

УДК 621.391

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ VDSL2 З ОПЦІЄЮ «ВЕКТОРИНГ» НА МЕРЕЖІ ПАТ «УКРТЕЛЕКОМ»

Орешков В.І.

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ VDSL2 С ОПЦИЕЙ «ВЕКТОРИНГ» НА СЕТИ ПАО «УКРТЕЛЕКОМ»

Орешков В.И.

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

EFFICIENCY OF THE IMPLEMENTATION OF VDSL2 TECHNOLOGY WITH «VECTORING» OPTION ON THE PJSC «UKRTELECOM» NETWORK

Oreshkov V.I.

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

Анотація. Модернізація телекомунікаційної мережі ПАТ «Укртелеком» передбачає реалізацію концепції FTTC на мережі доступу з впровадженням технології VDSL2. Ефективність впровадження технології VDSL2 на мережі доступу ПАТ «Укртелеком» визначається швидкістю передавання, яку може забезпечити система передачі (СП), що реалізує дану технологію. Швидкість передавання залежить від багатьох чинників, основними з яких є довжина абонентської лінії (АЛ), тип кабелю та кількість паралельно працюючих у кабелі систем передачі. У даній статті основну увагу приділено дослідженню залежності граничних значень швидкості передавання систем передачі за технологією VDSL2 (СП VDSL2) від розкиду значень параметрів для різних пар кабелю ТППеп 10x2x0,4 та оцінці ефективності впровадження технології VDSL2 з опцією «векторинг» на мережі доступу ПАТ «Укртелеком». Надано оцінки середніх, максимальних та мінімальних швидкостей передавання СП VDSL2 у залежності від довжини АЛ, рівня зовнішніх адитивних завад та кількості паралельно працюючих систем передачі по телефонному кабелю ТППеп 10x2x0,4 для варіантів роботи СП VDSL2 без компенсації перехідних завад та із застосуванням опції «векторинг». Доведено ефективність застосування «векторингу» при впровадженні технології VDSL2 на мережі доступу ПАТ «Укртелеком». Обґрунтовано можливість підвищення ефективності впровадження технології VDSL2 без застосування опції «векторинг» за рахунок відбору пар багатопарного кабелю з кращими характеристиками у випадках, коли кількість паралельно працюючих систем передачі у кабелі не перевищує 50%.

Ключові слова: технологія VDSL2, «векторинг», швидкість передавання, система передачі, перехідні завади, коефіцієнт завантаження, телефонний кабель.

Аннотация. Модернизация телекоммуникационной сети ПАО «Укртелеком» предусматривает реализацию концепции FTTC на сети доступа с внедрением технологии VDSL2. Эффективность внедрения технологии VDSL2 на сети доступа ПАО «Укртелеком» определяется скоростью передачи, которую может обеспечить система передачи (СП), реализующая данную технологию. Скорость передачи зависит от многих факторов, основными из которых являются длина абонентской линии (АЛ), тип кабеля и количество параллельно работающих в кабеле систем передачи. В данной статье основное внимание уделено исследованию зависимости предельных значений скорости передачи систем передачи по технологии VDSL2 (СП VDSL2) от разброса значений параметров для различных пар кабеля ТППэп 10x2x0,4 и оценке эффективности внедрения технологии VDSL2 с опцией «векторинг» на сети доступа ПАО «Укртелеком». Предоставлено оценки средних, максимальных и минимальных скоростей передачи СП VDSL2 в зависимости от длины АЛ, уровня внешних

Орешков В.І.

25

аддитивних помах и количества параллельно работающих систем передачи по телефонному кабелю ТППэп 10x2x0,4 для вариантов работы СП VDSL2 без компенсации переходных помех и с применением опции «векторинг». Доказана эффективность применения «векторинга» при внедрении технологии VDSL2 на сети доступа ПАО «Укртелеком». Обоснована возможность повышения эффективности внедрения технологии VDSL2 без применения опции «векторинг» за счет отбора пар многопарного кабеля с лучшими характеристиками в случаях, когда количество параллельно работающих систем передачи в кабеле не превышает 50%.

Ключевые слова: технология VDSL2, «векторинг», скорость передачи, система передачи переходных помехи, коэффициент загрузки, телефонный кабель.

Abstract. The modernization of the PJSC «Ukrtelecom» telecommunication network provides the implementation of the FTTC concept on the access network using VDSL2 technology. The efficiency of the VDSL2 technology implementation on the PJSC «Ukrtelecom» access network is determined by the transmission rate that can be provided by the transmission system (TS) which is implementing this technology. The transmission rate depends on many factors, the main of which are the subscriber line length, the cable type and the number of transmission systems that parallel operate in cable. This paper focuses on research of the dependence of the transmission rate limiting values of the transmission systems using the VDSL2 technology (VDSL2 TS) on the variation of the parameters values for different pairs of the TPPep 10x2x0.4 cable and efficiency evaluation of the implementation of the VDSL2 technology with the «vectoring» option on the PJSC «Ukrtelecom» access network. It was determined that the main factor affecting the achievable transmission rate of the VDSL2 TS without using the «vectoring» option is crosstalk, the level of which increases in proportion to the cable load coefficient by the transmission systems. The estimates of the average, maximum and minimum transmission rates of the VDSL2 TS depending on the subscriber line length, the external additive noises and the number of transmission systems that operate in parallel over TPPep 10x2x0.4 telephone cable for the VDSL2 TS without crosstalk compensation and VDSL2 TS using the «vectoring» option operation variants are provided. It was determined that the variation of the parameters values for different cable pairs significantly affects the achievable transmission rate of the VDSL2 TS operating by these pairs. The «vectoring» application efficiency in the implementation of VDSL2 technology on the PJSC «Ukrtelecom» access network is proved. It is necessary to consider near-end crosstalk in the method of calculating the transmission rate when applying the «vectoring» compensation crosstalk algorithm is determined. The possibility of the efficiency increasing of the implementation of VDSL2 technology without using the «vectoring» option by selecting pairs of the multi-pair cable with better characteristics in cases where the number of transmission systems that parallel operate in that cable does not exceed 50% is substantiated.

Key words: VDSL2 technology, «vectoring», transmission rate, transmission system, crosstalk, loading coefficient, telephone cable.

За останні два роки телекомунікаційна мережа найбільшого в Україні оператора телекомунікаційних послуг ПАТ «Укртелеком» зазнала значних змін – глобальної модернізації на всіх її рівнях. Першим етапом даної модернізації стала реалізація проекту «В6» – модернізація телекомунікаційної мережі шістьох найбільших міст України: Київ, Дніпро, Харків, Одеса, Львів та Запоріжжя [1]. Від успішної реалізації проекту «В6» залежить подальший напрям розвитку ПАТ «Укртелеком» у межах всієї країни.

Значних змін зазнала мережа доступу. До початку модернізації основною технологією, яка забезпечувала підключення абонентів до послуг широкосмугового доступу (ШД), була технологія ADSL2+, що пояснювалося наявністю у ПАТ «Укртелеком» потужної мережі абонентських ліній (АЛ), побудованих з використанням багатопарних телефонних кабелів (на вітчизняних мережах це переважно є кабелі типу ТПП), довжина яких досягала 2,5 км, а в окремих випадках і більше. При цьому максимальна швидкість передавання даних складала 24 Мбіт/с у низхідному напрямку (downstream, DS) та до 3 Мбіт/с у висхідному (upstream, US), але реальна швидкість залежала від рівня завад, характеристик АЛ та коефіцієнта завантаження (КЗ) багатопарного телефонного кабелю системами передачі (СП), що паралельно працюють у даному кабелі [2].

Модернізація мережі доступу полягала у перебудові з класичного варіанта, коли вузол доступу встановлювався на телефонній станції, на варіант з винесенням вузла доступу до розподільної шафи (концепція FTTC – Fiber to the Curb). Отже, відбулася часткова заміна мідних АЛ на волоконно-оптичний кабель, що обумовило можливість впровадження більш швидкісної технології ШД ніж ADSL2+ – технології VDSL2, яка може забезпечити сумарну

швидкість передавання даних (до абонента і від абонента) до 150 Мбіт/с [3]. Збільшення швидкості порівняно з технологією ADSL2+ досягається за рахунок зменшення довжини абонентської лінії. За проектом вузли доступу розміщувалися таким чином, щоб довжина АЛ не перевищувала 500 м (середня довжина АЛ склала 375 м), відповідно це дозволило виконувати заміну не всіх «традиційних» розподільних шаф (РШ) на нові «активні шафи» (шафи з активним обладнанням вузлів доступу, як правило MSAN), а лише «ключових», тобто відбувалася оптимізація структури мережі доступу за техніко-економічними показниками [4]. Наприклад, в Одесі до модернізації було близько 1500 розподільних шаф, а після модернізації залишилося 500 пасивних РШ та встановлено 390 активних РШ (вузлів доступу), відповідно загальна кількість РШ зменшилася на 40%.

Стратегічною метою модернізації мережі з точки надання послуг ставилося забезпечення абонентів якісним сервісом доступу до мережі Інтернет з гарантованою швидкістю 50 Мбіт/с. З метою обґрунтування можливості забезпечення зазначеної швидкості було проведено дослідження ефективності застосування технології VDSL2 на мережі ПАТ «Укртелеком», результати показали, що швидкість 50 Мбіт/с можна забезпечити за певних умов, в першу чергу, за відповідності параметрів вітчизняних багатопарних кабелів установленим нормам [4, 5].

Як зазначено вище, швидкість передавання СП за технологіями xDSL суттєво залежить від:

- характеристик АЛ – довжини та типу кабелю, які визначають величину власного загасання й загасання перехідних завад;
- КЗ багатопарного телефонного кабелю – кількості паралельно працюючих СП, яка визначає рівень перехідних завад.

І якщо на першу умову вплинути практично неможливо, вона визначається планом модернізації мережі: розташуванням активних РШ з метою обмеження довжини 500 метрами та збереження існуючих кабелів на розподільній ділянці (від вузла доступу до приміщення абонента), то друга умова дає можливість підвищити ефективність впровадження технології VDSL2 на мережі ПАТ «Укртелеком» за рахунок застосування опції «векторинг». «Векторинг» (*vectoring*) – це система компенсації перехідних завад, що реалізована у СП xDSL і регламентована Рекомендацією MCE-T G.993.5 [6].

Застосування «векторингу» при роботі СП VDSL2 найпоширенішими на вітчизняних телефонних мережах кабелях ТПП-0,4 пучкового скручення вже розглядалося, наприклад, у роботі [7] отримано загальний аналітичний вираз, який визначає некомпенсовану перехідну заваду для випадків застосування опції «векторинг» на 10, 20 та 30-парних кабелях пучкового скручення та оцінено усереднені значення досяжної СП VDSL2 швидкості передавання без та із застосуванням «векторингу». Але у [7] не враховувався розкид значень параметрів для різних пар кабелю (середньоквадратичне відхилення параметрів передачі та взаємного впливу від середнього значення σ), відповідно не визначалися граничні значення досяжних швидкостей. Також при розрахунку швидкості враховувалися тільки перехідні завади на дальній кінець, вважалося, що перехідні завади на ближній кінець на швидкість передавання суттєво не впливають, але таке твердження справедливе при роботі СП без опції «векторинг». Застосування «векторингу» дозволяє придушити лише перехідні завади на дальньому кінці, відповідно вплив перехідних завад на ближньому кінці стає більш суттєвим і їх необхідно враховувати разом з некомпенсованою «векторингом» завадою на дальньому кінці.

Метою даної статті є визначення граничних значень швидкості передавання СП за технологією VDSL2 з урахуванням розкиду значень параметрів для різних пар кабелю ТППеп 10x2x0,4 та оцінка ефективності впровадження технології VDSL2 з опцією «векторинг» на мережі ПАТ «Укртелеком».

Вихідні дані для дослідження визначалися згідно з роботою [4]:

- СП VDSL2 з частотним планом В8-6 [998-M2x-B];
- частотні характеристики параметрів передачі і взаємного впливу визначалися для телефонних кабелів виробництва ПАТ «Одескабель» ТППеп 10x2x0,4 у діапазоні частот від 1 до 30 МГц, які знаходилися в експлуатації від 8 до 12 років;

- довжина абонентської лінії – 0,1...0,5 км;
- КЗ кабелю системами передачі – 10, 30, 50 та 100%;
- зовнішні завади враховувалися як адитивний білий гауссівський шум (AWGN) з рівнем спектральної густини потужності (СГП) -140...-120 дБм/Гц.

У відповідності з вихідними даними швидкість передавання будемо визначати для СП за технологією VDSL2 з тим частотним планом, який використовується на мережі ПАТ «Укртелеком» – план В8-6 [998-M2x-B], що забезпечує найкращу електромагнітну сумісність з існуючими на мережі СП ADSL2+ Annex M (найпоширеніший на мережі тип СП). Тип кабелю ТППеп з діаметром жил 0,4 мм є найбільш поширеним на мережі ПАТ «Укртелеком», у роботі [4] надані результати вимірювання всіх необхідних для визначення швидкості передавання частотних характеристик параметрів передачі і взаємного впливу в робочому діапазоні частот СП VDSL2. Необхідно відзначити, що дослідження з використанням кабелів, які тривалий час знаходилися в експлуатації, відповідає умовам впровадження технології VDSL2 при модернізації існуючої мережі – однією з цілей якої є збереження значної частини кабельної інфраструктури.

Коефіцієнти завантаження обиралися з наступних міркувань: 10% – це 1 СП у десятипарному кабелі, тобто перехідні завади відсутні; 30% – це відсоток завантаження, який планується досягти оператором у найближчі роки; 50 та 100% – це показові значення відповідно половинне та максимальне завантаження кабелю.

Рівень СГП завад визначався у межах реальних значень вимірюваних на діючій мережі, умовно можна вважати, що рівень AWGN = -140 дБм/Гц відповідає випадку відсутності зовнішніх завад (визначається максимальною потужністю теплових шумів), а рівень AWGN = -120 дБм/Гц – їх наявності.

Визначення швидкості передавання СП VDSL2 виконувалося за методикою розглянутою у [7].

На рис. 1 та 2 показано результати залежності середньої по всіх парах кабелю ТППеп 10x2x0,4 швидкості передавання СП VDSL2 від довжини АЛ без та із застосуванням «векторингу», відповідно за рівня СГП зовнішніх завад -140 і -120 дБм/Гц.

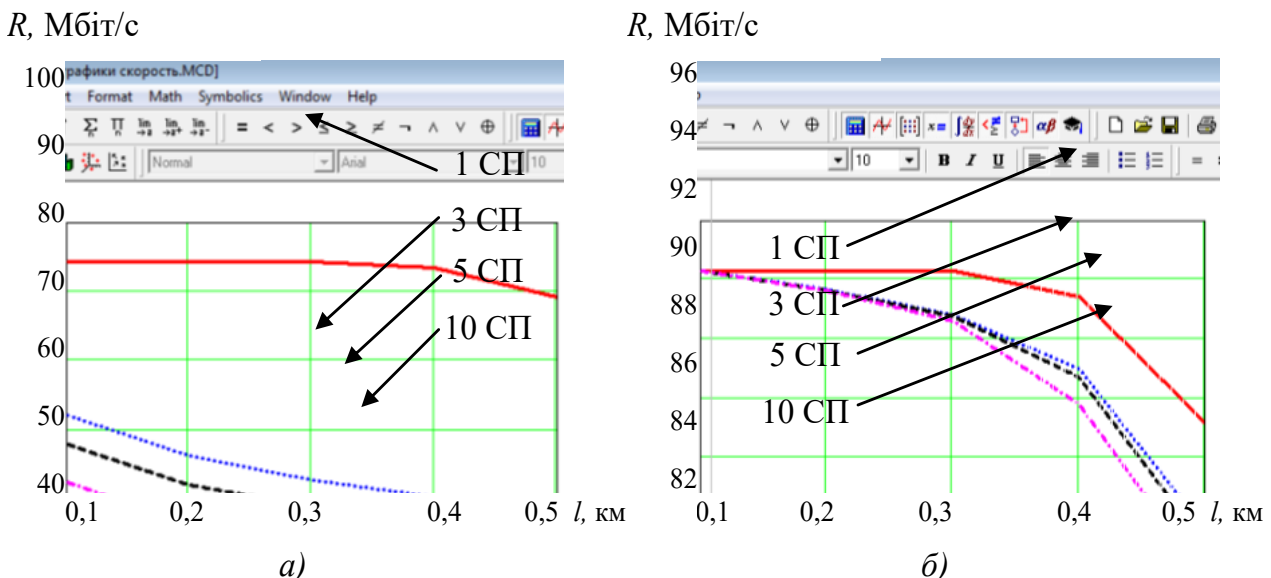


Рисунок 1 – Середня швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку при роботі по кабелю ТППеп 10x2x0,4: а) без «векторингу»; б) з «векторингом» (AWGN = -140 дБм/Гц)

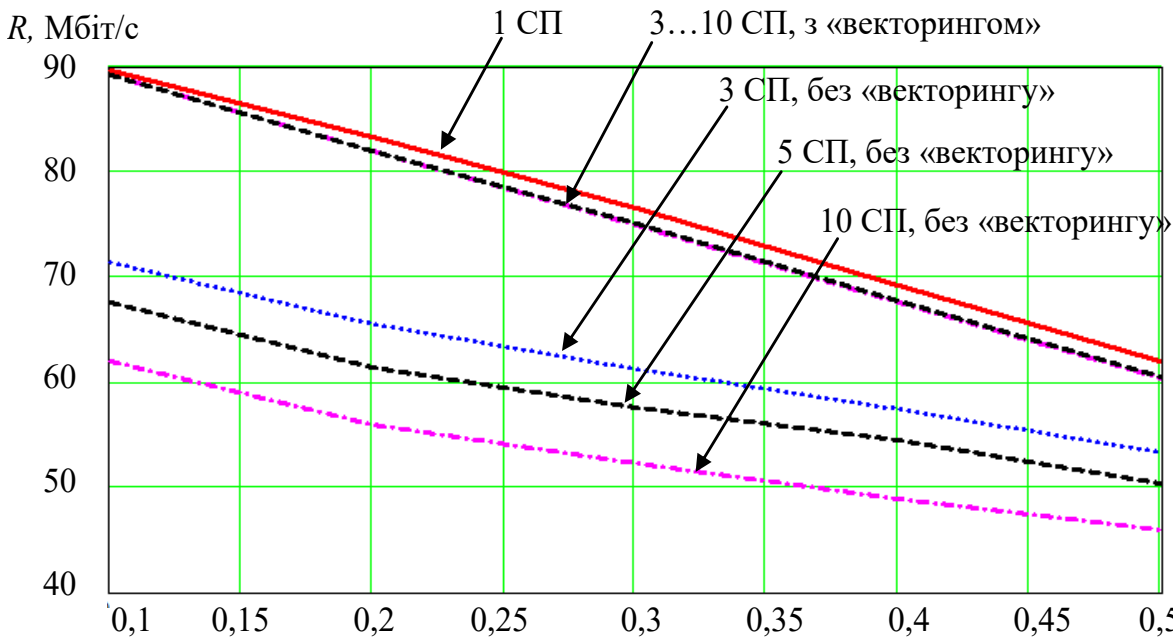


Рисунок 2 – Середня швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку при роботі по кабелю ТППеп 10х2х0,4 (AWGN = -120 дБм/Гц)

За результатами розрахунку середньої швидкості передавання у низхідному напрямку можна зробити наступні висновки:

- за відсутності перехідних завад середня швидкість передавання (це графіки позначені як «1 СП») в залежності від довжини АЛ знаходиться в межах 89...94 Мбіт/с за відсутності зовнішніх адитивних завад (AWGN = -140 дБм/Гц); за наявності зовнішніх адитивних завад (AWGN = -120 дБм/Гц) швидкість зменшується на 5...33% і становить 60...90 Мбіт/с;

- перехідні завади суттєво впливають на швидкість, так навіть при КЗ = 30% («3 СП») швидкість, порівняно з варіантом без перехідних завад, зменшується на 15...35%, а при максимальному КЗ = 100% («10 СП») може досягати 46%, у залежності від довжини АЛ та рівня зовнішніх завад;

- застосування опції «векторинг» для СП VDSL2 дозволяє придушити перехідні завади на дальньому кінці настільки, що зменшення швидкості не перевищує 6% за будь-яких умов, а за рівня зовнішніх завад -120 дБм/Гц навіть не залежить від коефіцієнта завантаження кабелю системами передачі;

- за рівня СПП зовнішніх завад -120 дБм/Гц заплановану ПАТ «Укртелеком» середню швидкість 50 Мбіт/с без застосування системи компенсації перехідних завад можливо забезпечити на відстані 500 метрів лише при КЗ = 50%, а при максимальному КЗ лише на відстані до 370 метрів.

Реальна швидкість передавання в залежності від використання конкретної пари кабелю може бути більшою або меншою за визначену вище середню. Результати розрахунку мінімальної та максимальної швидкостей передавання з урахуванням розкиду значень параметрів для різних пар кабелю ТППеп 10х2х0,4 за відсутності перехідних завад (КЗ = 10%, по кабелю працює 1 СП VDSL2) показані на рис. 3.

З рис. 3 випливає, що в залежності від параметрів конкретної пари кабелю розкид значень швидкостей може досягати 2,6 Мбіт/с та 3,5 Мбіт/с за рівня СПП зовнішніх завад -140 дБм/Гц та -120 дБм/Гц відповідно.

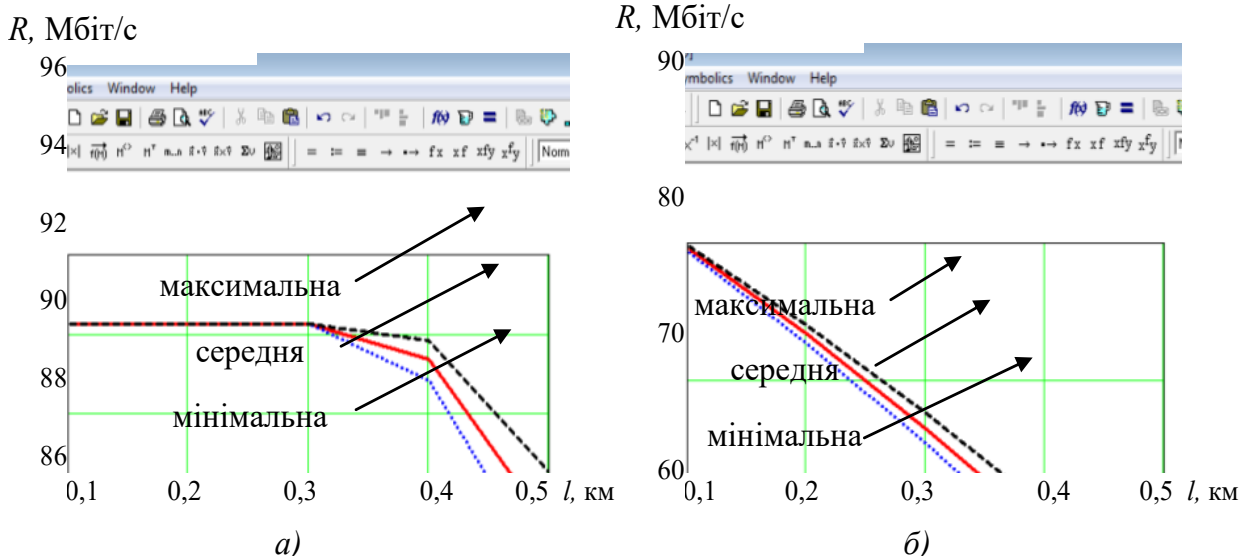


Рисунок 3 – Швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку в залежності від параметрів пари кабелю за відсутності перехідних завад: а) AWGN = -140 дБм/Гц; б) AWGN = -120 дБм/Гц (ТППеп 10x2x0,4; КЗ = 10%)

Ще більш значний розкид значень швидкостей передавання буде за умови паралельної роботи кількох СП, що підтверджується результатами, наданими на рис. 4...7.

Розглянемо два варіанти завантаження кабелю: запланований ПАТ «Укртелеком» на найближчі роки – 30% (див. рис. 4 та 6) та максимально можливий – 100% (див. рис. 5 та 7), при досягненні якої мережа буде потребувати якісних змін, наприклад, подальшої модернізації та переходу до більш ефективних телекомунікаційних технологій.

Аналіз результатів розрахунку розкиду значень швидкостей передавання СП VDSL2 без використання «векторингу» дозволяє дійти наступних висновків:

- при $KЗ = 100\%$ різниця між мінімальною та максимальною швидкостями передавання становить 6...7 Мбіт/с і значно не залежить від рівня зовнішніх завад та довжини лінії, відповідно у відсотках розкид значень відносно середнього значення швидкості передавання становить $\pm 5...7,5\%$;

- при $KЗ = 30\%$ різниця між мінімальною та максимальною швидкостями передавання становить 22...26 Мбіт/с і також значно не залежить від рівня зовнішніх завад та довжини лінії, у відсотках розкид значень відносно середнього становить $\pm 15...23\%$;

- порівнюючи результати при $KЗ = 100\%$ та 30% бачимо, що розкид значень швидкостей більший при меншому коефіцієнті завантаження (для розглянутих варіантів у 3...4 рази), що пояснюється наявністю можливості вибору робочих пар. Так, за повного завантаження кабелю системами передачі вибору немає – використовуються всі пари і з кращими параметрами, і з гіршими, відповідно маємо СП зі швидкостями в усьому діапазоні від мінімальної до максимальної, в результаті одна частина абонентів буде мати швидкості менші за середню, а друга – більші за середню. У цьому випадку гарантована швидкість передавання всій групі абонентів визначається мінімальною швидкістю. Отже, не для всіх абонентів можливо забезпечити цільову швидкість 50 Мбіт/с, відповідно застосування «векторингу» є необхідним. При завантаженні 30% ситуація інша – з 10 пар кабелю необхідно використовувати лише 3, отже, є вибір – можна обрати 3 кращі пари та отримати по кожній з цих пар швидкості більші за середню, найкраща з яких буде відповідати максимуму, а можна обрати 3 найгірші та отримати швидкості менші за середню, найгірша з яких відповідає мінімуму. З цього отримуємо важливий результат: можливо забезпечити швидкість передавання більшу за середню для всіх робочих пар кабелю СП, якщо $KЗ$ не перевищує 50%.

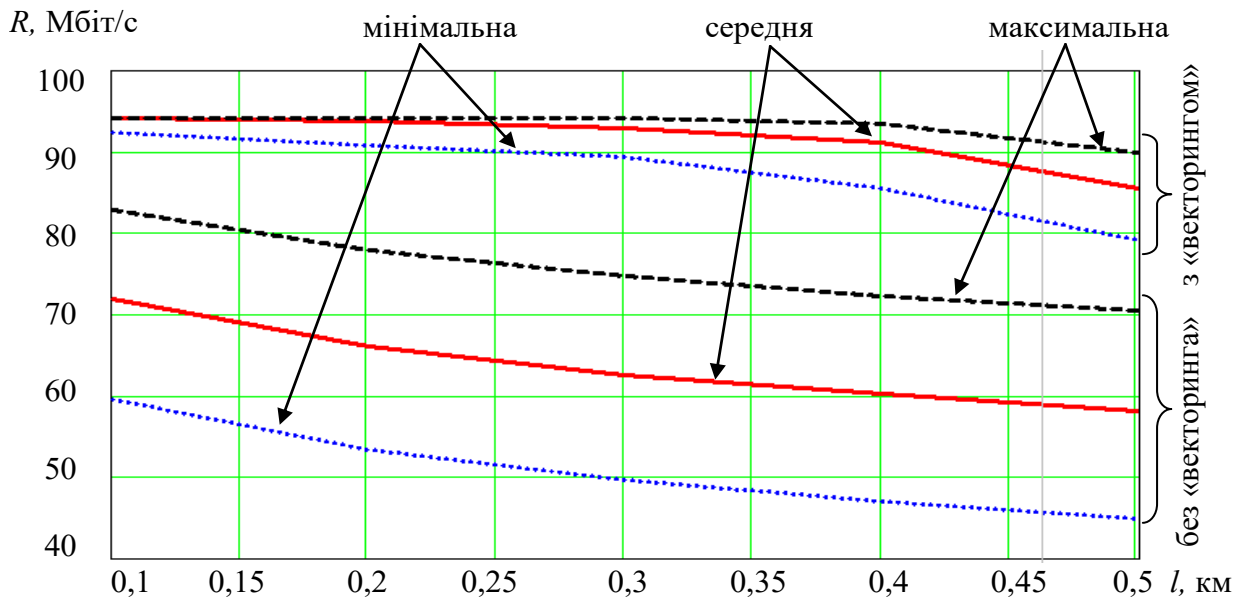


Рисунок 4 – Швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку в залежності від параметрів пар кабелю (ТППеп 10x2x0,4; КЗ = 30%; AWGN = -140 дБм/Гц)

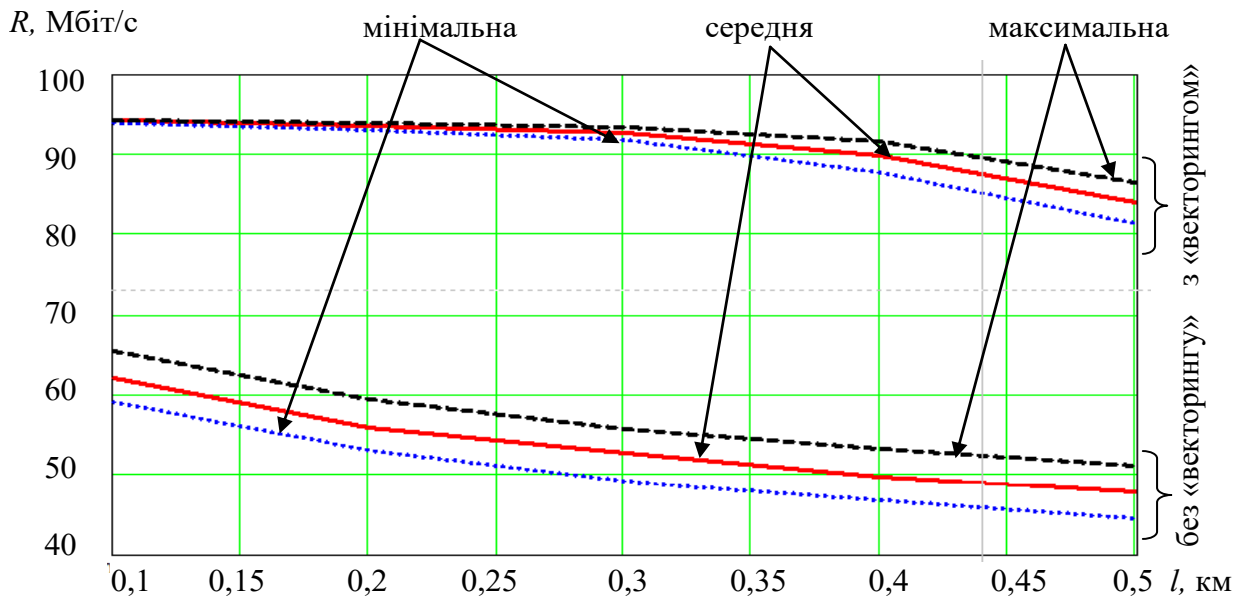


Рисунок 5 – Швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку в залежності від параметрів пар кабелю (ТППеп 10x2x0,4; КЗ = 100%; AWGN = -140 дБм/Гц)

Для СП VDSL2 з використанням «векторингу» отримуємо наступні результати:

- при $KЗ = 100\%$ різниця між мінімальною та максимальною швидкостями передавання не перевищує 5 Мбіт/с, у відсотках розкид значень відносно середнього значення швидкості передавання не перевищує $\pm 4\%$;
- при $KЗ = 30\%$ різниця між мінімальною та максимальною швидкостями передавання досягає 10 Мбіт/с, у відсотках розкид значень відносно середнього становить $\pm 2 \dots 11,5\%$;
- менший розкид значень швидкостей при застосуванні «векторингу» пояснюється тим, що некомпенсована «векторингом» завада завжди значно менша за вихідну заваду (до застосування алгоритму її компенсації), а тому і розкид значень параметрів пар кабелю в результаті менше впливає на розкид значень швидкостей, досяжних по цих парах.

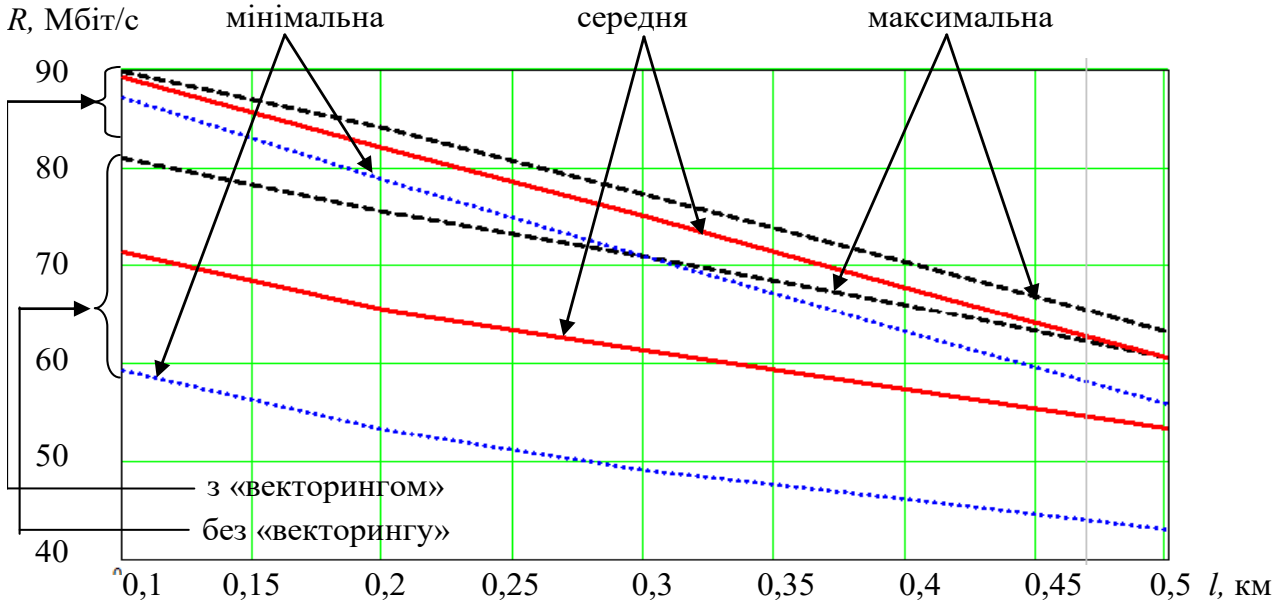


Рисунок 6 – Швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку в залежності від параметрів пар кабелю (ТППеп 10x2x0,4; КЗ = 30%; AWGN = -120 дБм/Гц)

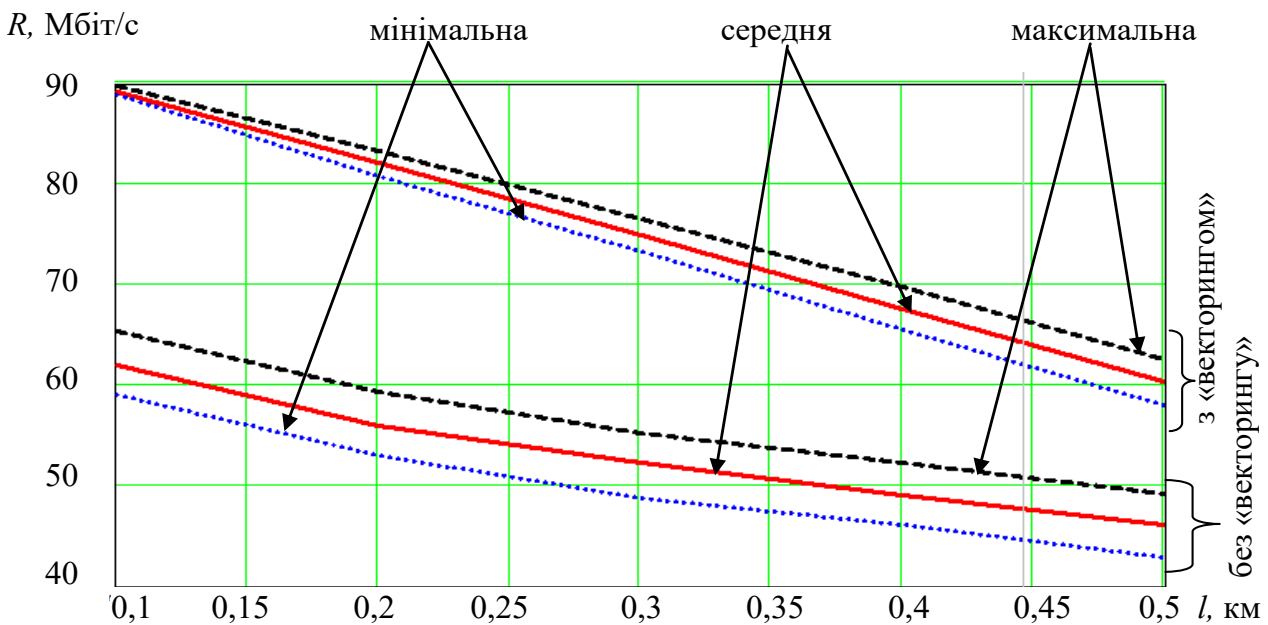


Рисунок 7 – Швидкість передавання СП VDSL2 у низхідному напрямку в залежності від параметрів пар кабелю (ТППеп 10x2x0,4; КЗ = 100%; AWGN = -120 дБм/Гц)

Порівнюючи результати розрахунку швидкості передавання СП VDSL2 з опцією «векторинг» та СП VDSL2 без компенсації перехідних завад можна зазначити наступне:

– різниця між мінімальними швидкостями варіантів без та з «векторингом» більша ніж між максимальними швидкостями, що також (як і вище) пояснюється меншим розкидом значень швидкостей відносно середньої швидкості для варіанта з «векторингом». Отже, ефективність застосування «векторингу» вища для мінімальних (гарантованих) швидкостей передавання ніж для максимально досяжних;

– ефективність застосування «векторингу» збільшується зі збільшенням КЗ кабелю системами передачі, так, при КЗ = 30% застосування «векторингу» дозволяє збільшити швидкість передавання у середньому на 30...50% за рівня AWGN = -140 дБм/Гц та на 15...25% за рівня AWGN = -120 дБм/Гц, а при КЗ = 100% – на 50...75% та 30...45% відповідно;

– зі збільшенням рівня зовнішніх завад ефективність застосування «векторингу» зменшується, так за рівня зовнішніх завад -120 дБм/Гц ефективність застосування «векторингу» у середньому 1,5...2 рази менша ніж за рівня -140 дБм/Гц;

– розкид значень параметрів пар кабелю дає змогу в певних випадках підвищити ефективність застосування технології VDSL2 без використання опції «векторинг». Така можливість є у випадках, коли КЗ кабелю не перевищує 50%. Згідно з рис. 4, якщо необхідно включити в роботу 3 СП VDSL2 по кабелю ТППеп 10x2x0,4, то за відсутності зовнішніх завад на відстань 500 метрів без відбору пар можливо забезпечити швидкість передавання у середньому 58 Мбіт/с без застосування «векторингу». Застосування «векторингу» дозволить збільшити середню швидкість до 85 Мбіт/с, але придбання опції «векторинг» потребує додаткових витрат. Іншим варіантом є відбір пар з кращими характеристиками, що дозволить збільшити швидкість до 70 Мбіт/с без додаткових капітальних витрат. Якщо рівень зовнішніх завад збільшиться до -120 дБм/Гц (див. рис. 6), тоді без відбору пар можливо забезпечити швидкість передавання у середньому 53 Мбіт/с без застосування «векторингу», із застосуванням «векторингу» середню швидкість можливо збільшити до 60 Мбіт/с, але до тих самих 60 Мбіт/с можливо збільшити швидкість за рахунок відбору пар з кращими характеристиками, отже, застосування «векторингу» у цьому випадку є недоцільним.

На закінчення можна зробити наступні висновки.

За відсутності перехідних та зовнішніх адитивних завад (AWGN = -140 дБм/Гц) середня швидкість передавання в залежності від довжини АЛ знаходиться в межах 89...94 Мбіт/с.

Основним чинником, що впливає на досягну швидкість передавання СП VDSL2 без застосування опції «векторинг», є перехідні завади, рівень яких збільшується пропорційно збільшенню коефіцієнта завантаження кабелю системами передачі. При максимальному КЗ = 100% в залежності від довжини АЛ та рівня зовнішніх завад зменшення швидкості передавання відносно варіанта відсутності перехідних завад (працює 1 СП) може досягати 46%. Збільшення рівня зовнішніх адитивних завад до -120 дБм/Гц призводить до зменшення швидкості на 5...33%.

Розкид значень параметрів для різних пар кабелю суттєво впливає на досягну швидкість передавання СП VDSL2, що працюють по цих парах, так, різниця між мінімальною та максимальною швидкостями передавання за певних умов може досягати 27 Мбіт/с, що у відсотках відносно середньої швидкості передавання становить $\pm 45\%$.

Зі збільшенням завантаження кабелю системами передачі різниця між мінімальною та максимальною швидкостями передавання зменшується, що пояснюється зменшенням варіантів вибору робочих пар, так, при КЗ = 100% розкид значень швидкостей менший у 3...4 рази ніж при КЗ = 30%.

Застосування «векторингу» дозволяє значно підвищити ефективність роботи СП VDSL2, так, у певних випадках можливо отримати швидкість передавання на 75% більшу ніж для варіанта роботи СП VDSL2 без застосування опції «векторинг». А зменшення швидкості відносно варіанта роботи без перехідних завад не перевищує 6%.

Відзначимо необхідність враховувати перехідні завади на ближньому кінці в методиці розрахунку швидкості передавання при застосуванні алгоритму компенсації перехідних завад «векторинг», який дозволяє компенсувати лише перехідні завади на дальньому кінці.

Врахування розкиду значень параметрів пар кабелю дозволило дійти важливих висновків: якщо коефіцієнт завантаження кабелю не перевищує 50%, то є можливість

підвищити ефективність застосування технології VDSL2 без використання опції «векторинг» за рахунок відбору пар кабелю з кращими характеристиками, а необхідність застосування опції «векторинг» виникає при КЗ більшому за 50%.

ЛІТЕРАТУРА:

1. «Укртелеком» приступила к радикальной модернизации сетей [Електронний ресурс]. – 12. 11. 2015. – Режим доступа: https://ko.com.ua/ukrtelekom_pristupila_k_radikalnoj_modernizacii_setej_113075. – Заголовок з екрану. – Дата доступу: 16.08.18.
2. Балашов В.О. Мережі та обладнання широкопasmового доступу за технологією xDSL: навч. посіб. / В.О.Балашов, П.П. Воробієнко, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький. – Одеса, 2009. – 225 с.
3. ITU-T. Recommendation G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). – Appr. 2015, January. – Geneva, 2015. – 430 p.
4. Дослідження технології VDSL2 на мережі ШСД ПАТ «Укртелеком»: Звіт про НДР / Державне підприємство «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку»; керівн. В.О. Балашов; викон.: В. Орешков [та ін.]. – Одеса, 2017. – 117 с. – № ДР 0116U008197.
5. ITU-T. Recommendation L.19 : Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL. – Appr. 2010, May. – Geneva, 2010. – 20 p.
6. ITU-T. Recommendation G.993.5 : Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers. – Appr. 2015, January. – Geneva, 2015. – 100 p.
7. Балашов В.О. Характеристики широкопasmового доступу за технологією VDSL2 із застосуванням системи компенсації перехідних завод «векторинг» / В.О. Балашов, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков // Научные труды SWorld.– Иваново: Научный мир, 2015. – № 3 (40). – Том 3. – С. 4 – 11.

REFERENCES:

1. "Ukrtelecom has started a radical modernization of networks" [Electronic resource]. 12. 11. 2015. Access mode: https://ko.com.ua/ukrtelekom_pristupila_k_radikalnoj_modernizacii_setej_113075. Title on the screen. Access date: 16.08.18.
2. Balashov V.O., Vorobiyenko P.P., Lashko A.H., Lyakhovetskiy L.M. "Networks and equipment of the broadband xDSL access. Study guide." Odesa. (2009): 225.
3. ITU-T. Recommendation G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). Appr. 2015, January. Geneva, (2015): 430.
4. "Investigation of VDSL2 technology on Ukrtelecom PJSC network: R & D Report." State Enterprise "Odesa Research Institute of Communication." Odesa. (2017): 117. - № DR 0116U008197.
5. ITU-T. Recommendation L.19 : "Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL." Appr. 2010, May. Geneva, (2010): 20.
6. ITU-T. Recommendation G.993.5 : "Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers." Appr. 2015, January. Geneva, (2015): 100.
7. Balashov V.O., Lyakhovetskiy L.M., Oreshkov V.I. "Broadband access features by VDSL2 technology using crosstalk compensation system «vectoring»." SWorld Scientific Issue № 3 (2015). Volume 3: 4-11.

DOI 10.33243/2518-7139-2018-1-2-25-34