УДК 621.391

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

ОРЄШКОВ В.І.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
Oreshkov_VI@ukr.net

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ENSURING OF MODERN TRANSMISSION SYSTEMS OF BROADBAND ACCESS NETWORKS

ORESHKOV V.I.

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
Oreshkov_VI@ukr.net

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ СЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

ОРЕШКОВ В.И.

Одесская национальная академия святи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная,1.
Oreshkov_VI@ukr.net

Анотація. *У роботі проаналізовано методи забезпечення електромагнітної сумісності сучасних технологій передачі мереж фіксованого широкосмугового доступу, що побудовані на базі багатопарних телефонних кабелів. Основна увага зосереджена на методах, що використовуються у найсучаснішій технології широкосмугового доступу G.fast.Сформульовано умови за яких можливо забезпечити викосу ефективність функціонування сучасних систем передачі по багатопарних телефонних кабелях. Визначено частотні характеристики взаємних впливів між парами вітчизняних багатопарних телефонних кабелів типу ТППеп у смузі частот до 106МГц. Оцінено потужність перехідних завад при паралельній роботі систем передачі G.fast по кабелях типу ТППеп без застосування системи компенсації перехідних завад «векторинг» та ефективність придушення перехідних завад системою «векторинг». Проведено моделювання роботи систем передачі за технологією G.fast по вітчизняних багатопарних телефонних кабелях типу ТППеп без застосування «векторингу» та із застосуванням «векторингу». Отримано оцінки досяжної швидкості передавання систем передачі G.fast, які доводять ефективність застосування системи компенсації перехідних завад «векторинг».*

Ключові слова: *електромагнітна сумісність, система передачі, широкосмуговий доступ, багатопарний телефонний кабель, компенсація перехідних завад.*

Abstract. *The paper analyzes the methods for ensuring the electromagnetic compatibility of the modern transmission technologies of the fixed broadband access networks based on multi-pair telephone cables. The focus is on the methods used in the G.fast modern broadband access technology. The conditions under which it is possible to ensure the efficiency of the functioning of the modern transmission systems over multi-pair telephone cables are formulated. The frequency characteristics of the mutual influences between pairs of the TPPep type domestic multi-pair telephone cables in the frequency band up to 106 MHz are determined. The evaluation of the crosstalk power for parallel operation of G.fast transmission systems over TPPep type cables without using the «vectoring» crosstalk compensation system and evaluation of the crosstalk suppression effectiveness by the «vectoring» system is given. Modeling of the G.fast transmission systems operation over TPPep type domestic multi-pair telephone cables without using «vectoring» and using «vectoring» was carried out. Estimates of the achievable transmission rate of the G.fast transmission systems, which prove the effectiveness of the «vectoring» crosstalk compensation system application, are obtained.*

Key words: *electromagnetic compatibility, transmission system, broadband access, multi-pair telephone cable, crosstalk compensation.*

Аннотация. *В работе проанализированы методы обеспечения электромагнитной совместимости современных технологий передачи сетей фиксированного широкополосного доступа, построенных на базе мно-*

гопарных телефонных кабелей. Основное внимание сосредоточено на методах, используемых в современной технологии широкополосного доступа G.fast. Сформулированы условия, при которых возможно обеспечить выкосу эффективность функционирования современных систем передачи по многопарным телефонным кабелям. Определены частотные характеристики взаимных влияний между парами отечественных многопарных телефонных кабелей типа ТППэп в полосе частот до 106МГц. Дана оценка мощности переходных помех при параллельной работе систем передачи G.fast по кабелям типа ТППэп без применения системы компенсации переходных помех «векторинг» и эффективности подавления переходных помех системой «векторинг». Проведено моделирование работы систем передачи по технологии G.fast по отечественным многопарным телефонным кабелям типа ТППэп без применения «векторинга» и с применением «векторинга». Получены оценки достижимой скорости передачи систем передачи G.fast, доказывающих эффективность применения системы компенсации переходных помех «векторинг».

Ключевые слова: *электромагнитная совместимость, система передачи, широкополосный доступ, многопарный телефонный кабель, компенсация переходных помех.*

Телекомунікаційні системи передачі (СП), що функціонують у спільному середовищі передачі сигналів, постійно знаходяться під впливом сторонніх електромагнітних полів різного походження (зовнішніх та внутрішніх для даного середовища), які створюють електромагнітні завади.

Завданням розробників технологій і систем передачі є ефективне використання частотного ресурсу середовища передачі, що досягається в першу чергу обмеженням електромагнітних впливів (внутрішніх для даного середовища), за якого можливе співіснування певної множини систем передачі у спільному середовищі. Разом з цим на СП впливають завади різноманітних джерел електромагнітних випромінювань (зовнішніх для даного середовища), від яких їх також необхідно захищати. Дана проблема є спільною для всіх телекомунікаційних систем і пристроїв незалежно від їх типу та середовища передачі (симетричні багатопарні кабелі, лінії електропостачання, радіоефір тощо) і називається проблемою електромагнітної сумісності (ЕМС).

Електромагнітна сумісність технічних засобів –це здатність технічних засобів одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з необхідною якістю при впливі на них ненавмисних електромагнітних завад і не створювати неприпустимих електромагнітних завад іншим технічним засобам.

Згідно з визначенням ЕМС суть проблеми полягає в тому, що в процесі проектування, будівництва і експлуатації телекомунікаційних пристроїв і систем необхідно враховувати дві суперечливі вимоги:

- необхідно забезпечити достатню для нормальної роботи телекомунікаційних систем захист від впливу на них сторонніх електромагнітних полів;
- необхідно обмежити припустимими значеннями рівні впливу електромагнітних полів проектованих пристроїв і систем на інші пристрої.

Задача забезпечення ЕМС телекомунікаційних систем передачі (СП) за технологіями xDSL, які працюють по багатопарних телефонних кабелях має свої особливості: головними чинниками, які впливають на характеристики СП xDSL є довжина лінії, власне загасання якої визначає потенційно досяжне співвідношення «швидкість передавання – дальність зв’язку» та перехідні завади від СП, що працюють паралельно по сусідніх парах цього ж кабелю, які і формують основне електромагнітне оточення для СП xDSL.

Технології xDSL досі займають значну частину сегмента мереж фіксованого широкосмугового доступу (ШД). Крім того, дані технології продовжують активно розвиватися за рахунок їх інтеграції з оптичними технологіями у гібридні мережі ШД за концепціями FTTx, що пов’язано з бажанням операторів зв'язку максимально використовувати існуючу мережу телефонних абонентських ліній (АЛ), проводячи перехід до оптичних технологій на базі концепцій FTTx еволюційним шляхом у наступній послідовності: ADSL/ADSL2+ → FTTC+VDSL/VDSL2 → FTTB+G.fast → FTTH. Даний шлях розвитку мереж ШД підтверджується даними статистики аналітичних агентств телекомунікаційного ринку [1].

Наслідком еволюційного шляху розвитку мереж доступу є співіснування великої кількості СП різноманітних технологій ШД, які використовують багатопарні телефонні кабелі. Відповідно виникає необхідність забезпечення ефективного функціонування всіх цих систем у навколишньому електромагнітному оточенні, тобто постає задача їх ЕМС, від вирішення якої залежить подальший шлях розвитку мереж ШД.

Передові в технологічному плані країни, такі як Велика Британія та Німеччина, вже широко впроваджують найсучаснішу з технологій передачі широкосмугового доступу xDSL –G.fast, яка передбачає підключення по мідному багатопарному телефонному кабелю 10…30 абонентів зі швидкістю до 1 Гбіт/с [2]. Така швидкість, сумірна зі швидкістю оптичних технологій, досягається за рахунок зменшення довжини АЛ (як правило до 250 метрів) та розширення частотного діапазону до 106 МГц [3]. При цьому виникає необхідність забезпечити ЕМС з існуючими технологіями (в першу чергу з ADSL2+ і VDSL2), а також між собою при паралельній роботі таких СП по багатопарному кабелю.

Метою даної статті є аналіз існуючих методів електромагнітної сумісності та дослідження ефективності їх застосування для забезпечення функціонування систем передачі за технологієюG.fast по вітчизняних багатопарних телефонних кабелях марки ТППеп.

Розглянемо методи ЕМС, що використовуються системами передачі, та визначимо які з них є актуальними для використання у сучасних системах мереж фіксованого ШД.

Класичним методом забезпечення ЕМС є нормування потужності сигналу на виході передавача СП – жорстке обмеження потужності сигналу та робочої смуги частот, в якій передається сигнал. Потужність, як правило, задається маскою рівня спектральної густини потужності (СГП) сигналу, при цьому рівень сигналу виході передавача у заданій смузі частот не повинен перевищувати встановлене маскою значення[4]. Варто відзначити, що нормуванню підлягають як сигнал у робочій смузі частот, так і поза смугові випромінювання сигналу.

Перше дозволяє:

– зменшити вплив на однотипні СП та інші СП, які працюють у цій же смузі частот, що і задана СП, відповідно забезпечити ЕМС систем передачі, які перекриваються за спектром;

– обмежити рівень нелінійних завад, які можуть призводити до погіршення якості передавання сигналу даної СП, в першу чергу це стосується багатоканальних систем передачі з частотним розділенням каналів чутливих до даного типу завад, але також нелінійні ефекти призводять до поза смугових випромінювань, а отже, можуть впливати на СП, які працюють у сусідній смузі частот з даною СП. Відповідно забезпечується ЕМС систем передачі, які не перекриваються за спектром.

Друге дозволяє:

– як і в попередньому випадку, забезпечити ЕМС з системами передачі, які використовують сусідні смуги частот (вище або нижче за робочу смугу заданої СП);

– обмежити робочу смугу частот СП, відповідно виключити вплив завад різної природи, які не належать робочій смузі частот, на дану СП.

Наступним класичним методом забезпечення ЕМС є встановлення вимог до середовища передачі по значенню перехідних загасань. На СП, що паралельно працюють у багатопарному кабелі, впливають перехідні завади на ближній та дальній кінець, тому щоб забезпечити роботу СП в умовах перехідних завад необхідно нормувати перехідне загасання на ближній кінець (NEXT, Near End Cross Talk) та перехідне загасання на дальній кінець (FEXT, Far End Cross Talk) для багатопарних кабелів[4].

Збільшення перехідних загасань NEXT і FEXT між парами багатопарного кабелю можна досягти за рахунок конструктивних рішень, наслідком чого буде зменшення перехідних завадміж системами передачі, які паралельно працюють по цих парах. Значення перехідних

загасань для таких кабелів визначається структурою осердя (пучкова, повивна), типом скручування (парний, четверний), кроком скручування пари та наявністю екрану.

Відомо, що перехідні загасання NEXT і FEXT є частотно-залежними – зі зростанням частоти зменшуються за законом десяткового логарифму. Крім цього FEXT має ще залежність і від довжини АЛ, зі зменшенням якої теж зменшується відповідно до власного загасання АЛ [4].

Розглянуті класичні методи можна вважати пасивними методами забезпечення ЕМС систем передачі (які не передбачають ніяких дій з сигналом), які полягають тільки у обмеженні потужності завади за рахунок обмеження потужності сигналу або за рахунок удосконалення конструкції кабелю. Застосування цих методів забезпечення ЕМС можна пояснити за допомогою рис. 1 і 2.

На рис. 1 порівнюються маски СГП сигналу на виході передавачів СП за технологіями ADSL2+ (Annex M), VDSL2 (частотний план B8-6 [998-M2x-B])та G.fast (частотний план 106 МГц) у смузі частот до 35 МГц. А на рис. 2 показані графіки залежності середніх значень NEXT і FEXT від частоти для кабелю ТППэп, який перебував у експлуатації 8…12 років за нормальних умов. Залежності NEXT і FEXT отримані шляхом апроксимації результатів вимірювання частотних характеристик кабелів, що представлені у [5, 6].

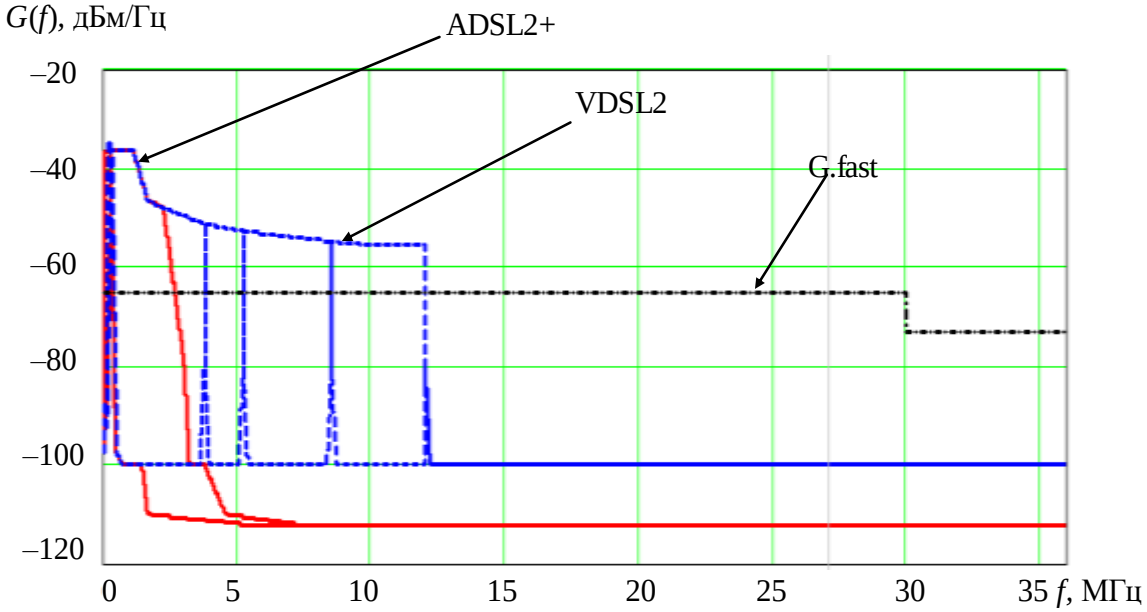

Рисунок 1 – Маски СГП сигналу на виході передавачів xDSL-систем

Як видно з рис. 1, чим більша робоча смуга частот системи передачі, тим менший рівень СГП сигналу дозволяється передавати по лінії передачі, що пояснюється залежністю перехідних загасань багатопарного телефонного кабелю від частоти. З рис. 2 видно, що NEXT зі зростанням частоти від 1 до 106МГц зменшується з 60 до 30 дБ та не залежить від довжині лінії. FEXT за довжини лінії 50 м більша за NEXT на 8…12 дБ та має практично такий самий характер залежності від частоти (зменшується з 70 до 40 дБ). При збільшенні довжини лінії FEXT збільшується на величину власного загасання лінії, відповідно чим більша довжина лінії, тим більша FEXT. Але при збільшенні власного загасання лінії зменшується рівень сигналу на вході приймача, що призводить до неможливості приймання сигналу за таких умов [4, 5].

Порівняння NEXT і FEXT дозволяє дійти висновку, що потужність перехідних завад на ближньому кінці буде переважати потужність перехідних завад на дальньому кінці. Для мінімізації перехідних завад між різнотипними СП необхідно використовувати план частот на виході передавачів цих СП таким чином, щоб спектри сигналів протилежних напрямів пере-

дачі не перекривалися, за цих умов перехідні завади на ближньому кінці можна вважати відсутніми і електромагнітне оточення для паралельно працюючих СП визначається величиною FEXT. Як приклад такого підходу до забезпечення ЕМС можна вважати підключення нових СП VDSL2 з частотним планом B8-6 на мережі де вже працюють СП ADSL2+ з частотним планом Annex M – Up Stream Down Stream цих СП не перекриваються (див. рис. 1).

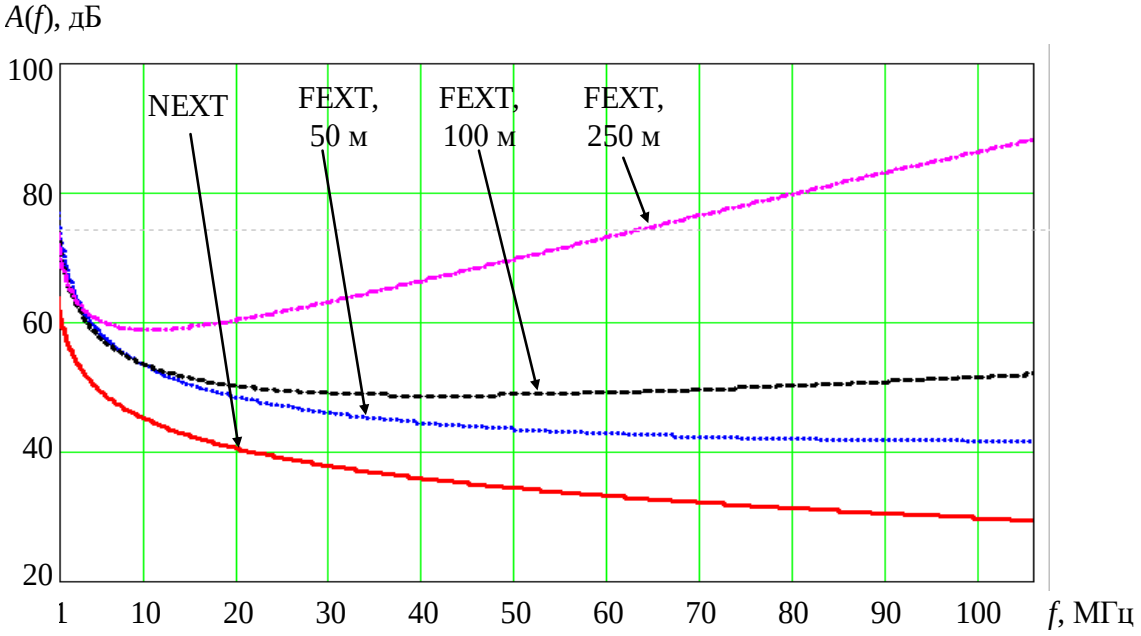

Рисунок 2 – Залежність перехідних загасань NEXT і FEXT кабелю ТППеп-10х2х0,4 від частоти

Для забезпечення зростаючої потреби абонентів у швидкості передавання інформації кожне наступне покоління СП за технологіями xDSL використовує ширшу смугу частот за меншої довжини АЛ, це призводить до збільшення рівня перехідних завад. Для ефективного впровадження цих СП необхідно підвищувати перехідні загасання між парами багатопарного кабелю, по яким працюють ці СП, що неможливо забезпечити використанням тільки класичних (пасивних) методів ЕМС, тому що СП xDSL, як правило, використовують вже існуючі АЛ побудовані на базі телефонних кабелів з певними характеристиками, а заміна кабелів на нові з кращими характеристиками не завжди можлива та є економічно недоцільною.

Тому ефективне впровадження нових СП на існуючих мережах ШД на базі багатопарних телефонних кабелів потребує використання спеціальних методів забезпечення ЕМС, коли у передавачах СП сигнали формуються з урахуванням електромагнітного оточення (активні методи ЕМС).

Один з таких методів забезпечення ЕМС полягає в придушенні перехідних завад, який можливий при паралельній роботі СП по багатопарним телефонним кабелям, що розташовані в одному конструктиві та мають спільну систему керування, яка дозволяє забезпечити контроль за взаємними електромагнітними впливами цих СП. Такий метод придушення перехідних завад на дальньому кінці у СП xDSL, який регламентований Рекомендацією МСЕ-Т G.993.5,отримав назву «векторинг» («vectoring») [7].

Розглянемо методи ЕМС, що використовуються у найсучаснішій СПxDSL –G.fast.

ЕМС СП G.fast з існуючими СП забезпечується шляхом виключення з роботи смуги частот, у якій працюють ці СП (наприклад, при сумісній роботі в одному кабелі з системами VDSL2 системи G.fastне використовують смугу частот нижче 12, 17 або 35 МГц, у залежності від частотного плану існуючих СП VDSL2).

Паралельна робота кількох СП G.fast вимагає використання спеціальних методів. При малій довжині АЛ основною причиною обмеження швидкості передавання СП G.fast є перехідні завади. З оглядом на значну ширину робочої смуги частот СП G.fast, перехідне загасання між парами багатопарного телефонного кабелю, що має частотнозалежний характер, буде призводити до значних перехідних завад на високих частотах при паралельній роботі таких СП, при цьому перехідне загасання на дальній кінець має ще й залежність від довжини АЛ, тому рівень перехідних завад на дальній кінець буде збільшуватися зі зменшенням довжини лінії.

Для боротьби з перехідними завадами на ближньому кінці використовується метод часового розділення зустрічних напрямів передачі (TDD) замість частотного розділення (FDD), який використовувався у технологіях сімейств ADSL та VDSL, що дозволяє цілком виключити вплив даної завади на роботу СП G.fast.

Для придушення перехідних завад на дальньому кінці у СП G.fast використовується метод «векторинг». Як визначено у [8], за допомогою «векторингу» принципово неможливо цілком придушити перехідні завади, отже, швидкість передавання СП G.fast буде визначатися потужністю непридушеної системою «векторинг» перехідної завади. Тому представляє інтерес оцінити потенційно досяжне значення коефіцієнта придушення перехідних завад та швидкості передавання при роботі систем передачі на вітчизняних телефонних багатопарних кабелях.

Порівняння частотних залежностей рівня СГП сумарної перехідної завади на дальньому кінці при 100% завантаженні багатопарних кабелів ТППеп 10х2х0,4 та ТППеп 100х2х0,4 системами передачі за технологією G.fast при довжині абонентської лінії 100 метрів показано на рис. 3. Відповідні частотні залежності захищеності сигналу від сумарної перехідної завади на дальньому кінці показано на рис. 4.

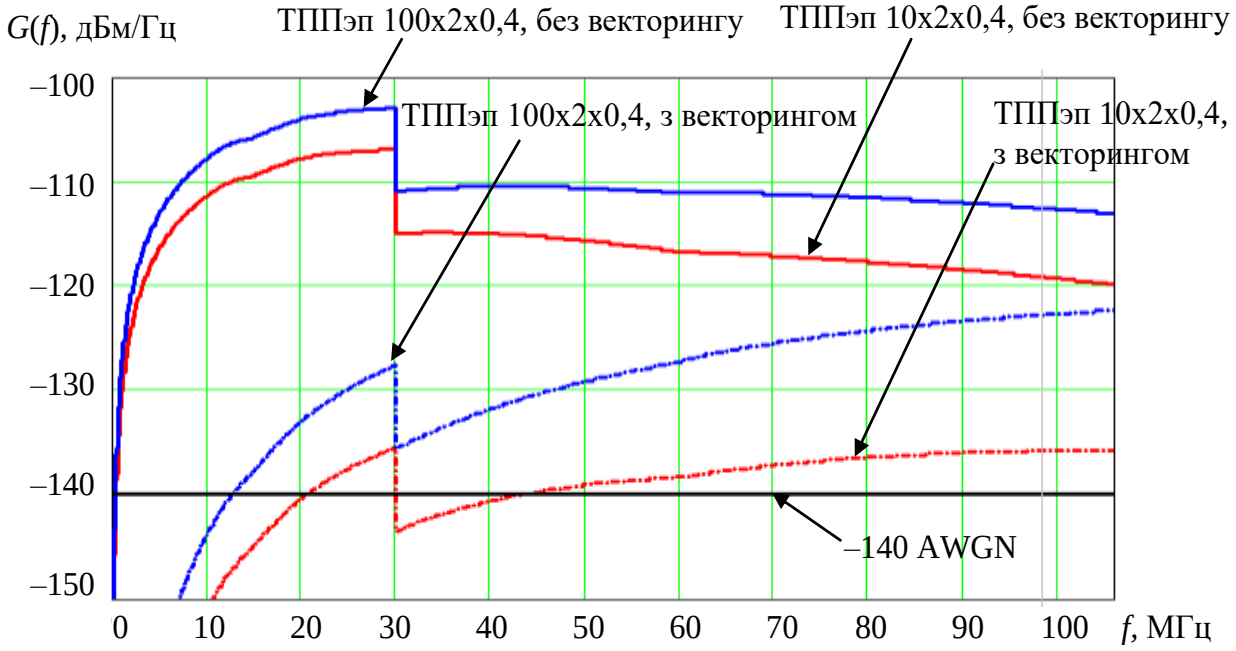

Рисунок 3 – Частотна залежність рівня СГП сумарної перехідної завади на дальньому кінці при 100 % завантаження кабелів ТППеп системами G.fast (довжина лінії 100м)

Захищеність, у кінцевому підсумку, визначатиме швидкість передавання, досяжну системою передачі, тому важливим є не тільки розрахунок захищеності від перехідних завад на дальньому кінці, а й визначення співвідношення між адитивними та перехідними завадами, яке визначатиме результуючу захищеність від сумарної завади. Тому на рис. 3 додатково вказано рівень адитивних завад «–140AWGN» (рівень СГП яких є рівномірним та дорівнює –140дБм/Гц), який відповідає відсутності зовнішніх адитивних завад та визначається макси-

мальною потужністю теплових шумів, а на рис. 4 показано криву захищеності сигналу від цих адитивних завад. Відповідно за наявності джерел додаткових завад рівень адитивної завади буде збільшуватися, а захищеність буде зменшуватися.

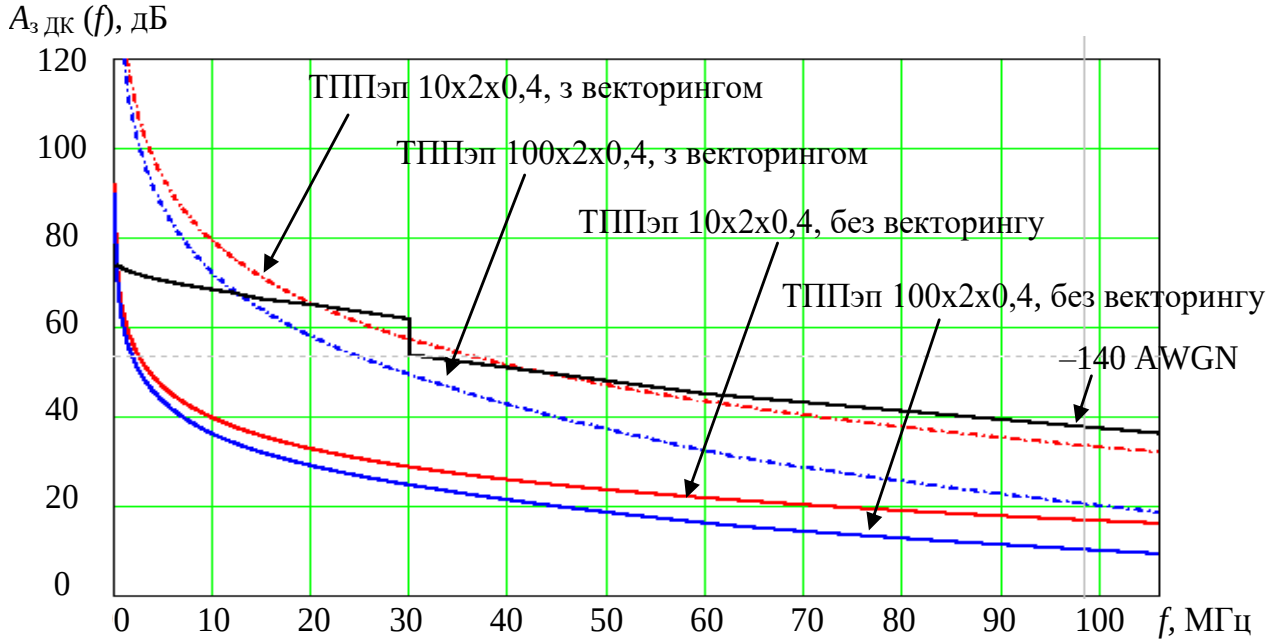

Рисунок 4 – Частотна залежність захищеності від сумарної перехідної завади на дальньому кінці при 100% завантаження кабелів ТППэп системами G.fast (довжина лінії 100 м)

Аналізуючи показані на рис. 3 і 4 результати, можна дійти висновку, що:

– для варіанта без застосування системи «векторинг» перехідні завади значно перевищують адитивні, тому саме вони будуть визначати сумарну захищеність та досяжну системами G.fast швидкість передавання;

– застосування «векторингу» дозволяє суттєво збільшити захищеність сигналу від перехідних завад на дальньому кінці, це збільшення визначається величиною придушення перехідних завад, яке за довжини лінії 100 метрів складає від 11 до 68 дБ в залежності від робочої частоти (від 1 до 106 МГц) та типу кабелю (10…100-парний). Отже, застосування системи «векторинг» дозволяє придушити перехідні завади, відповідно потужність цих завад стає меншою або сумірною з потужністю адитивних завад.

Для визначення ефективності застосування системи «векторинг» визначимо досяжні швидкості передавання СП G.fast без застосування та із застосуванням системи «векторинг».

Швидкість передавання розраховується за методикою, наданою у [9], з урахуванням визначення некомпенсованої векторингом перехідної завади, яка розраховується за методикою, наданою у [8].

Оцінка швидкості передавання СП G.fast проводилася для наступних вихідних даних:

– маска спектра СП G.fast відповідає Рекомендації G.9700 MCE-T [10]:
– план частот до 106 МГц;
– основна частота (відстань між несучими частотами каналів) – 51,75 кГц;
– для забезпечення електромагнітної сумісності з СП ADSL2+ використовуються канали 43…2047;
– кількість відліків інтервалу ортогональності – 4096;
– кількість відліків захисного інтервалу – 320;

– рівень СГП зовнішніх адитивних завад приймався рівномірним (AWGN) та рівним –140 дБм/Гц;
– типи кабелю – ТП-0,4 з кількістю пар 10, 20, 30, 50 та 100;
– завантаження кабелю системами передачі – від 10 до 100 %.

Результати розрахунків швидкості передавання в залежності від довжини лінії, кількості пар у кабелі при 100 % завантаженні системами передачі та за рівня СГП адитивних завад –140 дБм/Гц без застосування та із застосуванням системи компенсації перехідних завад «векторинг» відповідно показано на рис. 5 і 6. А на рис 7 і 8 показано вплив коефіцієнта завантаження кабелю ТППэп 100х2х0,4 на швидкість передавання СП G.fast.

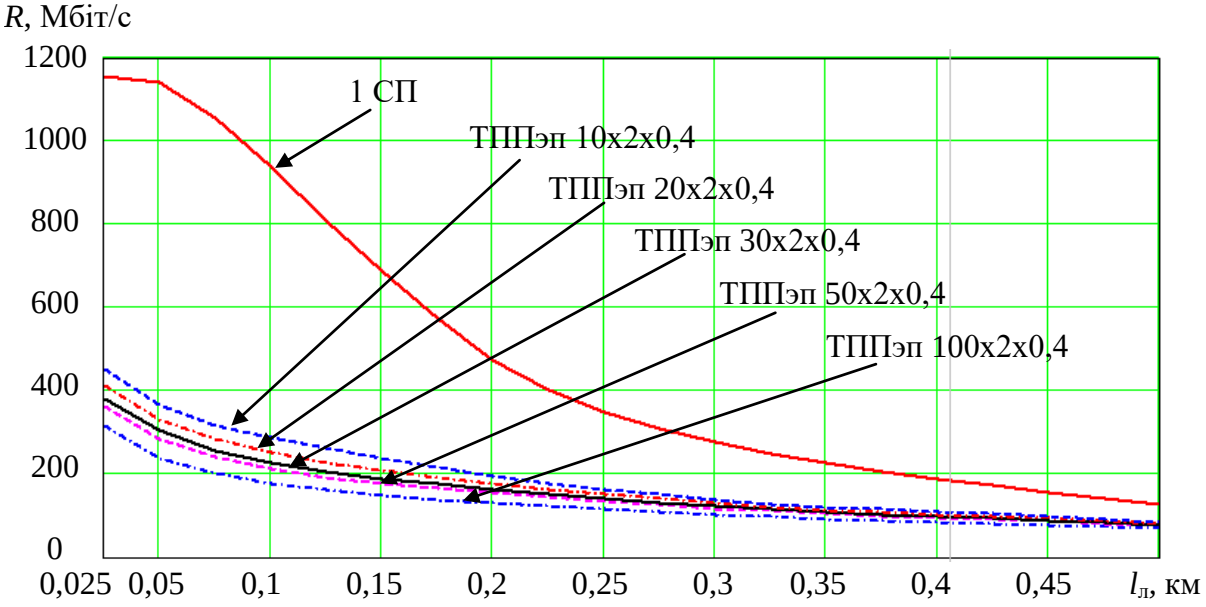

Рисунок 5 – Швидкість передавання СП G.fast без застосування «векторингу» при 100 % завантаженні кабелів ТППеп (AWGN = –140 дБм/Гц)

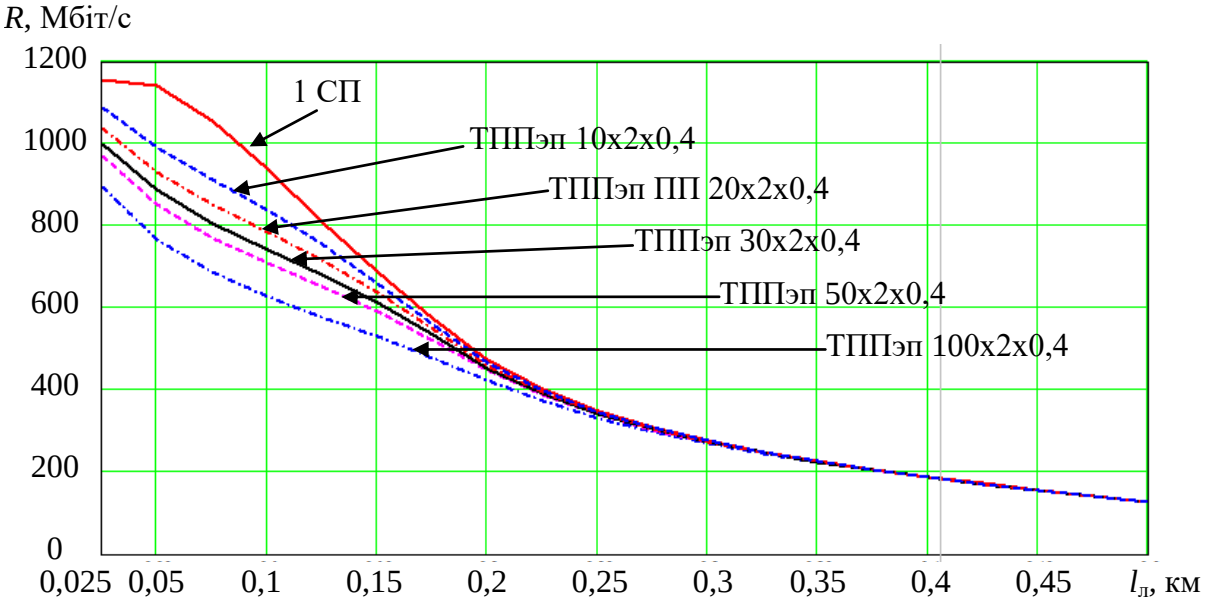

Рисунок 6 – Швидкість передавання СП G.fast із застосуванням «векторингу» при 100 % завантаженні кабелів ТППеп (AWGN = –140 дБм/Гц)

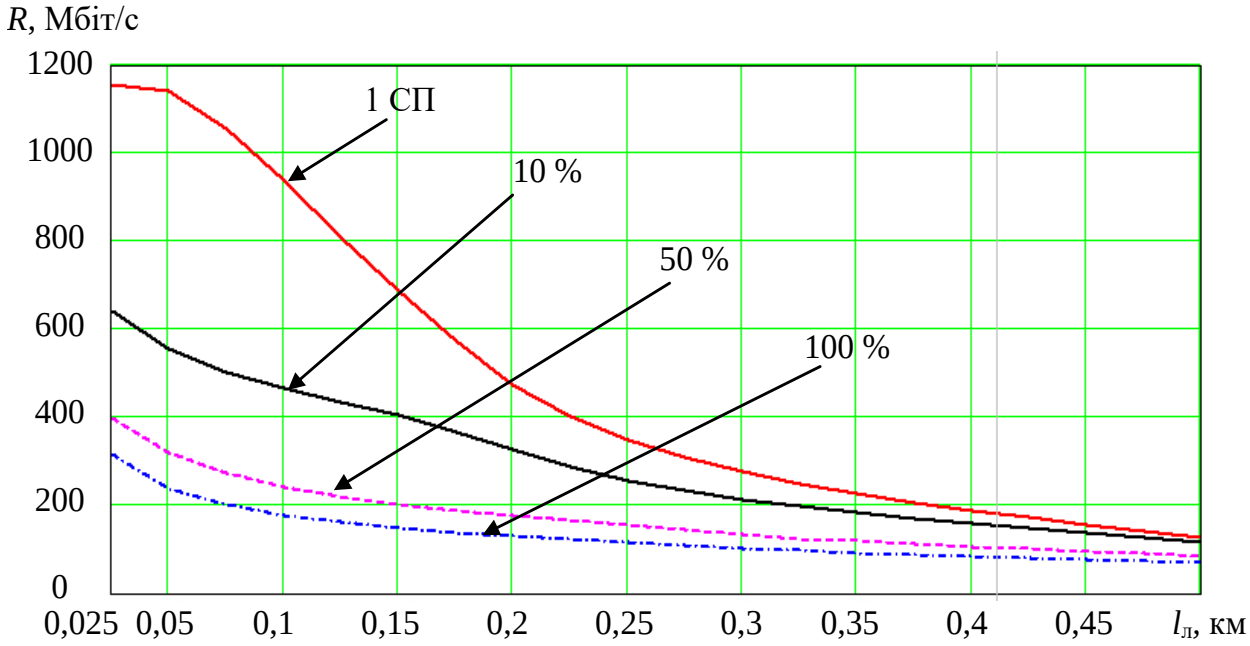

Рисунок 7 – Залежність швидкості передавання СП G.fast без застосування «векторингу» від довжини лінії та коефіцієнта завантаження кабелю ТППеп 100х2х0,4 (AWGN = –140 дБм/Гц)

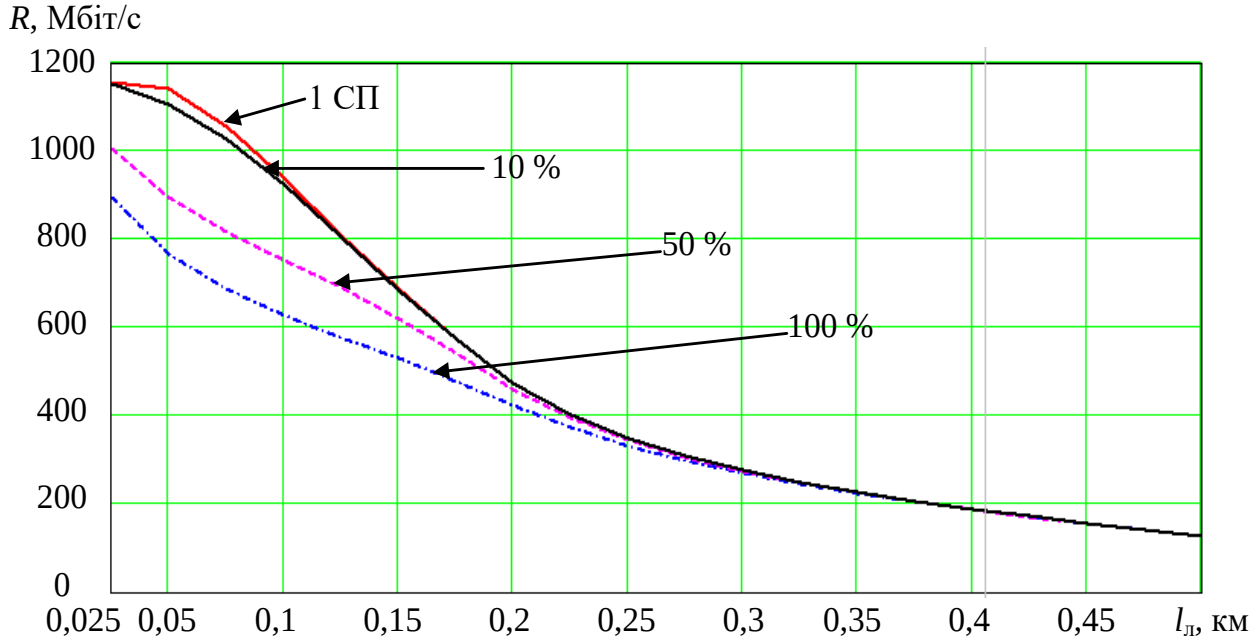

Рисунок 8 – Залежність швидкості передавання СП G.fast із застосуванням «векторингу» від довжини лінії та коефіцієнта завантаження кабелю ТППэп 100х2х0,4 (AWGN = –140 дБм/Гц)

Зазначимо, що на рисунках крива «1 СП» визначає потенційно максимально досяжну швидкість передавання, тобто при роботі 1 системи передачі, коли перехідні завади відсутні, що дає змогу оцінити вплив перехідних завад на швидкість передавання та ефективність застосування системи «векторинг».

Аналіз результатів дослідження швидкості передавання СП G.fast показує, що:

– для СП G.fast перехідні завади є основною причиною зменшення швидкості передавання, так, за відсутності зовнішніх адитивних завад (рівень AWGN не перевищує –140 дБм/Гц) та 100 % завантаження зменшення швидкості передавання досягає

2,5…5разів(за довжини лінії не більше 0,25 км) в залежності від кількості пар у багатопарному кабелі;

– застосування системи компенсації перехідних завад «векторинг» дозволяє суттєво зменшити вплив перехідних завад на швидкість передавання СП G.fast – падіння швидкості, відносно варіанта без перехідних завад «1 СП», не перевищує 30%при 100% завантаженні кабелів системами передачі, тобто порівняно з варіантом без застосування «векторингу» підвищення швидкості досягає 3,5 рази (за відсутності зовнішніх адитивних завад). Отже, застосування технології G.fast на багатопарних телефонних кабелях доцільне лише за умови використання системи «векторинг».

ВИСНОВОК

Згідно з проведеними дослідженнями визначено, що застосування сучасних систем передачі широкосмугового доступу за технологіями xDSL на багатопарних телефонних кабелях лише з використанням класичних методів електромагнітної сумісності є неефективним. Підвищити ефективність сучасних СП можливо за допомогою використання спеціальних методів електромагнітної сумісності, наприклад, таких як система компенсації перехідних завад «векторинг», що доведено моделюванням роботи систем передачі G.fast з «векторингом»по вітчизняним багатопарним телефонним кабелям марки ТППэп. Отримані результати моделювання показали можливість суттєвого придушення перехідних завад при паралельній роботі СП G.fast навіть за 100 % завантаження багатопарного кабелю, відповідно суттєвого збільшення швидкості передавання цих СП.

ЛІТЕРАТУРА

1. World Fixed Broadband Statistics – Q2 2018”. [Електронний ресурс] / [Електронний ресурс] / Point Topic Ltd. – Режим доступа: http://point-topic.com/free-analysis/fixed-broadband-statistics-q2-2018/. – Дата доступу: 20.10.2018. – Заголовок з екрану.

2. G.Fast Delivers Gigabit Broadband Speeds To Customers Over Copper (FTTdp)” / [Електронний ресурс] / TimVerry (2013-08-05) // PC Perspective. – Режим доступу: http://www.pcper.com/news/General-Tech/GFast-Delivers-Gigabit-Broadband-Speeds-Customers-Over-Copper-FTTdp. – Дата доступу: 29.08.2015. – Заголовок з екрану.

3. ITU-T. Recommendation G.9701: Fast access to subscriber terminals (G.fast) – Physical layer specification. [Text]. – Appr. 2014, December. – Geneva, 2014. – 326 p.

4. Балашов В.А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник / Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М., под общей ред. В.А. Балашова. − М.: Эко-Трендз, 2009. – 256 с.

5. Дослідження технології VDSL2 мережі ШСД ПАТ «Укртелеком»: Звіт про НДР / Державне підприємство «Одеський науково-дослідний інститут зв’язку»; керівн. В.О. Балашов; викон.: В. Орєшков [та ін.]. – Одеса, 2017. – 117 с. – № ДР0116U008197; Інв. № 6-11-125.

6. Балашов В.А. Скорость доступа по многопарным телефонным кабелям на базе технологии передачи G.fast / В.А. Балашов, А.М. Зелёный, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, В.И. Орешков, В.Н. Молога // Зв'язок. – 2015. – № 6. – С. 46 – 48.

7. ITU-T. Recommendation G.993.5 : Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers. [Text]. – Appr. 2010, April. – Geneva, 2010. – 80 p.

8. Перспективні телекомунікаційні технології мереж широкосмугового доступу: Монографія / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орєшков, В.В. Педяш, О.С. Решетнікова, А.В. Солдаткіна]. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2016. – 200 с.: 118 рис., 35 табл. ISBN 978-966-2769-98-2.

9. Ляховецький Л.М. Удосконалення методу оцінки швидкості передавання систем передачі ортогональними гармонічними сигналами / Л.М. Ляховецький, В.І. Орєшков, І.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. – № 2. – Частина 2. – С. 186 – 193.

10. ITU-T. Recommendation G.9700: Fast access to subscriber terminals (G.fast) – Power spectral density specification. [Text]. –April. – Geneva, 2014. – 22 p.

REFERENCES

1. World Fixed Broadband Statistics – Q2 2018”. [Elektronniy resurs] / [Elektronniy resurs] / PointTopicLtd. – Access mode: http://point-topic.com/free-analysis/fixed-broadband-statistics-q2-2018/. – Access date: 20.10.2018. – Title screen.

2. G.Fast Delivers Gigabit Broadband Speeds To Customers Over Copper (FTTdp)” / [Elektronniy resurs] / Tim Verry (2013-08-05) // PC Perspective. – Access mode: http://www.pcper.com/news/General-Tech/GFast-Delivers-Gigabit-Broadband-Speeds-Customers-Over-Copper-FTTdp. – Access date: 29.08.2015. – Title screen.

3. ITU-T. Recommendation G.9701: Fast access to subscriber terminals (G.fast) – Physical layer specification. [Text]. – Appr. 2014, December. – Geneva, 2014. – 326 p.

4. Balashov V.A. Tekhnologii shirokopolosnogo dostupa xDSL. Inzhenerno-tekhnicheskiy spravochnik / Balashov V.A., Lashko A.G, Lyakhovetskiy L.M., pod obshchey red. V.A. Balashova. − M.: Eko-Trendz, 2009. – 256 s.

5. Doslidzhennya tekhnolohiyi VDSL2 merezhi SHSD PAT «Ukrtelekom»: Zvit pro NDR / Derzhavne pidpryyemstvo «Odes′kyy naukovo-doslidnyy instytut zv″yazku»; kerivn. V.O. Balashov; vykon.: V. Oryeshkov [ta in.]. – Odesa, 2017. – 117 s. – № DR0116U008197; Inv. № 6-11-125.

6. Balashov V.A. Skorost' dostupa po mnogoparnym telefonnym kabelyam na baze tekhnologii peredachi G.fast / V.A. Balashov, A.M. Zelenyy, A.G. Lashko, L.M. Lyakhovetskiy, V.I. Oreshkov, V.N. Mologa // Zv'yazok. – 2015. – № 6. – S. 46 – 48.

7. ITU-T. Recommendation G.993.5 : Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers. [Text]. – Appr. 2010, April. – Geneva, 2010. – 80 p.

8. Perspektyvni telekomunikatsiyni tekhnolohiyi merezh shyrokosmuhovoho dostupu: monohrafyya / [V.O. Balashov, A.H. Lashko, L.M. Lyakhovets′kyy, V.I. Oryeshkov, V.V. Pedyash, O.S. Reshetnikova, A.V. Soldatkina] – Odesa: KUPRIYENKO SV, 2016 – 200 s.: 118 rys., 35 tabl. ISBN 978-966-2769-98-2

9. Lyakhovets′kyy L.M. Udoskonalennya metodu otsinky shvydkosti peredavannya system peredachi ortohonal′nymy harmonichnymy syhnalamy / L.M. Lyakhovets′kyy, V.I. Oryeshkov, I.B. Barba // Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova. – 2014. – № 2. – Chastyna 2. – S. 186 – 193.

10. ITU-T. Recommendation G.9700: Fast access to subscriber terminals (G.fast) – Power spectral density specification. [Text]. – Appr. 2014, April. – Geneva, 2014. – 22 p.