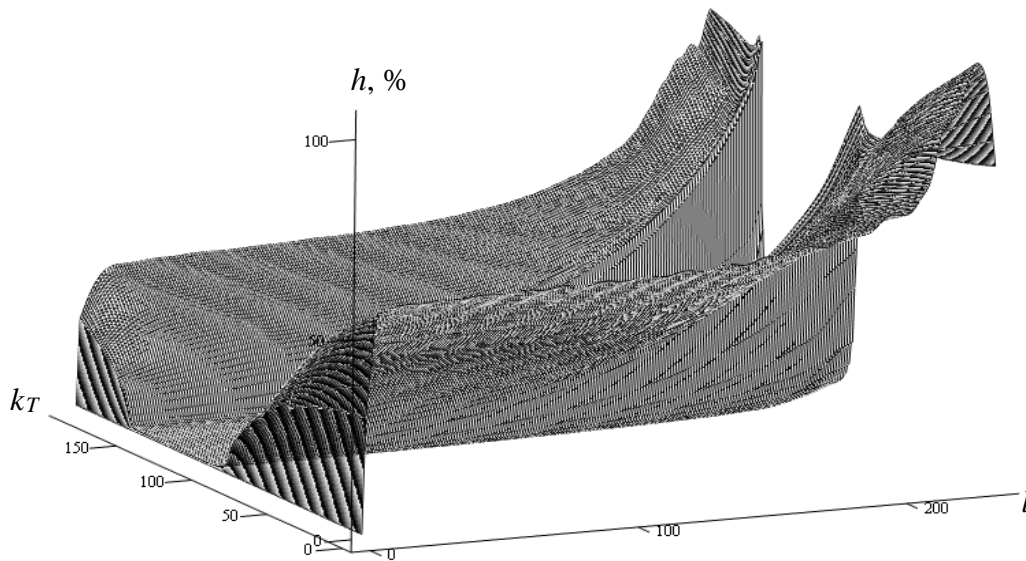


Рисунок 4 – Залежність співвідношення  $h$  від  $l$  і  $k_T$   
(провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235$ ,  $m = 21$ ,  $L = 64$ )

Залежності середньоарифметичного значення  $h$  по всіх каналах СП ОГС ( $\tilde{h}$ ) від  $k_T$  для  $L = 16; 32; 64$  наведено на рис. 5 і в табл. 1...3. Порівнявши дані табл. 1...3, можна дійти висновку, що оптимальні значення  $k_T$  для  $L = 16; 32; 64$  дорівнюють 100; 107 і 124 відповідно.

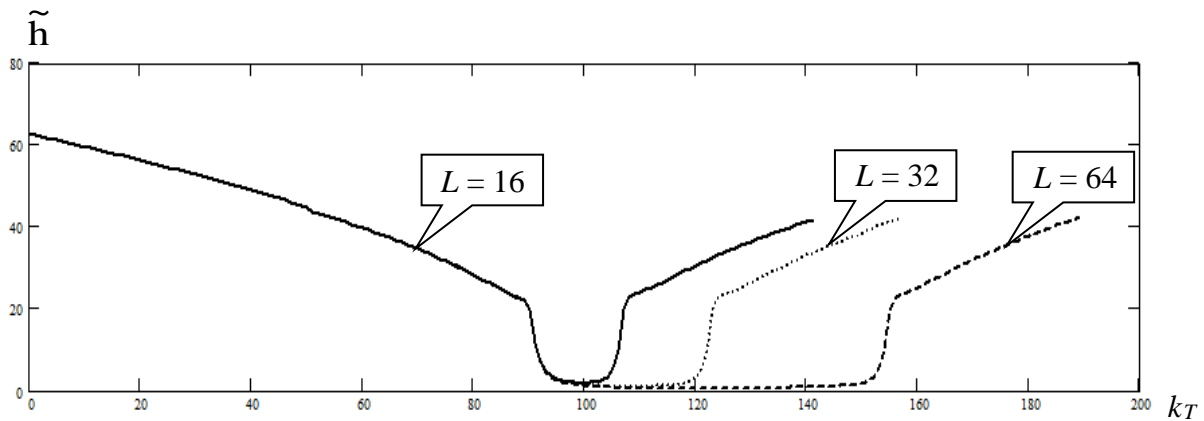


Рисунок 5 – Залежності  $\tilde{h}$  від  $k_T$  для  $L = 16; 32; 64$   
(провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235, m = 21$ )

Таблиця 1 – Залежність середньоарифметичного значення  $h$  від  $k_T$  (провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235, m = 21$ )

$l$	100	101	102	103	104	105	106	<b>107</b>	108	109
$\tilde{h}, \%$	1,433	1,326	1,267	1,184	1,139	1,100	1,090	<b>1,081</b>	1,083	1,089
$l$	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
$\tilde{h}, \%$	1,090	1,100	1,116	1,175	1,224	1,330	1,404	1,608	1,813	2,431

Таблиця 2 – Залежність середньоарифметичного значення  $h$  від  $k_T$  (провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235, m = 21, L = 16$ )

$l$	95	96	97	98	99	<b>100</b>	101	102	103	104
$\tilde{h}, \%$	2,851	2,493	2,150	1,998	1,888	<b>1,863</b>	1,935	2,064	2,576	3,306

Таблиця 3 – Залежність середньоарифметичного значення  $h$  від  $k_T$  (провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235, m = 21, L = 64$ )

$l$	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
$\tilde{h}, \%$	1,239	1,097	1,030	0,912	0,855	0,775	0,750	0,703	0,684	0,651
$l$	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
$\tilde{h}, \%$	0,636	0,603	0,593	0,573	0,570	0,560	0,558	0,548	0,546	0,538
$l$	120	121	122	123	<b>124</b>	125	126	127	128	129
$\tilde{h}, \%$	0,539	0,536	0,537	0,535	<b>0,529</b>	0,546	0,560	0,576	0,588	0,605
$l$	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
$\tilde{h}, \%$	0,620	0,644	0,665	0,690	0,707	0,729	0,746	0,780	0,804	0,843

На рис. 6 показана залежність співвідношення  $h$  від номера інформаційного каналу  $l$  для  $L = 16; 32; 64$  для оптимальних  $k_T$ .

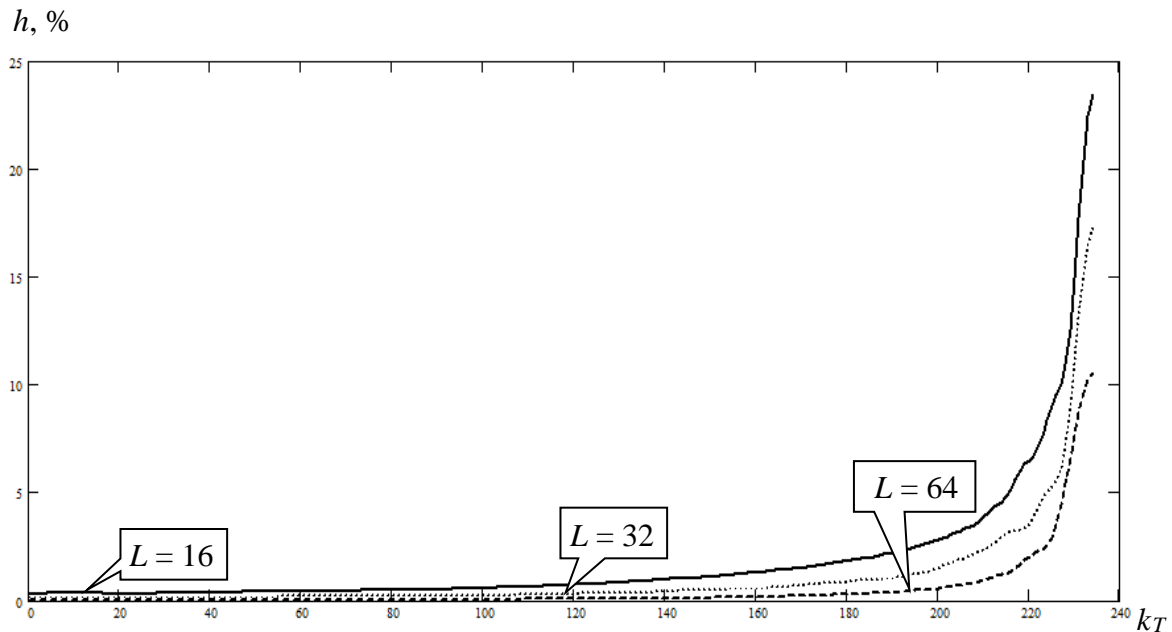


Рисунок 6 – Криві залежності  $h$  від  $l$  для оптимальних  $k_T$  при  $L = 16; 32; 64$  (провід ППВ  $2 \times 2,5$  довжиною 300 м,  $n = 235$ ,  $m = 21$ )

Проаналізувавши рис. 6, можна дійти висновку, що при збільшенні  $L$  співвідношення  $h$  набуває менших значень. Таким чином, при збільшенні тривалості захисного інтервалу в 4 рази з  $L = 16$  до  $L = 64$  співвідношення  $h$  зменшується приблизно у 5 разів. З цього випливає, що використання захисного інтервалу у СП ОГС є ефективним методом боротьби з інтерференційними завадами. Але необхідно враховувати й те, що неминучим наслідком збільшення тривалості захисного інтервалу є збільшення тривалості посліжки (тактового інтервалу), що еквівалентно зменшенню швидкості передавання. Отже, постає питання вибору оптимального співвідношення між тривалістю захисного інтервалу і тривалістю посліжки, яке, очевидно, має вирішуватися окремо для кожної реалізації СП ОГС, у тому числі СП ВРЛ.

У ході проведених досліджень встановлено, що:

- при збільшенні тривалості захисного інтервалу зростає діапазон значень  $k_T$ , за яких співвідношення  $h$  набуває мінімальних значень;
- при збільшенні тривалості захисного інтервалу з  $L = 16$  до  $L = 64$  співвідношення  $h$  зменшується приблизно у 5 разів, що вказує на доцільність використання захисного інтервалу у СП ОГС для боротьби з інтерференційними завадами;
- при збільшенні тривалості захисного інтервалу неминуче збільшення тривалості посліжки (тактового інтервалу), що є причиною зменшення швидкості передавання. Таким чином, актуалізується питання вибору оптимального співвідношення між тривалістю захисного інтервалу і тривалістю посліжки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Балашов В.А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробиевко, Л.М. Ляховецкий // *Эко-трендз*. – 2012. – 228 с.
2. Морриси Питер Реализация технологии BPL [Электронный ресурс] / Питер Морриси (2005) // *Сети и системы связи*. – Режим доступа: [http://www.ccc.ru/magazine/depot/05\\_12/read.html?0301.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/05_12/read.html?0301.htm). – Дата доступа: 22.09.2015. – Заголовок з екрану.
3. ITU-T Recommendation G.9964: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). [Text]. – Apr. 2011, December. – Geneva, 2011. – 22 p.
4. Балашов В.О. Дослідження інтерференційних завад у системах широкосмугового доступу BPL по мережі електропроводки / В.О. Балашов, Л.М. Ляховецький, С.А. Заблоцький, К.М. Карпенко // *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*. – 2013. – № 2. – С. 41-46.

REFERENCES:

1. Balashov V.A., Vorobienko P.P., Lyakhovetskiy L.M. "Systems of transmission by orthogonal harmonic signals." *Eko-trendz*, Moscow (2012): 228.
2. "Realization BPL technology" / [Электронный ресурс] / Morrissi Piter (2005) // *Networks and communication systems*. – Режим доступа: [http://www.ccc.ru/magazine/depot/05\\_12/read.html?0301.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/05_12/read.html?0301.htm). – Дата доступа: 22.09.2015. – Заголовок з екрану.
3. ITU-T Recommendation G.9964: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). [Text]. – Apr. 2011, December. – Geneva, 2011, p. 22.
4. Balashov V.A., Lyakhovetskiy L.M., Zablotskiy S.A., Karpenko K.M. "Investigation of harmful interference in BPL systems of broadband access on electric wiring network" *Proc. of the O.S. Popov ONAT "Scientific works" №2* (2013): 41-46.