

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ VDSL2**

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА ПО ТЕХНОЛОГІИ VDSL2**

**THE CHARACTERISTICS OF BROADBAND ACCESS USING VDSL2 TECHNOLOGY**

**Анотація.** Здійснено розрахунки та порівняння досяжної швидкості передавання за технологією VDSL2 при застосуванні багатопарних кабелів FTP Cat.5 та ТП.

**Аннотация.** Выполнены расчеты и сравнение достижимой скорости передачи по технологии VDSL2 при применении многопарных кабелей FTP Cat.5 и ТП.

**Summary.** The calculations and comparison of attainable transmission rate using VDSL2 technology with the application of FTP Cat.5 and ТП multi-pair cables are performed.

На сьогодні найпоширенішим у світі видом широкосмугового доступу (ШД) є доступ, що використовує добре розвинену мережу абонентських ліній (АЛ) телефонної мережі загального користування (ТМЗК) [1]. При цьому оператори зв'язку для надання абоненту широкого спектра послуг по телефонних кабелях впроваджують обладнання на основі технологій xDSL, регламентованих Рекомендаціями МСЕ-Т G.991.x, G.992.x, G.993.x. Здебільшого в Україні серед цих технологій використовується технологія ADSL2+ (Рекомендація G.992.5), яка забезпечує швидкість у напрямку до абонента (Downstream) до 24 Мбіт/с. Але найшвидкісною серед технологій xDSL є технологія VDSL2, що відповідає Рекомендації МСЕ-Т G.993.2: досяжна за допомогою цієї технології швидкість у напрямку до абонента (Downstream) чи від абонента (Upstream) може досягати 100 Мбіт/с. Ця технологія в Україні досі майже не використовується. На цьому етапі необхідно визначити доцільність втілення даної технології на вітчизняній мережі абонентських ліній. Для цього необхідно провести дослідження, що дозволять оцінити максимально досяжну швидкість передавання даних за цією технологією при роботі по вітчизняних багатопарних телефонних кабелях. Слід зауважити, що оскільки характеристики вітчизняної телефонної мережі, у тому числі телефонних кабелів, суттєво відрізняються від характеристик закордонних мереж, то результати аналогічних досліджень можливостей технології VDSL2 на закордонних мережах не можуть бути повністю перенесені на вітчизняні мережі. Крім того, останнім часом для передавання сигналів за технологіями xDSL використовуються спеціальні «цифрові кабелі» з покращеними високочастотними характеристиками, тобто кабелі, призначені спеціально для передавання цифрових сигналів з високою швидкістю. До таких кабелів належать широко розповсюджені кабелі типу «вита пара». Очевидно, для визначення оптимального варіанта втілення технології VDSL2 на мережах доступу України необхідно визначити максимально досяжну швидкість передавання даних за цією технологією при роботі по «цифрових кабелях» та порівняти її з максимальною досяжною швидкістю при роботі по телефонних кабелях.

Незважаючи на актуальність вищезгаданих питань, дослідження потенційних характеристик технології VDSL2 на вітчизняних мережах доступу досі не проводилися. Отже, **метою даної статті** є визначення досяжної швидкості передавання та дальності зв'язку технології VDSL2 при застосуванні багатопарних телефонних кабелів типу ТП та багатопарних кабелів типу «вита пара» 5-ї категорії.

Як було зазначено у [2], для розрахунку швидкості передавання по ЦАЛ спочатку необхідно визначити захищеність або відношення сигнал/завада на вході приймача СП на несучій частоті кожного підканалу, що застосовується для передавання інформації по ЦАЛ:

$$SNR(f) = 10^{0,1 \cdot (PSDs(f) - A_{ал}(f) - PSDn\Sigma(f))}, \quad (1)$$

де  $PSDs(f)$  – спектральна густина потужності (СГП) сигналу на виході передавача СП;  $A_{ал}(f)$  – залежність загасання АЛ від частоти;  $PSDn\Sigma(f)$  – СГП сумарної завади на вході приймача СП.

Для розрахунку відношення сигнал/завада  $SNR(f)$  визначаються:

- СГП сигналу  $PSDs(f)$  – з Рекомендацій МСЕ-Т, відповідно до того, яка саме СП застосовується для побудови ЦАЛ;
- загасання АЛ  $A_{ал}(f)$  – типом кабелю та її довжиною;
- СГП сумарної завади  $PSDn\Sigma(f)$  – сукупністю усіх завад, що діють на дану ЦАЛ: перехідна завада на ближній кінець (ПЗ БК, NEXТ), перехідна завада на дальній кінець (ПЗ ДК, FEXT), інші види адитивних завад різного походження, суму яких будемо називати АЗРСГП (адитивна завада з рівномірною спектральною густиною потужності).

Головна складність розрахунку відношення сигнал/завада  $SNR(f)$  полягає у визначенні СГП сумарної завади  $PSDn\Sigma(f)$ , а саме в урахуванні перехідних завад між ЦАЛ.

Для ілюстрації алгоритму розрахунку перехідних завад між ЦАЛ на рис. 1 наведено модель електромагнітних взаємодій ЦАЛ у багатопарному кабелі, на якому схематично зображені дві ЦАЛ, що впливають ( $DSL_i$  і  $DSL_j$ ), і одна ЦАЛ, піддана впливу ( $DSL_k$ ).

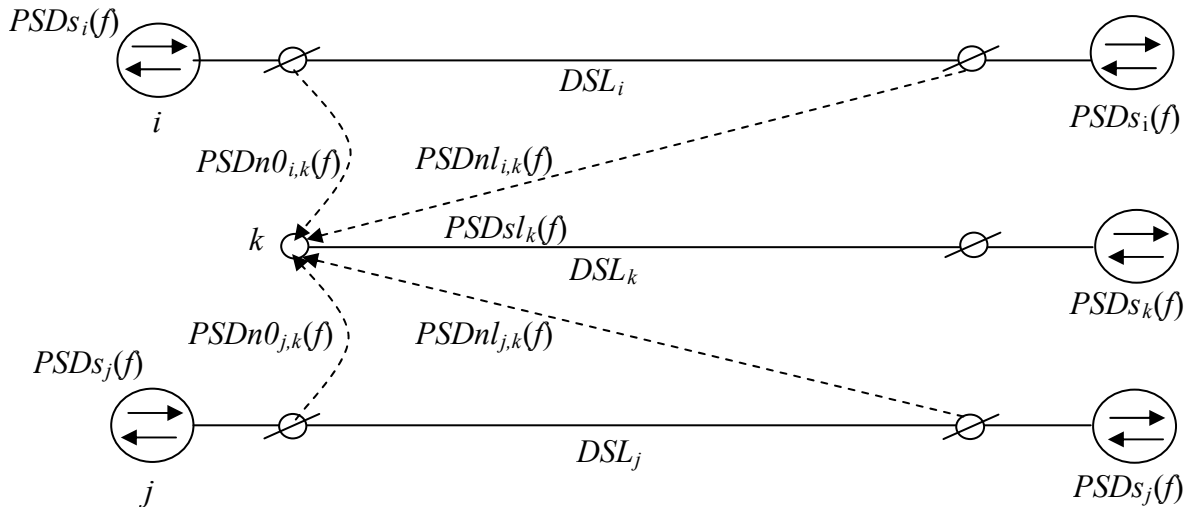


Рисунок 1 – Модель електромагнітних взаємодій ЦАЛ у багатопарному кабелі

Задаються СГП сигналів на вході кожної ЦАЛ (виході передавача СП):  $PSDs_i(f)$ ,  $PSDs_k(f)$  та  $PSDs_j(f)$ .

$PSDsl_k(f)$  – це СГП сигналу на виході  $k$ -ї ЦАЛ (на вході приймача  $k$ -ї СП) та визначається першою та другою складовою в (1), тобто різницею СГП сигналу на вході ЦАЛ та залежністю загасання АЛ від частоти:

$$PSDsl_k(f) = PSDs_k(f) - A_{алk}(f). \quad (2)$$

$PSDn0_{i,k}(f)$  та  $PSDnl_{i,k}(f)$  – це відповідно СГП перехідної завади на ближньому та дальньому кінцях від  $i$ -ї ЦАЛ на  $k$ -ту ЦАЛ, які розраховуються аналогічно (2), в якій залежність власного загасання АЛ від частоти замінено на залежність перехідного загасання АЛ на БК  $A0(f)$  або ДК  $Al(f)$  від частоти. Перехідне загасання на ДК, на відміну від ПЗ БК, має, крім частотної залежності, залежність від довжини лінії, тому:

$$PSDn0_{i,k}(f) = PSDs_i(f) - A0_{i,k}(f); \quad (3)$$

$$PSDnl_{i,k}(f, l) = PSDs_i(f) - A_{злкi,k}(f) + 10 \cdot \lg\left(\frac{l}{l_{буд}}\right) - A_{алk}(f, l), \quad (4)$$

де  $A_{злкi,k}(f)$  – частотна залежність захищеності на ДК між  $i$ -ю та  $k$ -ю ЦАЛ.

За формулами (3) та (4) визначаються СГП ПЗ БК та ПЗ ДК від усіх ЦАЛ, що впливають, та розраховується СГП сумарної завади  $PSDn\Sigma(f)$ :

$$PSDn\Sigma(f) = 10 \lg\left(\sum_{i,i \neq k} 10^{0,1 \cdot PSDn0_{i,k}(f)} + \sum_{i,i \neq k} 10^{0,1 \cdot PSDnl_{i,k}(f)} + \sum_m 10^{0,1 \cdot PSDna_m(f)}\right), \quad (5)$$

де  $PSDna_m(f)$  – СГП інших адитивних завад, суму яких будемо задавати у вигляді адитивної завади з рівномірною спектральною густиною потужності (АЗРСГП):

$$PSDna_\Sigma(f) = 10 \lg\left(\sum_m 10^{0,1 \cdot PSDna_m(f)}\right) = \text{const}. \quad (6)$$

Результат (5) підставляється у (2), а далі розраховується швидкість передавання по ЦАЛ за формулами з [2].

Згідно з Рекомендацією МСЕ-Т G.993.2 [3], якою регламентується декілька варіантів плану частот А та В, для розрахунку обрані: В7-5 [997-M2x-A] та В8-4 [998-M2x-A], надалі будемо називати скорочено – план В та план А відповідно. Розрахунки проводяться для номінальної СГП сигналу.

З урахуванням того, що технологію VDSL2 доцільно застосовувати для організації доступу на швидкостях вищих за 24 Мбіт/с (максимальна швидкість доступу за технологією ADSL2+), дослідження будемо проводити при застосуванні лише 10-парного телефонного кабелю ТП. Кабель з більшою ємністю пар застосовувати недоцільно через обмеження швидкості передавання за рахунок збільшення перехідних завад. Параметри телефонних кабелів ТП визначаємо з [4].

Профілі швидкостей для застосування СП VDSL2 обрані таким чином, що за будь-яких умов, якщо забезпечується швидкість передавання у напрямку downstream, то швидкість передавання у напрямку upstream гарантовано забезпечується. Результати розрахунків для обраних профілів швидкостей при 30 та 100 % завантаженні кабелю ТП-10х2 надані у табл. 1 та 2 відповідно.

Варто зазначити, що кабелі типу ТП призначені для передавання низькочастотних телефонних сигналів (у спектрі тональних частот), що не передбачало їх використання для передачі високочастотних сигналів, таких як сигнали систем xDSL. Тому являє інтерес дослідити досяжні швидкості передавання СП VDSL2 при застосуванні нових типів високочастотних багатопарних кабелів типу «вита пара» 5-ї категорії зі збільшеними перехідними загасаннями та порівняти їх з результатами для кабелю ТП-10х2.

Таблиця 1 – Довжина ліній VDSL2 при 30 % завантаженні кабелю пучкового скручення ТП 10 х 2

R, Мбіт/с DS/US	АЗРСГП, дБм/Гц								
	-140			-120			-100		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
План В (В7-5 [997-М2х-А])									
60/70	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	-	-	-
50/50	0,54	0,53	0,52	0,43	0,38	0,32	-	-	-
40/20	1,49	1,17	0,79	0,92	0,71	0,59	0,2	0,15	0,13
30/10	2,01	1,57	1,24	1,32	1,01	0,82	0,51	0,38	0,31
План А (В8-4 [998-М2х-А])									
80/45	1	1	1	0,08	0,08	0,08	-	-	-
60/20	1,07	0,89	0,75	0,65	0,52	0,43	-	-	-
50/15	1,47	1,14	0,94	0,91	0,7	0,57	0,22	0,19	0,15
40/8	1,77	1,37	1,12	1,14	0,87	0,71	0,41	0,33	0,26
30/3	2,26	1,74	1,42	1,46	1,1	0,89	0,64	0,48	0,39

Таблиця 2 – Довжина ліній VDSL2 при 100 % завантаженні кабелю пучкового скручення ТП 10 х 2

R, Мбіт/с DS/US	АЗРСГП, дБм/Гц								
	-140			-120			-100		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
План В (В7-5 [997-М2х-А])									
60/70	0,016	0,016	0,016	0,012	0,012	0,012	-	-	-
50/50	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	-	-	-
40/20	0,64	0,64	0,63	0,58	0,52	0,46	0,14	0,13	0,12
30/10	1,72	1,35	1,12	1,14	0,91	0,75	0,48	0,36	0,3
План А (В8-4 [998-М2х-А])									
80/45	0,025	0,025	0,025	0,022	0,022	0,022	-	-	-
60/20	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	-	-	-
50/15	0,83	0,8	0,73	0,68	0,57	0,48	0,2	0,16	0,14
40/8	1,56	1,2	1	1,02	0,79	0,65	0,4	0,31	0,25
30/3	1,95	1,52	1,26	1,32	1,02	0,85	0,62	0,46	0,38

У зв'язку з тим, що для кабелю ТП у розрахунках застосовувалися номінальні значення параметрів передачі (коефіцієнта загасання та перехідного загасання), то й для «витої пари» необхідно застосовувати номінальні значення. У більшості джерел надаються мінімально припустимі значення параметрів передачі кабелю «вита пара», номінальні значення надає лише завод кабельної продукції ООО «Азовкабель» для двох та чотирьох парних кабелів категорії 5 та 5e [5]. Також слід зауважити, що дані надаються для смуги частот від 1 МГц, тому для частот нижче 1 МГц скористаємося даними, наданими у [4].

Кабелі 5-ї категорії мають різноманітну структуру осердя, бувають неекрановані та екрановані (з загальним екраном та з екраном чотирипарного пучка), тому для порівняння з кабелем ТП-10x2 на більш менш рівних умовах та з урахуванням обмежених відомостей про параметри «витої пари», для дослідження обираємо наступні кабелі виробництва Hiberline cabling systems [5], яка пропонує найбільшу номенклатуру продукції даного виду:

– FTP25-C5-SOLID-OUTDOOR – кабель FTP-cat.5-25x2x0,51, кабель багатопарний для зовнішньої прокладки з 25-ма «витими парами» 5-ї категорії, розміщеними у два шари, внутрішній шар складає пучок з 10 пар, зовнішній пучок складають 15 пар, розміщених повивом, між шарами та ззовні розміщується екран (стрічка з алюмінієвої фольги). При розрахунках будемо вважати, що перехідні впливи між шарами відсутні, за рахунок екранування, а найбільші перехідні завади будуть у внутрішньому шарі кабелю (розрахунки, як і раніше, виконуємо для найгіршої пари), тому що у зовнішньому шарі пари розміщені повивом, а отже, віддалені пари чинять незначний вплив. Також будемо вважати, що у 10- парному пучку, як і у кабелі ТП-10x2, перехідні впливи між парами однакові.

– FTPXX-C5e-SOLID-INDOOR – кабель FTP-cat.5e-(nx4)x2x0,51, кабель багатопарний для внутрішньої прокладки з  $n = 6, 12$  або 25-ма чотирипарними пучками, кожний пучок екранований стрічкою з алюмінієвої фольги. Вважаємо, що між пучками, за рахунок екранування, перехідні впливи відсутні, а в пучку між всіма парами перехідні впливи однакові.

Результати розрахунків для обраних кабелів FTP надані у табл. 3. Зауважимо, що застосування цих кабелів передбачає їх 100 % завантаження.

Таблиця 3 – Довжина ліній VDSL2 при 100 % завантаженні кабелю FTP-cat.5-25x2x0,51 та FTP-cat.5e-(nx4)x2x0,51

R, Мбіт/с DS/US	АЗРСГП, дБм/Гц					
	-140		-120		-100	
	(nx4)x2	25x2	(nx4)x2	25x2	(nx4)x2	25x2
План В (B7-5 [997-M2x-A])						
60/70	0,24	0,08	0,14	0,06	-	-
50/50	0,81	0,49	0,42	0,34	-	-
40/20	1,12	1,01	0,67	0,62	0,15	0,14
30/10	1,48	1,36	0,92	0,88	0,35	0,34
План А (B8-4 [998-M2x-A])						
80/45	0,36	0,13	0,19	0,1	-	-
60/20	0,9	0,79	0,51	0,46	-	-
50/15	1,07	0,99	0,67	0,61	0,17	0,16
40/8	1,27	1,19	0,79	0,77	0,29	0,29
30/3	1,65	1,56	1,02	0,98	0,43	0,43

Порівняємо між собою результати розрахунків досяжних швидкостей передавання СП VDSL2 при використанні кабелів ТП та FTP-cat.5. При цьому зручно користуватися не окремими значеннями, наведеними у таблицях, а графіками залежності  $R(l)$ . Вище вказувалося про забезпечення рівних умов при порівнянні ТП та «витої пари», однією з таких умов є однаковий діаметр жил. Кабелі типу «вита пара» виготовляються з діаметром жил 0,51 мм, тому порівнювати їх доцільно з кабелем ТП-10x2x0,5.

Залежності  $R(l)$  кабелів ТП-10x2x0,5, FTP-cat.5-25x2x0,51 та FTP-cat.5e-(nx4)x2x0,51 подані на рис. 2.

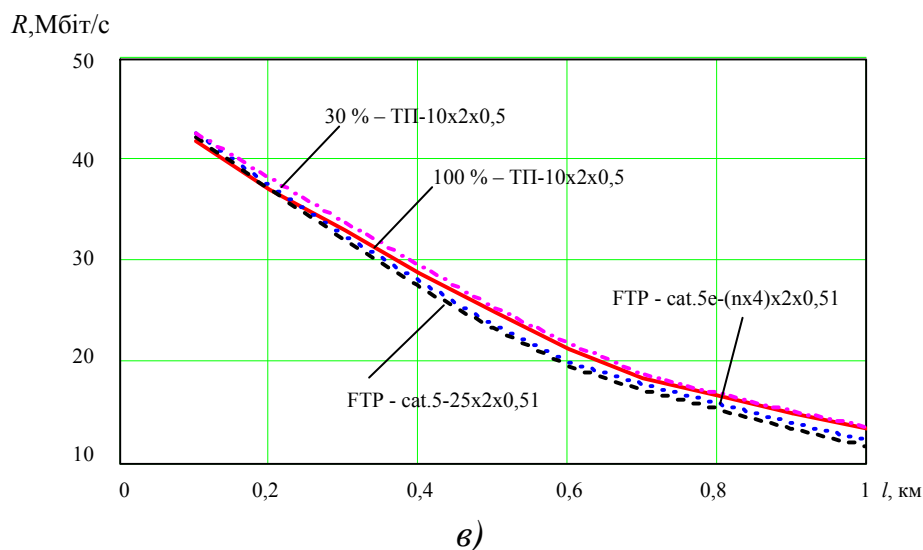
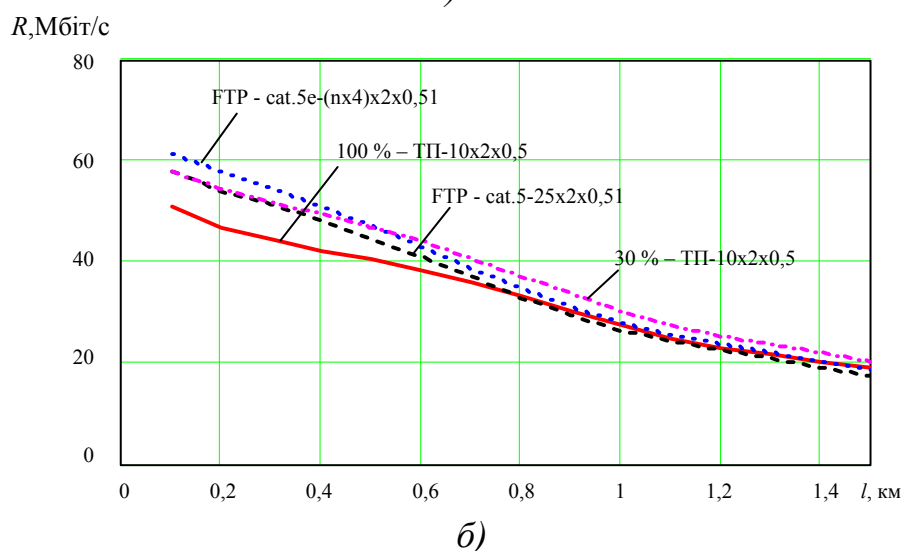
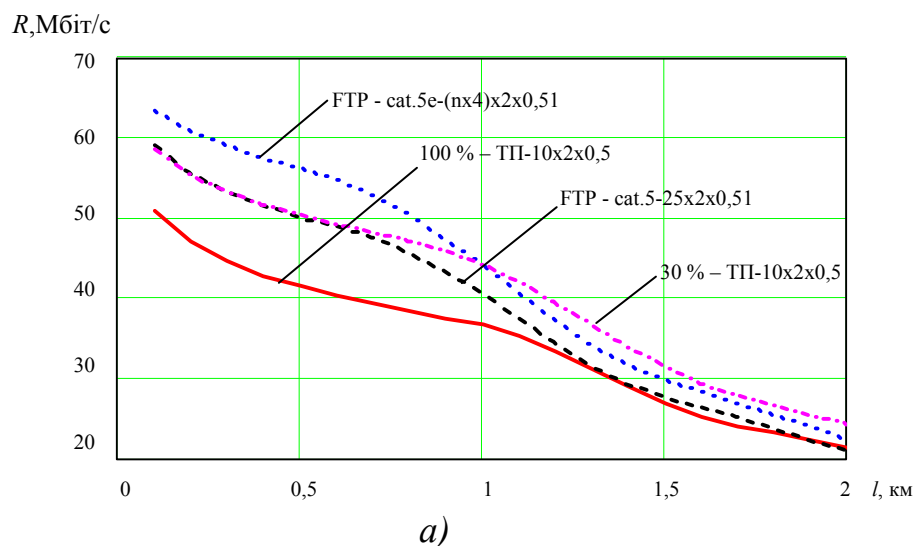


Рисунок 2 – Залежність швидкості передавання downstream СП VDSL2 план В від довжини АЛ при АЗРСГП: мінус 140 дБм/Гц (а), мінус 120 дБм/Гц (б), мінус 100 дБм/Гц (в), довжини АЛ при АЗРСГП: мінус 140 дБм/Гц (а), мінус 120 дБм/Гц (б), мінус 100 дБм/Гц (в)

Проаналізуємо отримані результати:

- співвідношення між залежностями  $R(l)$  для ТП та FTP-cat.5 однакові при використанні СП VDSL2 частотного плану А та В, тому на рис. 2 надані залежності тільки для частотного плану В;
- розбіжності у швидкостях передавання ТП та FTP-cat.5 тим більші, чим менша АЗРСГП, тобто у тих випадках, коли домінуючими є перехідні завади (при АЗРСГП = мінус 140...мінус 120 дБм/Гц);
- у залежності від довжини АЛ, графіки можна поділити на дві частини, коли швидкість передавання при використанні кабелю FTP-cat.5 більша за швидкість передавання при використанні кабелю ТП та відповідно менша. Таке співвідношення між залежностями  $R(l)$  для ТП та FTP-cat.5 пояснюється відмінністю параметрів передачі цих типів кабелів: FTP-cat.5 має кращі показники по перехідних загасаннях на ближній  $A_0(f)$  та дальній кінець  $A_l(f)$ , але поступається по власному загасанню  $\alpha(f)$ . Отже, при малій довжині АЛ, коли перехідні завади на дальньому кінці є домінуючими – перевага за FTP-cat.5, який має більші перехідні загасання між парами. При збільшенні довжини АЛ потужність перехідних завад зменшується та на перший план виходить власне загасання лінії, яке менше для кабелю ТП. В залежності від рівня АЗРСГП рівність швидкостей для ТП та FTP-cat.5 спостерігається при довжині АЛ:  $\approx 1$  км (мінус 140 дБм/Гц),  $\approx 0,6$  км (мінус 120 дБм/Гц) та  $\approx 0,2$  км (мінус 100 дБм/Гц);
- для забезпечення такої самої дальності зв'язку по кабелю ТП, як і по кабелю FTP-cat.5, при високих швидкостях передавання ( $R \geq 40$  Мбіт/с), необхідно зменшити потужність перехідних завад, що можливо виконати лише зменшенням відсотка завантаження кабелю ТП. Результати розрахунків показують, що однакова дальність зв'язку спостерігається при  $\approx 30\%$  завантаженні кабелю ТП-10x2x0,5 та 100% завантаженні кабелю FTP-cat.5-25x2x0,51.

Отже, враховуючи високу вартість кабелю типу «вита пара» (так кабель марки FTP25-C5-SOLID-OUTDOOR у  $\approx 4$  рази дорожчий за ТП-10x2x0,5, а FTP24-C5e-SOLID-INDOOR – у  $\approx 5$  разів [6, 7]), застосовувати його доцільно, коли довжина АЛ не перевищує 0,5 км, за великої щільності абонентів, які потребують високі швидкості передавання, в інших випадках виправданим буде застосування кабелів типу ТП-10x2 з діаметром жил 0,64; 0,5 або 0,4 мм.

**На завершення підсумуємо, що у даній статті** здійснено розрахунки швидкості передавання СП VDSL2 у багатопарних кабелях FTP 5-ї категорії та типу ТП, виконано порівняння отриманих результатів та дані рекомендації щодо доцільності застосування цих типів кабелю при проектуванні ЦАЛ на базі технології VDSL2.

### Література

1. Broadband passes 600 million subscriber milestone: A news release from Point Topic and the Broadband Forum. Q1 2012. [Електронний ресурс] / Point Topic Ltd. – <http://point-topic.com/dslanalysis.php.02.08.2012>.
2. Ляховецький Л.М. Визначення точної формули розрахунку швидкості передавання інформації на несучих систем передачі ортогональними гармонічними сигналами / Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – № 1. – С. 138 – 143;
3. Рекомендація ITU-T MCE-T G.993.2 Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) (Прийомопередавачі надшвидкісної цифрової абонентської лінії 2 (VDSL2)).
4. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник; Под общей ред. В.А. Балашова. – М.: ЭкоТрендз, 2008. – 262 с.
5. Каталог продукції ООО «Азовкабель». [Електронний ресурс] – [www.azovcable.com.ua](http://www.azovcable.com.ua). 29.07.2012.
6. Каталог продукції Hiperline. [Електронний ресурс] – [www.abn.ru/catalog/hyperline/cable\\_pair](http://www.abn.ru/catalog/hyperline/cable_pair). 29.07.2012.
7. Прайс-лист ПАО «Одескабель», [Електронний ресурс] – [www.lanmaster.com.ua](http://www.lanmaster.com.ua). 30.07.2012.