

УДК 621.395

РОЗВИТОК ФІКСОВАНОГО ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ДО ІНТЕРНЕТУ В УКРАЇНІ



[В.О. БАЛАШОВ](#), [В.І. ОРЕШКОВ](#), [І.Б. БАРБА](#), [Д.О. СТЕЛЯ](#)

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку



[Д.А. ІЩЕНКО](#)

Державне підприємство «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку»

Abstract – Nowadays, the level of accessibility to Internet resources and information services to the population is considered the most essential characteristic of the state's economic development. The United Nations (UN) includes citizens' right to access the Internet in the list of basic human rights. In order to ensure the provision of broadband access to every citizen throughout the country, the state faces the task of creating the appropriate telecommunications infrastructure. The article considers the task of developing (modernizing) the subscriber segment (level) of the fixed broadband access network (FBA) to the Internet based on the G.fast telecommunications technology according to the ITU-T Recommendation G.9700. The technical characteristics of access network options using multi-pair metal cables of the type TPP-10x2x0.4 and «twisted pair» Cat.5e 10x2x0.5 are being studied. Obtained comparative characteristics of the access speed depending on the frequency and transient characteristics of the cables, power of additive, and transient interference. A significant result is a study of the effectiveness of the implementation of technology for compensation of transient interference between «Vectoring» systems in G.fast transmission systems according to the ITU-T Recommendation G.993. Studies prove that using a cable of the type «Twisted pair» UTP Cat.5e 10x2x0.5 ensures a higher speed of operation than using a cable of the type TPP-10x2x0.4. Without the use of the Vectoring «Twisted pair» UTP Cat.5e 10x2x0.5 transient interference compensation system, it provides 400-500 Mbps FBA speed with a cable length of up to 250 m, which is higher than the TPP cable. The obtained results make it possible to develop economically attractive strategies for the development of FBA networks, taking into account the existing features of the networks. Modernization of the network using G.fast technology can significantly improve access to high-speed Internet for millions of Ukrainian citizens, contributing to the country's digital transformation and increasing its competitiveness in the global market.

Анотація – На сьогодні рівень доступності населенню ресурсів мережі Інтернет та її інформаційних послуг вважається найважливішою характеристикою економічного розвитку держави. Право громадян на доступ до мережі Інтернет включено Організацією Об'єднаних Націй (ООН) в перелік базових прав людини. Для забезпечення надання широкосмугового доступу кожному громадянину на всій території країни перед державою стоїть завдання створення відповідної телекомунікаційної інфраструктури. У статті розглядається завдання розвитку (модернізації) абонентського фрагменту (рівня) мережі фіксованого широкосмугового доступу (ФШД) до Інтернету на основі телекомунікаційної технології G.fast за Рекомендацією МСЕ-Т G.9700. Досліджуються технічні характеристики варіантів мережі доступу з використанням багатопарних металевих кабелів типу ТПП-10x2x0,4 та УТР Cat.5e 10x2x0,5. Отримані порівняльні характеристики швидкості доступу в залежності від частотних та перехідних характеристик кабелів, потужності адитивних та перехідних завад. Важливим результатом є дослідження ефективності впровадження в системах передавання G.fast технології компенсації перехідних завад між системами «векторинг» за Рекомендацією МСЕ-Т G.993. Дослідження доводять, що застосування кабелю типу УТР Cat.5e 10x2x0,5 дозволяє забезпечити більшу швидкість роботи, ніж застосування кабелю типу ТПП-10x2x0,4. Без застосування системи компенсації перехідних завад «векторинг» УТР Cat.5e 10x2x0,5 забезпечує швидкість ФШД на 400-500 Мбіт/с при довжині кабелю до 250 м більшу за кабель ТПП. Отримані результати дозволяють розробляти економічно привабливі стратегії розвитку мереж ФШД з урахуванням існуючих особливостей мереж. Модернізація мережі за допомогою технології G.fast може суттєво покращити доступ до високошвидкісного Інтернету для мільйонів українських громадян, сприяючи цифровій трансформації країни та підвищенню її конкурентоспроможності на світовому ринку.

Вступ

На сьогодні доступність ресурсів мережі Інтернет та її інформаційних послуг для населення вважається однією з ключових характеристик економічного розвитку країни. Показники розвитку широкосмугового доступу (ШД – доступ до телекомунікаційної мережі та Інтернету зі швидкістю не менше 1 Мбіт/с) увійшли до списку

обов'язкових індикаторів економічного розвитку країн, які відстежують світові аналітичні агентства. Розвиток ШД до телекомунікаційної мережі визначає темпи розширення надання ширококутних послуг і стає основним трендом економічного розвитку держав.

Враховуючи вплив інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ) на суспільство ООН в 2011 році [1] включили право на доступ до мережі Інтернет та ІКТ в перелік базових прав людини. Це ставить перед урядами країн наступні завдання:

– створення інфраструктури для забезпечення надання послуг ширококутного доступу до Інтернет на всій території країни;

– забезпечення надання ширококутного доступу кожному громадянину.

Ці завдання актуальні не тільки для України, а і для багатьох країн світу.

I. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В Україні за даними дослідження компанії Factum Group, опублікованому на інтернет-ресурсі [2], в період з 2004 по 2019 тенденція росту відсотку регулярних користувачів Інтернету зросла з 12% до 71% від загальної кількості. На сьогодні число інтернет-користувачів в Україні складає більше 23 мільйонів [3].

Не зважаючи на розгортання оптичних мереж і технологій, телефонні мережі та технології передачі по металевому кабелю, пов'язані з ними, не зникли з ринків телекомунікаційних послуг. Для цього є як економічні, так і технологічні причини. Саме тому міжнародна спілка електрозв'язку (МСЕ) та провідні виробники телекомунікаційного обладнання продовжують вдосконалювати телекомунікаційні технології фіксованого ШД (ФШД – ширококутний доступ по стаціонарній лінії зв'язку) по багатопарним металевим, коаксіальним і оптичним кабелям, кабелям електропроводки та розробляти нові технології (Рекомендації МСЕ-Т G.992 – G.993). Наступним оновленням Рекомендацій МСЕ в цьому напрямку, яке дозволило підвищити швидкість ФШД і, як наслідок, якість наданих послуг, є телекомунікаційна технологія G.fast [4] за Рекомендацією МСЕ-Т G.9700 і технологія компенсації перехідних завад в багатопарних кабелях – «векторинг» [5 – 7]. Останнім досягненням розвитку технологій ФШД – стала технологія передачі MGfast [8, 9].

Наведений аналіз доводить, що на сьогодні дослідження в галузі розвитку ФШД є актуальними.

II. Мета та завдання досліджень

Найпоширенішою у світі технологією фіксованого ширококутного доступу є доступ через добре розвинену мережу кабельних абонентських ліній телефонної мережі загального користування (ТМЗК) із використанням систем передачі інформації за технологіями xDSL (цифрова абонентська лінія, АЛ) згідно з рекомендаціями МСЕ-Т G.992 – G.993. За допомогою цих технологій побудовано близько 57% від усіх ліній фіксованого ширококутного доступу у світі. Системи передачі за технологією xDSL використовують метод передачі Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) –

метод передачі ортогональними гармонічними сигналами (ОГС) [10, 11]. Основними перевагами систем передачі ОГС (СП ОГС) є:

– висока спектральна ефективність СП ОГС, а також здатність ефективно функціонувати в каналах зв'язку з нестабільними в часі частотними характеристиками та завадами;

– гнучкість у формуванні спектру сигналу, яка дозволяє ефективно протидіяти імпульсним та спектрально-зосередженим завадам;

– стійкість до адитивних завад, невизначеності і стрибків фази несівної, коефіцієнта передавання, фазового джитера, селективних частотних завмирань тощо.

Розвиток теорії СП ОГС здійснюється в напрямку підвищення швидкості передачі за рахунок вдосконалення технологій передачі, розширення спектру сигналу, використання сигналів ОГС узагальненого класу (ОГС УК), що потребує відповідного дослідження характеристик ФШД по багатопарним кабелям типу ТПП і UTP Cat.5e 10x2x0,5, які використовуються на мережах ШД України в діапазоні частот до 500 МГц з урахуванням року виробництва, що дозволяє отримати оцінки характеристик телекомунікаційних технологій ФШД.

В Україні в рамках програм про подолання цифрового розриву в доступі до ШД різних верств населення та збільшення кількості користувачів ШД операторами зв'язку, проводиться модернізація мереж ФШД в особливості в великих містах. ПАТ «Укртелеком» в співробітництві з компанією «Huawei» реалізує проект «В6» направлений на підвищення якості надання доступу ФШД. Проект передбачає поруч з оптичними технологіями використання діючої абонентської телефонної мережі для надання послуг ФШД, що ставить питання про проведення моделювання та перевірки можливості використання як існуючих металевих кабелів типу ТПП в нових мережах ФШД, так і використання нових кабелів типу UTP Cat.5e 10x2x0,5. В статті в якості основної телекомунікаційної технології передбачено використання сучасної технології ФШД G.fast за Рекомендаціями МСЕ-T G.9700, G.9701 [12, 13]. Постає перед науковцями питання, яким чином раціонально (економічно) провести модернізацію мережі – перехід на нові технології доступу з використанням діючого кабелю ТПП?

III. Порівняльний аналіз характеристик технології ФШД по багатопарним кабелям

Виконаємо порівняльний аналіз застосування сучасної технології ФШД G.fast на вітчизняних мережах доступу при роботі по телефонним багатопарним кабелях марки ТПП-10x2x0,4 та UTP Cat.5e 10x2x0,5 з метою визначення доцільності заміни телефонних кабелів ТПП на кабелі UTP Cat.5e 10x2x0,5.

Для оцінки швидкості передавання скористаємося методикою, наданою у [14]. Для визначення швидкості передавання за умови паралельної роботи кількох СП G.fast по багатопарним кабелях (тобто за наявності перехідних завад, а також при застосуванні для їхньої компенсації системи «векторинг») скористаємося методикою

оцінки перехідних завад та оцінки некомпенсованої перехідної завади системою «векторинг», яка надана у [7].

Оцінка швидкості передавання СП G.fast проводилась для таких вихідних даних:

- спектральна маска СП G.fast відповідає стандарту G.9700 MSE-T [12];
- частотний план до 106 МГц;
- спектральна густина потужності (СПП) зовнішніх адитивних завад вважається рівномірною (Additive white Gaussian noise, AWGN): -140дБм/Гц та -120 дБм/Гц;
- типи кабелю – телефонний багатопарний ТПП-10х2х0,4 та UTP Cat.5e 10х2х0,5 з кількістю пар 10, з параметрами представленими на рис. 1 - 3 [15];
- кількість СП, що паралельно працюють по багатопарному кабелю – 1 та 10.

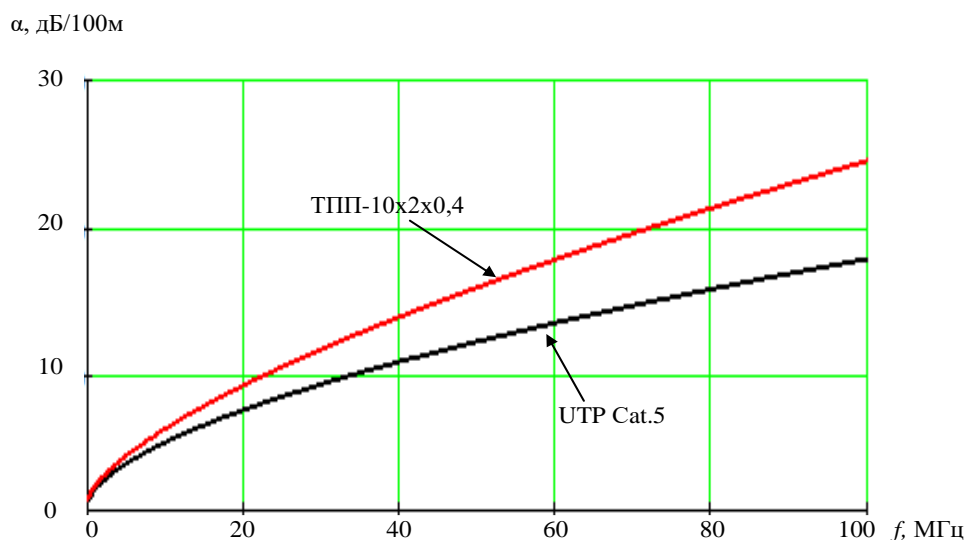


Рис. 1. Частотна залежність власного загасання кабелів ТПП-10х2х0,4 та UTP Cat. 5e 10х2х0,5

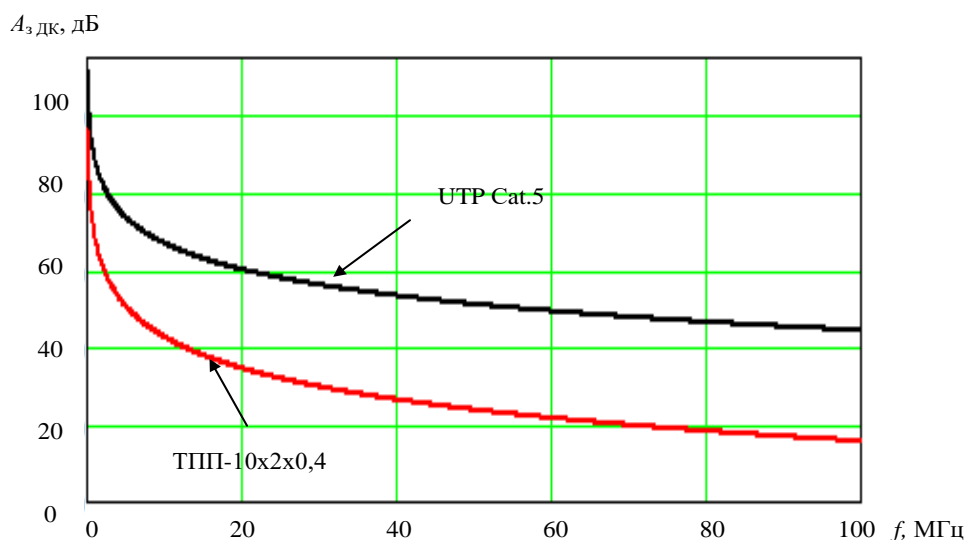


Рис. 2. Частотна залежність загасання від перехідних завад на віддаленому кінці кабелів ТПП-10х2х0,4 та UTP Cat.5e 10х2х0,5

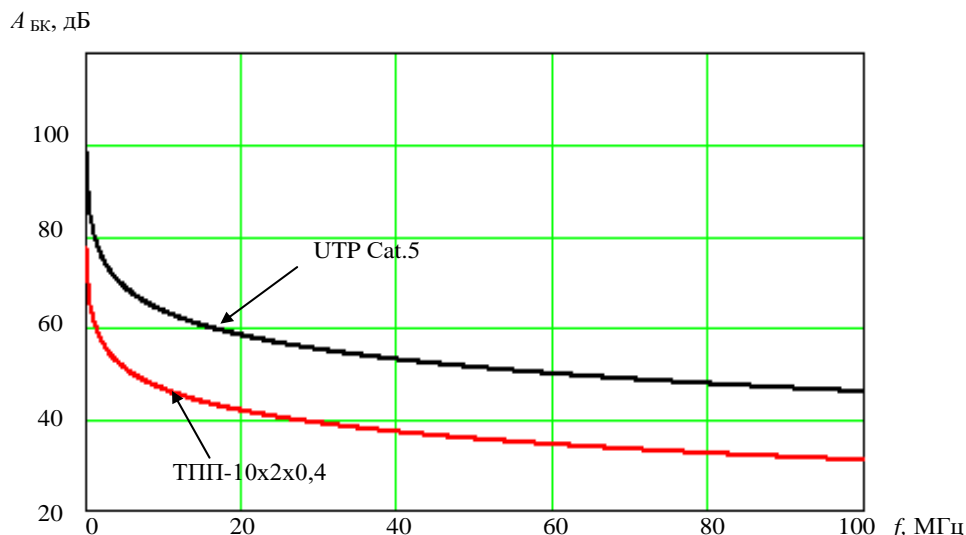


Рис. 3. Частотна залежність загасання від перехідних завад на ближньому кінці кабелів ТПІІ-10х2х0,4 та UTP Cat.5e 10х2х0,5

Характеристики кабелів, що використовуються в наступних розрахунках, були визначені шляхом вимірювання зразків на обладнанні підприємства «Одескабель».

На рис. 4 представлені результати розрахунку досяжної швидкості роботи СП G.fast від довжини АЛ при роботі по багатопарним кабелях типу ТПІІ-10х2х0,4 та UTP Cat.5e 10х2х0,5 за відсутності зовнішніх (AWGN на рівні теплових шумів -140 дБм/Гц) та перехідних (по кабелю працює тільки 1 СП) завад.

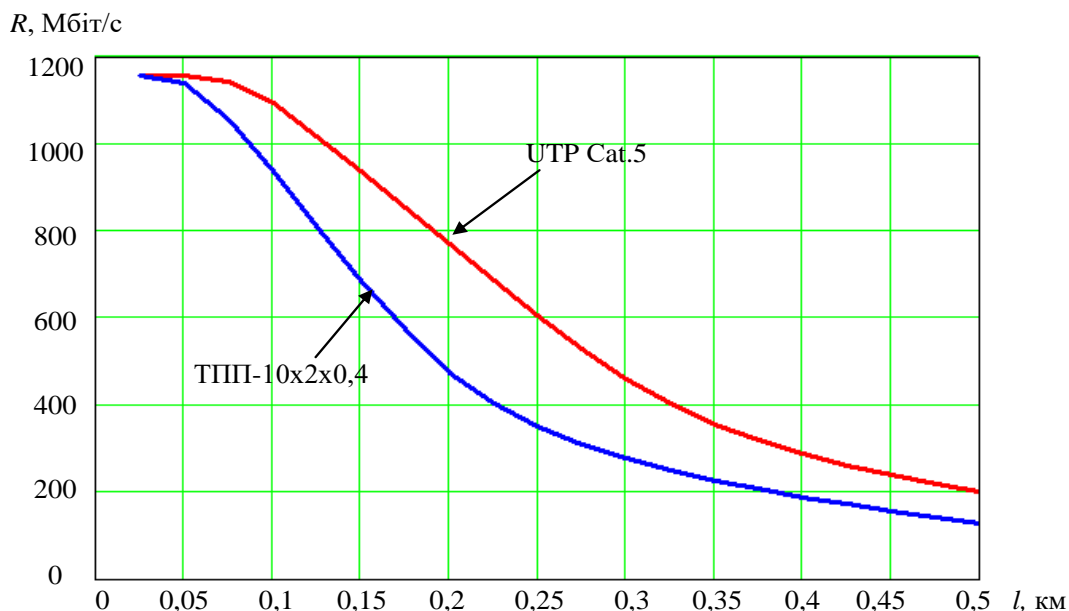


Рис. 4. Швидкість роботи СП G.fast по кабелям ТПІІ-10х2х0,4 та UTP Cat.5e 10х2х0,5 за відсутності завад (1 СП, AWGN = -140 дБм/Гц)

Як видно з рис. 4, досяжна швидкість роботи СП G.fast по багатопарному кабелю типу UTP Cat.5e 10х2х0,5 більша, ніж по кабелю ТПІІ - 10х2х0,4, що зумовлено меншим

власним загасанням цього кабелю (див. рис. 1). Так за відсутності завад швидкість 1 Гбіт/с досягається на багатопарному кабелі ТПП-10x2x0,4 на відстані не більше 75 метрів, а на кабелі UTP Cat.5e 10x2x0,5 – 160 метрів, тобто у 2 рази більший. В середньому на довжині лінії від 25 до 500 метрів швидкість роботи СП G.fast по кабелю типу UTP Cat.5e 10x2x0,5 на 35% більша.

Вплив збільшення рівня зовнішніх завад (AWGN збільшено до рівня СП-120 дБм/Гц) на швидкість роботи СП G.fast представлено на рис. 5.

Збільшення рівня зовнішніх завад призводить до значного зменшення швидкості роботи СП G.fast. В залежності від довжини лінії швидкість може зменшуватися в 2 – 3 рази у порівнянні з роботою за відсутності завад.

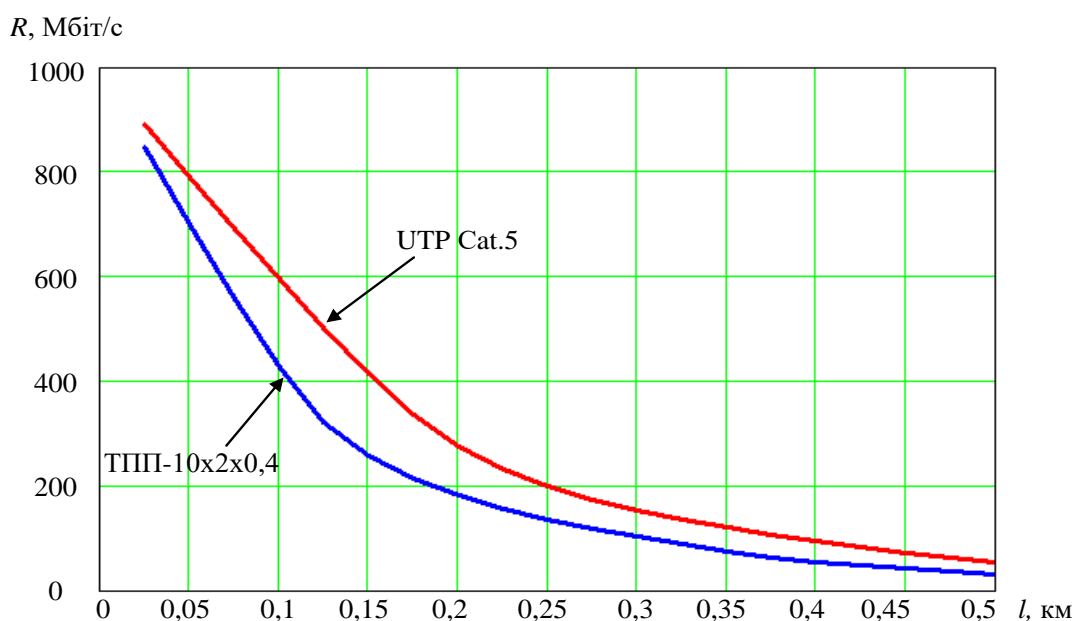


Рис. 5. Швидкість роботи СП G.fast по кабелю ТПП-10x2x0,4 та UTP Cat.5e 10x2x0,5 за наявності зовнішніх завад (1 СП, AWGN=-120 дБм/Гц)

Оцінка впливу перехідних завад (враховувалися завади при паралельній роботі 10 систем G.fast по багатопарному кабелю) на швидкість роботи СП G.fast представлена на рис.6.

Перехідні завади призводять до зменшення швидкості роботи СП G.fast, яка залежить від параметрів взаємних впливів між парами багатопарного кабелю (див. рис. 6 та 7). Для кабелю типу UTP Cat.5e 10x2x0,5 перехідні загасання значно кращі ніж для кабелю типу ТПП-10x2x0,4. Тому при паралельній роботі 10 СП по кабелю ТПП-10x2x0,4 зменшення швидкості роботи СП становить від 1,5 до 3 разів в залежності від довжини лінії, а по кабелю UTP Cat.5e 10x2x0,5 зменшення швидкості не перевищує 1,3 рази.

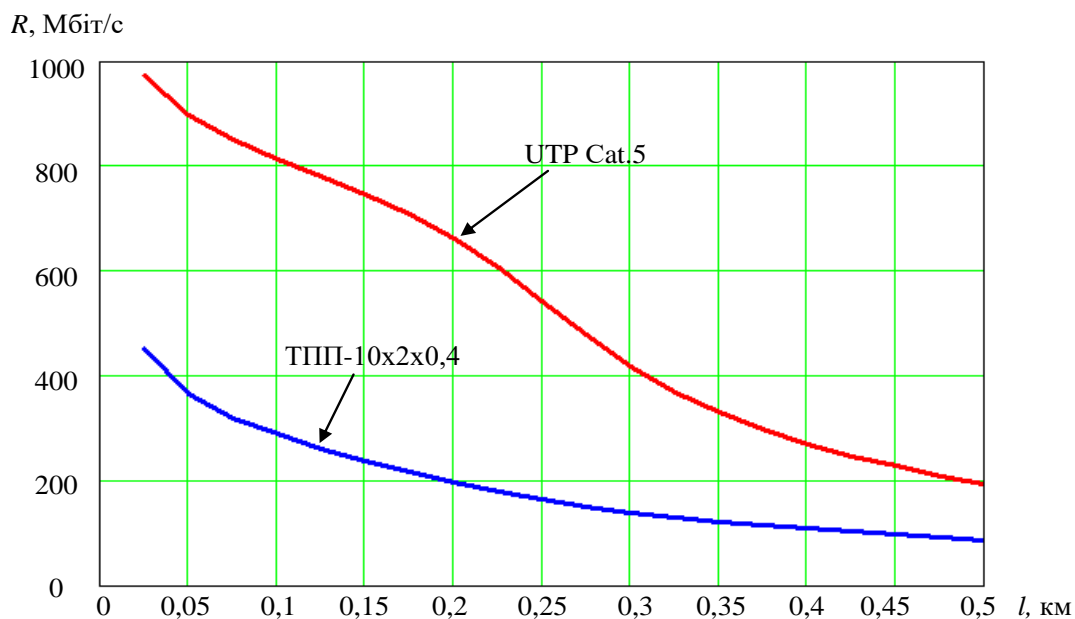


Рис. 6. Швидкість роботи СП G.fast по кабелях ТППІ-10x2x0,4 та UTP Cat. 5e 10x2x0,5 за наявності перехідних завад (10 СП, AWGN = -140 дБм/Гц)

На рис. 7 надано результати оцінки швидкості роботи СП G.fast при застосуванні системи «векторинг», яка компенсує перехідні завади. Щоб оцінити ефективність застосування системи компенсації «векторинг», швидкість визначалася за умови паралельної роботи 10 СП G.fast за відсутності зовнішніх завад (AWGN на рівні теплових шумів -140 дБм/Гц).

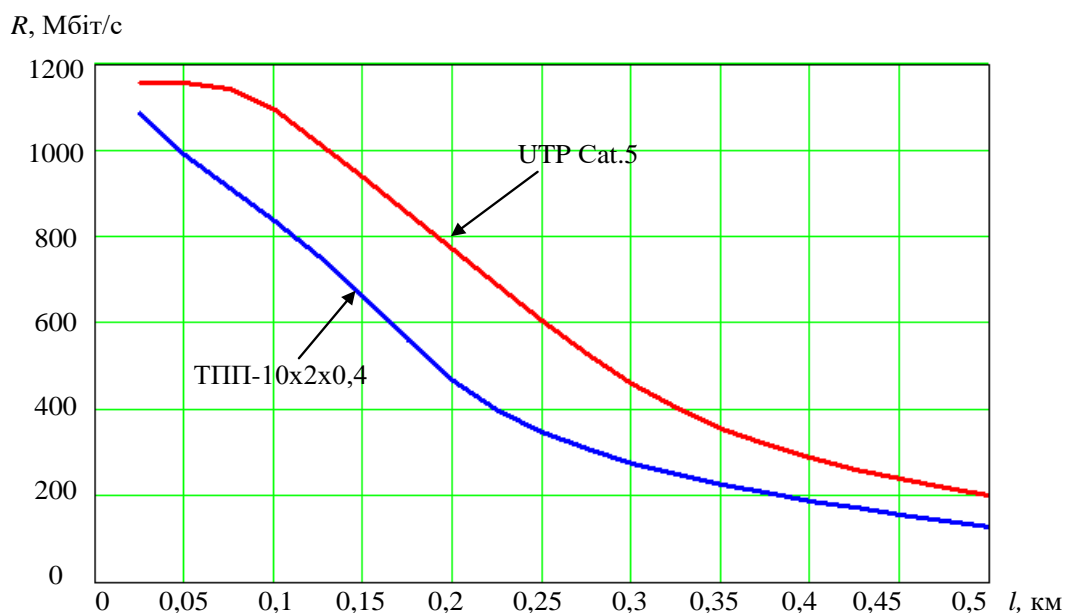


Рис. 7. Швидкість роботи СП G.fast по кабелях ТППІ-10x2x0,4 та UTP Cat.5e 10x2x0,5 при застосуванні системи «векторинг» яка компенсує перехідні завади (10 СП, AWGN=-140 дБм/Гц)

Застосування системи «векторинг», яка дозволяє компенсувати перехідні завади, дозволяє значно збільшити швидкість роботи СП G.fast по багатопарному кабелю типу ТПП-10x2x0,4: від 1,5 до 2,5 разів швидкість більша за роботу без компенсації перехідних завад. При роботі по кабелю UTP Cat.5e 10x2x0,5 застосування системи «векторинг» дозволяє досягти швидкості, близької до варіанту роботи без перехідних завад.

Висновки

З аналізу результатів розрахунку швидкості роботи СП G.fast можна зробити висновок, що за будь-яких однакових умов роботи застосування багатопарного кабелю типу UTP Cat.5e 10x2x0,5 дозволяє забезпечити більшу швидкість роботи СП, ніж застосування кабелю типу ТПП-10x2x0,4. При паралельній роботі 10 СП G.fast на АЛ довжиною до 250 метрів без застосування системи «векторинг», яка компенсує перехідні завади по кабелю типу UTP Cat.5e 10x2x0,5, забезпечується швидкість ФШД на 400 – 500 Мбіт/с більша, ніж по багатопарному кабелю ТПП-10x2x0,4. За тих же умов, застосування системи, яка компенсує перехідні завади, забезпечує по багатопарному кабелю типу UTP Cat.5e 10x2x0,5 швидкість ФШД до 300 Мбіт/с більшу, ніж по кабелю ТПП-10x2x0,4.

Отримані результати дозволяють розробляти економічно привабливі стратегії розвитку мереж ФШД з урахуванням особливостей вітчизняних мереж ФШД.

Наукову новизна результатів наступна.

1. У статті в перше в вітчизняних наукових публікаціях виконано порівняльний аналіз характеристик сучасної технології ФШД G.fast при застосуванні на мережах доступу при використанні телефонних багатопарних кабелів марки ТПП-10x2x0,4 та UTP Cat.5e 10x2x0,5 з метою визначення привабливих стратегій розвитку мереж ФШД з урахуванням особливостей телекомунікаційних мереж України.

2. Отримано характеристики швидкості доступу в залежності від довжини абонентської лінії, потужності адитивних і перехідних завад за умови паралельної роботи кількох (до 10) СП G.fast по багатопарним сучасним кабелям.

3. Важливим результатом дослідження є оцінка застосування системи «векторинг» для компенсації перехідних завад. При цьому була використана авторська методика оцінки некомпенсованої перехідної завади системою «векторинг», яка надана у [6].

4. В статті використані авторські методики дослідження і розрахунків характеристик систем передачі інформації за технологіями xDSL згідно з рекомендаціями МСЕ-T G.992, G.993, G.9700, які використовуються в мережах ФШД.

Список літератури

1. *La Rue, F.* (2011), “Report of the Special Rapporteur on the Promotion and Protection of the Right to Freedom of Opinion and Expression : Addendum, Communications to and from Governments”, A/HRC/17/27, UN Human Rights Council. URL: <https://www.refworld.org/reference/countryrep/unhrc/2011/en/90245>

2. Global Broadband Subscriptions in Q1 2023: Fibre Glides Past Two Thirds /2 Point Topic Ltd.
URL: <https://www.point-topic.com/post/global-broadband-subscriptions-q1-2023>
3. «Кількість Інтернет-користувачів в Україні зростає до 23 мільйонів», Профспілка працівників освіти і науки України. URL: <https://pon.org.ua/novyny/7355-klkst-internet-koristuvachiv-v-ukrayin-zroslo-do-23-mlyoniv.html>
4. Statesmen, D., Ödling, P., Zhang, C., Mecklenbräuker, C. (2021), "Network modeling and performance evaluation for G.Fast", IEEE Access, No. 9, P. 164026–164036. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3130373>
5. ITU-T Recommendation G.993.5 (2015), "Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers". URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.5>
6. Balashov, V., Oreshkov, V., Barba, I., Pedyash, V. (2022), "Speed Estimation of Broadband Access to Internet via xDSL Technology", Radioelectronics and Communications Systems, No. 65, P. 439–445. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0735272722080052>
7. Балашов, В. О., Орешков, В. І., Барба, І. Б., Макаров, І. В. (2023), "Ефективність телекомунікаційних систем передачі фіксованого широкосмугового доступу по телефонним кабелям", Праці Одеського політехнічного університету, No. 2(68), С. 131-140. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.14>
8. ITU-T Recommendation G.9710 (2020), "Multi-gigabit fast access to subscriber terminals (MGfast) – Power spectral density specification". URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9710>
9. ITU-T Recommendation G.9711 (2021), "Multi-gigabit fast access to subscriber terminals (MGfast) – Physical layer specification". URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9711/en>
10. Балашов, В. О., Барба, І. Б., Лашко, А. Г., Ляховецький, Л. М., Орешков, В. І., Педяш, В. В., Яневич, О. К. (2018), Телекомунікаційні технології мереж широкосмугового доступу: монографія, Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, 276 с.
11. Balashov, V., Oreshkov, V., Barba, I., Iegurova, O. (2021), "Orthogonal Harmonic Signals of the Generalized Class", Journal of Telecommunications and Information Technology (JTIT), No. 1, P. 64-70. DOI: <https://doi.org/10.26636/jtit.2021.146720>
12. ITU-T Recommendation G.9700 (2019), "Fast access to subscriber terminals (G.fast) – Power spectral density specification". URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9700>
13. ITU-T Recommendation G.9701 (2023), "Fast access to subscriber terminals (G.fast) – Physical layer specification". URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9701>
14. Ляховецький, Л. М., Орешков, В. І., Барба, І. Б. (2014), "Удосконалення методу оцінки швидкості передавання систем передачі ортогональними гармонічними сигналами", Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова, No. 2, Частина 2, С. 186–193.
15. Балашов, В. О., Лашко, А. Г., Ляховецький, Л. М., Орешков, В. І., Топорков, Ф. В. (2018), "Дослідження електричних параметрів телефонних кабелів у діапазоні частот до 30 МГц", Метрологія та прилади, No. 10, С. 47–52.