

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПТИМАЛЬНОГО МОМЕНТУ ПОЧАТКУ ОБРОБКИ СИГНАЛУ У ПРИЙМАЧІ СП ОГС ВІД ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛУ

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. Обґрунтовано можливість локалізації оптимального моменту початку обробки сигналу за імпульсною реакцією каналу передачі.

Ключові слова: система передачі, ортогональний гармонічний сигнал, технологія ADSL2+, інтерференційна завада

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 у формуванні спектра OFDM-сигналу, що дозволяє швидко адаптуватися до ненормованих і змінних у часі характеристик середовища передавання [2]. Багаточастотна структура групового сигналу СП ОГС визначає специфічні можливості адаптації цих СП до постійно змінюваних характеристик каналу передачі. 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 тактовій інтервалі [3].

Збільшення захисного інтервалу забезпечує зниження потужності інтерференційних завад, викликаних лінійними спотвореннями сигналів, але, з іншого боку, збільшення при цьому тривалості посилки призводить до зменшення частоти передавання інформаційних кадрів та потенційно досяжної швидкості передавання. Тому важливим є пошук оптимальної тривалості захисного інтервалу, за якої забезпечується максимальна швидкість передавання СП ОГС в каналі передачі з заданими характеристиками. Визначення оптимальних параметрів групового сигналу можливе за допомогою моделювання роботи СП ОГС. Найбільшою складністю є моделювання інтерференційних завад та пошук оптимального моменту інтегрування (початку обробки сигналу у приймачі), за якого забезпечується мінімальна потужність інтерференційних завад, яке за рахунок великого обсягу розрахунків потребує значних витрат часу. Причому, зі збільшенням числа каналів (відповідно кількості відліків на інтервалі ортогональності) складність розрахунків зростає у геометричній прогресії. Тому для мінімізації обсягу розрахунків до початку їх проведення важливо “локалізувати” місце знаходження оптимального моменту початку інтегрування якомога точніше.

Метою даної статті є дослідження залежності оптимального моменту початку інтегрування прийнятого групового сигналу в приймачі СП ОГС від параметрів сигналу і характеристик каналу передачі та обґрунтування можливості забезпечення мінімізації обсягу розрахунків при моделюванні СП ОГС за рахунок “локалізації” місця знаходження оптимального моменту інтегрування.

Дослідження проводилося шляхом аналітичного моделювання роботи СП ADSL2 + [4] по телефонному кабелю типу ТПП-0,5 при наступних параметрах:

- кількість інформаційних каналів (n) – 479;
- номер першого інформаційного каналу (m) – 33;
- кількість відліків інтервалу ортогональності (N) – 512;
- кількість відліків захисного інтервалу (L) варіюється в межах 32...128;
- лінія передачі – телефонний кабель типу ТПП з діаметром жил 0,5 мм;
- довжина лінії ($l_{\text{л}}$) варіюється в межах – 1...5 км;

– вид обвідної послідовності лінійного сигналу – традиційний («П»-подібної форми) для СП-1 та узагальненого класу (УК) з оптимальною функцією (з косинусквадратичними фронтами) для СП-2 [3].

Для розглянутих варіантів моделей СП ОГС були розраховані інтерференційні завади за методикою, описаною в роботах [3], [5].

Інтерференційні завади оцінювалися в кожному каналі СП ОГС як відсоткове відношення ефективних значень завади і сигналу h . Попередньо, відповідно до методики, були розраховані імпульсні реакції (ІР) $g(k)$, відповідні довжинам ліній передачі заданих вихідними даними (див. рис. 1). У розрахунках інтерференції за тривалість ІР приймалося кількість відліків (R), на яких зосереджено не менше 99,99% її потужності.

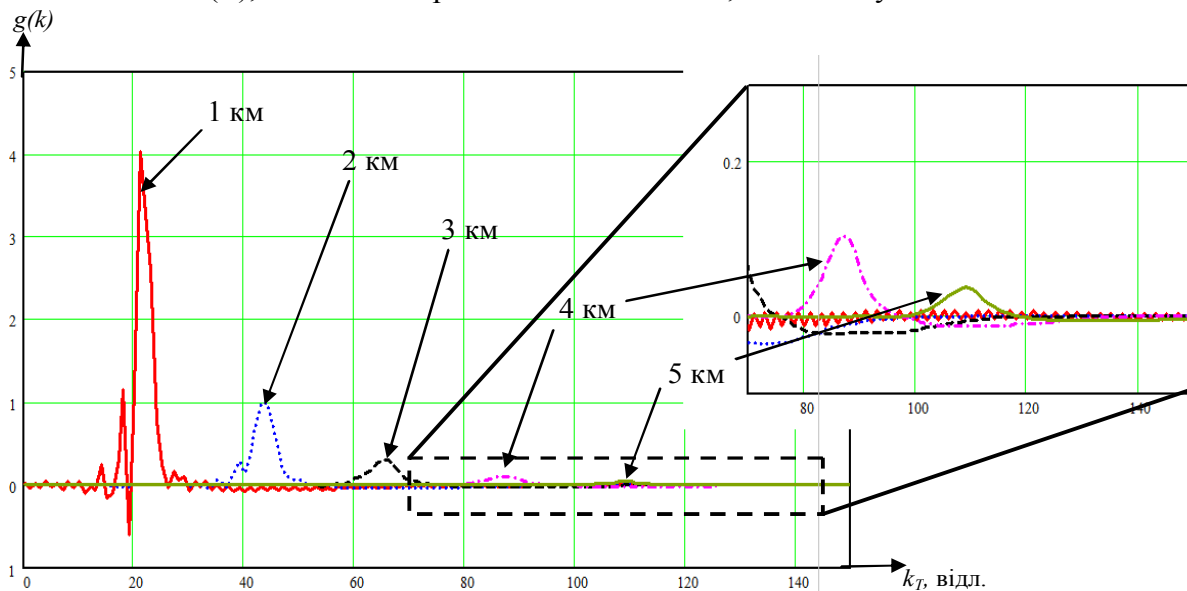


Рис. 1. Імпульсні реакції лінії передачі СП ADSL2 + при роботі по кабелю ТПП-0,5

На рис. 2 показані тривимірні графіки залежності розподілу по каналах відношення ефективних значень завади і сигналу від моменту початку інтегрування $h_{l,k}$ при варіюванні тривалості захисного інтервалу L для довжини лінії $l_{\text{л}} = 3$ км, для СП-1 (а і в) та СП-2 (б і г).

На графіках: $h_{l,k}$ – відсоткове відношення ефективних значень завади і сигналу;

k_{T} – номер відліку початку інтегрування (обробки сигналу в приймачі);

l – номер каналу (сигналу-носія).

За результатами, поданими на рис. 2, можна зробити висновок, що h_l суттєво залежить від номеру відліку початку інтегрування k_{T} , тому важливо правильно обрати момент початку обробки сигналу в приймачі. Також варто відмітити, що інтерференційні завади розподілені по каналах нерівномірно, а тому значення оптимального моменту $k_{\text{T опт}}$ буде відрізнятися для різних каналів.

Будемо вважати за оптимальний $k_{\text{T опт}}$ такий момент початку інтегрування, за якого середньоарифметичне за всіма інформаційними каналами відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу \bar{h} буде мінімальне.

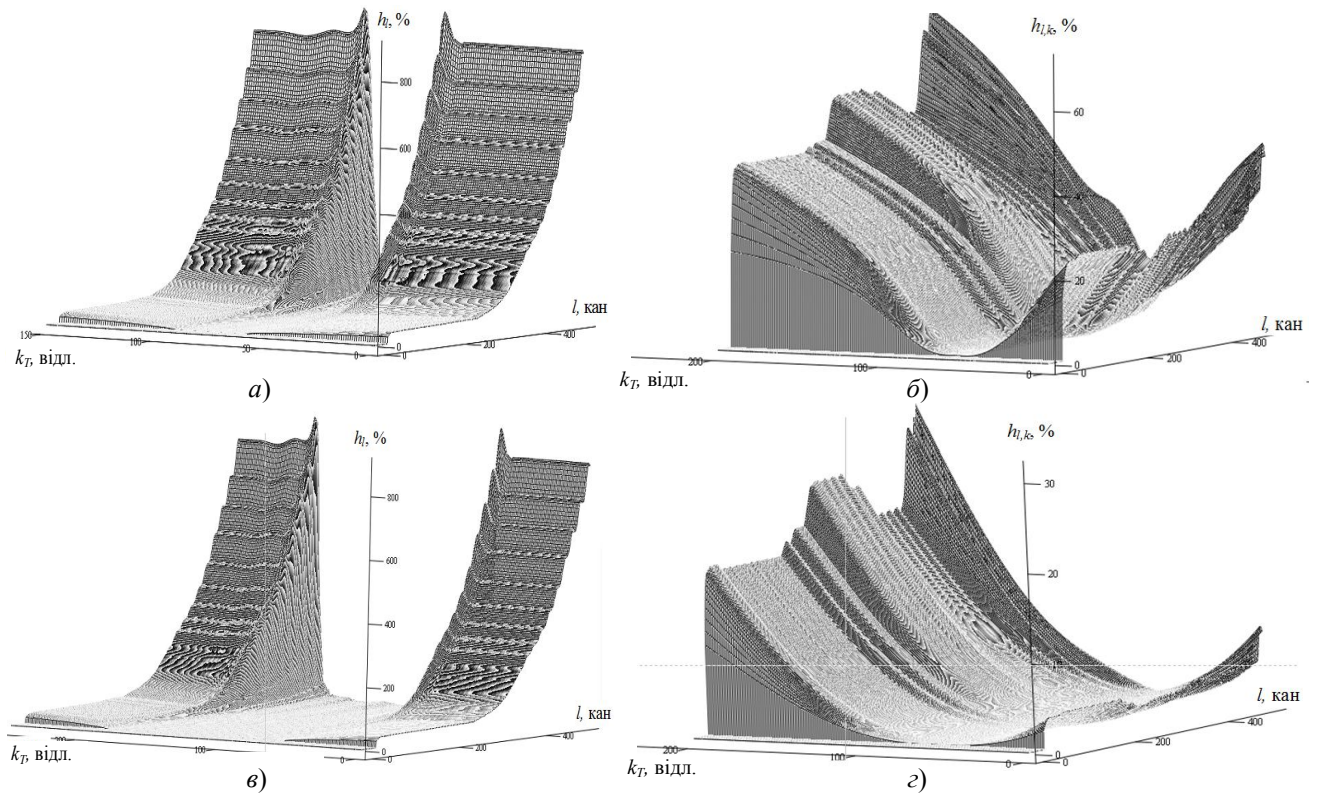


Рис. 2. Розподіл h по каналах СП ADSL2+ в залежності від k_T ($l_{л} = 3$ км, ТПП-0,5 мм).
 $L = 32$: СП-1 (а); СП-2 (б). $L = 128$: СП-1 (в); СП-2 (г)

На рис. 3 надані графіки залежності h від k_T для СП ADSL2+ при варіюванні тривалості захисного інтервалу за фіксованої довжини лінії ($l_{л} = 1$ і 5 км), а на рис. 4 – при варіюванні довжини лінії за фіксованої тривалості захисного інтервалу ($L = 32$).

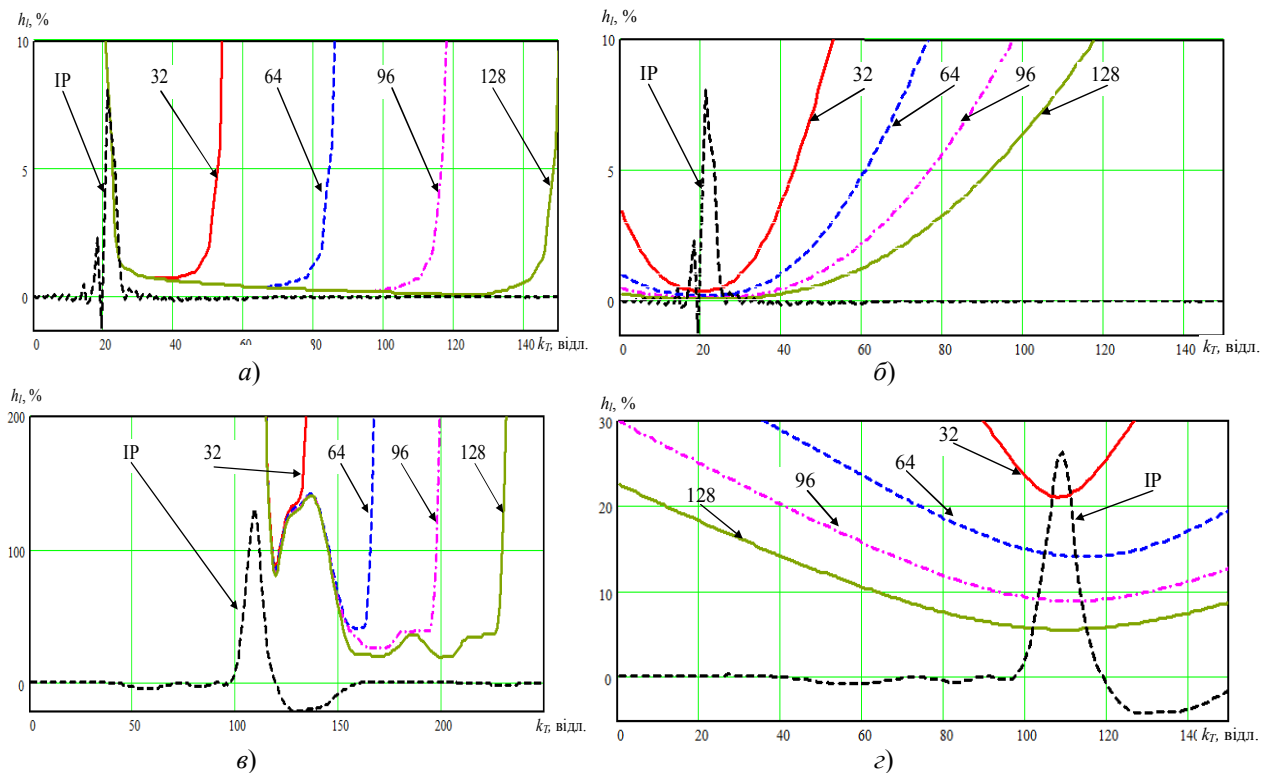


Рис. 3. Залежність h від k_T для СП ADSL2+ при варіюванні тривалості захисного інтервалу.
 $l_{л} = 1$ км: СП-1 (а); П-2 (б). $l_{л} = 5$ км: СП-1 (в); СП-2 (г)

На рис. 3 також наведено IP для відповідних довжин лінії, що дає змогу візуально оцінити залежність величини інтерференційних завад від характеристик каналу передачі.

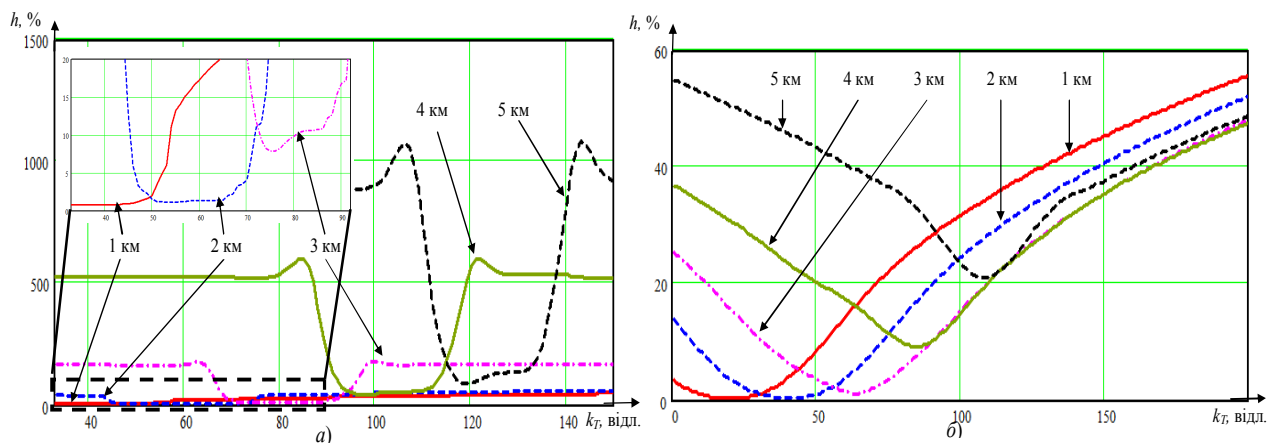


Рис. 4. Залежність \bar{h} від k_T для СП ADSL2+ при варіюванні довжини лінії, $L = 32$.
СП-1 (а); СП-2 (б)

У табл. 1 зведені результати визначення оптимального значення відліку початку інтегрування $k_{T \text{ опт}}$ в залежності від довжини лінії та тривалості захисного інтервалу при моделюванні інтерференції в СП ADSL2+ при роботі по кабелю ТПП-0,5.

Оптимальні значення відліку початку інтегрування при моделюванні Табл. 1

Тривалість захисного інтервалу	32		64		96		128	
	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2	СП-1	СП-2
Довжина лінії, км								
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

Спираючись на отримані результати моделювання, співставляючи графіки залежності середньоарифметичного за всіма інформаційними каналами відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу \bar{h} від номеру відліку початку інтегрування k_T та табличні дані оптимальних значень відліку початку інтегрування $k_{T \text{ опт}}$ з відповідними графіками імпульсних реакцій $g(k)$ ліній передачі, можна зробити наступні висновки:

– для традиційної СП ОГС (СП-1) оптимальне значення відліку початку інтегрування $k_{T \text{ опт}}$ залежить від довжини лінії (тривалості імпульсної реакції) і тривалості захисного інтервалу та визначається номером наступного відліку за L -тою кількістю відліків IP, на яких зосереджена максимальна енергія цієї IP (L відліків IP, які «перекриваються» захисним інтервалом) – $k_{T \text{ опт}} = k + L + 1$;

– для СП ОГС УК (СП-2) оптимальне значення відліку початку інтегрування $k_{T \text{ опт}}$ також залежить від довжини лінії (тривалості IP), але, на відміну від СП-1, практично не залежить від тривалості захисного інтервалу та визначається відліком імпульсної реакції з найбільшою амплітудою – $k_{T \text{ опт}} = k$ (за якого $g = \max$).

Отже, за імпульсною реакцією можливо визначити значення або, як мінімум, «локалізувати» місце знаходження оптимального відліку початку інтегрування $k_{T \text{ опт}}$. Обґрунтуємо вірність таких суджень, розраховавши $k_{T \text{ опт}}$ за імпульсною реакцією.

У табл. 2 наведені відповідні результати визначення оптимального значення відліку початку інтегрування $k_{T \text{ опт}}$ за IP (за максимальною енергією на L відліках для СП-1 та за відліком з найбільшою амплітудою для СП-2).

Порівняння результатів визначення $k_{T \text{ опт}}$ при моделюванні роботи СП ОГС та за імпульсною реакцією (див. табл. 1 і 2) доводить можливість зменшення обсягу розрахунків при дослідженні інтерференції в СП ОГС, а значить і часу на проведення моделювання роботи СП ОГС. Так, для СП-1 максимальна різниця визначення $k_{T \text{ опт}}$ за IP та при

моделюванні СП ОГС складає 24 відліки, для 95 % результатів різниця не перевищує 14 відліків, а для 75 % результатів різниця не перевищує 12 відліків. Для СП-2 максимальна різниця складає 17 відліків, для 85 % результатів різниця не перевищує 6 відліків, а для 80 % результатів різниця не перевищує 3 відліки.

Оптимальні значення відліку початку інтегрування, визначені за імпульсною реакцією

Табл. 2

Тривалість захисного інтервалу	СП-1				СП-2
	32	64	96	128	
Довжина лінії, км					
1	42	64	95	127	21
2	66	92	95	127	44
3	90	113	111	127	65
4	111	135	132	135	87
5	133	157	153	175	109

Отже, при моделюванні СП ОГС з урахуванням інтерференції можна значно зменшити обсяг розрахунків (час на пошук оптимального моменту інтегрування) шляхом “локалізації” за імпульсною реакцією його місця знаходження. На прикладі СП ADSL2+ показано, що для того, аби зі 100-відсотковою точністю знайти розподіл по каналах відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу h_l за оптимального моменту інтегрування $k_{T \text{ опт}}$, замість 100...200 ітерацій розрахунку h_l достатньо виконати не більше 50, а у більшості випадків достатньо буде 10...20 ітерацій.

Висновки

Результати проведеного дослідження доводять, що оптимальне значення відліку початку обробки сигналу в приймачі СП ОГС залежить від характеристик каналу передачі та параметрів сигналу і за відомою імпульсною реакцією можливо “локалізувати” його місце знаходження, що суттєво зменшує обсяг розрахунків та відповідно час на проведення моделювання характеристик СП ОГС.

Список використаної літератури

1. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В. А. Балашов, П. П. Воробийенко, Л. М. Ляховецкий. – Москва : Эко-Трендз, 2012. – 228 с.
2. Балашов В. А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. – Москва : 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. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
5. 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.

Автор статті

Орешков Василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Телекомунікаційних систем, Одеська національна академія зв'язку імені О.С. Попова. Тел.: +380 (67) 758 27 55.
E-mail : Oreshkov_VI@mail.ru

Author of the article

Oreshkov Vasyl Ivanovych – candidate of science (technic), associate professor telecommunication systems department. O. S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications. Tel.: +380 (67) 758 27 55.
E-mail : Oreshkov_VI@mail.ru

Рецензент:

доктор технічних наук, професор К. С. Сундучков
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського»

Дата надходження
в редакцію: 13.10.2016 р.