

УДК 621.391

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕЛЕФОННИХ КАБЕЛІВ У ДІАПАЗОНІ ЧАСТОТ ДО 30 МГЦ

**Research of the Electrical Parameters
of the Telephone Cable
in the Frequency Range Up To 30 MHz**

В. Балашов, доктор технічних наук, професор,
директор,
e-mail: bva@oniis.org.ua

А. Лашко, кандидат технічних наук, доцент,
провідний науковий співробітник,
e-mail: lashko@oniis.org.ua

Л. Ляховецький, кандидат технічних наук,
заступник директора з наукової роботи,
e-mail: lm@oniis.org.ua

ДП «Одеський науково-дослідний
інститут зв'язку»,

В. Орешков, кандидат технічних наук,
старший викладач,
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
e-mail: oreshkov_vi@ukr.net

Ф. Топорков, заступник директора, ПАТ «Одескабель»,
e-mail: toporkov@odeskabel.com

V. Balashov, doctor of technical sciences, professor,
director,
e-mail: bva@oniis.org.ua,

A. Lashko, candidate of technical sciences,
assistant professor, leading researcher,
e-mail: lashko@oniis.org.ua

L. Lyakhovetsky, candidate of technical sciences,
deputy director for scientific work,
e-mail: lm@oniis.org.ua

State Enterprise «Odessa Scientific Research Institute
of Telecommunications»,

V. Oreshkov, candidate of technical sciences,
senior lecturer, Odessa national academy
of telecommunications named after A.S. Popov,
e-mail: oreshkov_vi@ukr.net,

F. Toporkov, deputy director, PJSC «Odeskabel»,
e-mail: toporkov@odeskabel.com

Досліджено електричні параметри вітчизняних телефонних кабелів у діапазоні частот від 1 до 30 МГц. Надано результати експериментального визначення частотних характеристик параметрів передавання і взаємного впливу телефонних кабелів виробництва ПАТ «Одескабель» марки ТППеп 10х2х0,4 та ТППепЗ 10х2х0,4. Визначено відповідність кабелів вітчизняного виробництва вимогам, пред'явленим до кабелів цифрових абонентських ліній для надання послуг за технологією VDSL2. За результатами вимірювань визначено апроксимаційні формули частотної залежності власного загасання, перехідного загасання на ближньому кінці та захищеності від перехідних завад на дальньому кінці, які пропонується застосовувати під час моделювання систем передавання за технологією VDSL2 на вітчизняних мережах широкосмугового доступу, побудованих на базі зазначених кабелів.

The work is devoted to the research of the electrical parameters of the domestic telephone cables in the frequency range from 1 to 30 MHz. The paper presents the results of the experimental determination of the frequency characteristics of the transmission parameters and the crosstalk of the TPPep 10x2x0,4 and TPPepZ 10x2x0,4 types telephone cables produced by ODESKABEL PJSC. The conformity of the domestic production cables with the requirements for digital subscriber line cables for VDSL2 technology services is determined. According to the results of the measurements, approximation formulas for the frequency dependence of the own attenuation, near end crosstalk and equal level far end crosstalk, which are proposed to be used in the modelling of the transmission systems using VDSL2 technology on the domestic broadband access networks based on these cables, are determined.

Ключові слова: телефонний кабель, параметри передавання, параметри взаємного впливу, частотні характеристики, технологія VDSL2.
Keywords: telephone cable, transmission parameters, crosstalk parameters, frequency characteristics, VDSL2 technology.

Нинішній етап розвитку вітчизняних мереж широкосмугового доступу (ШД) характеризується впровадженням нових високошвидкісних технологій передавання даних як оптичних, так і xDSL-технологій. Зокрема, у випадках, коли оператор вже має потужну мережу абонентських ліній (АЛ), побудованих із використанням багатопарних телефонних кабелів, задоволення потреб абонентів

у збільшенні швидкості доступу можна забезпечити шляхом часткової модернізації мережі з переходом на більш швидкісну xDSL-технологію. Такий шлях розвитку обрало ПАТ «Укртелеком», яке почало перебудовувати власну мережу ШД з класичного варіанту, коли вузол доступу встановлювався на телефонній станції, а довжина АЛ сягала 2,5 км (а в окремих випадках і більше), на варіант за концепцією

FTTC (*Fiber to the Curb*), коли вузол доступу виноситься до розподільної шафи і довжина АЛ (у 90 % випадків) не перевищує 500 м. Така модернізація дозволяє замінити системи передавання (СП) за технологією ADSL2+ (СП ADSL2+) на СП за технологією VDSL2 (СП VDSL2), відповідно підвищити швидкість доступу у кілька разів (як відомо, швидкість передавання СП xDSL суттєво залежить від довжини АЛ) [1, 2].

Визначення характеристик ШД за технологією VDSL2 та оцінка ефективності впровадження технології VDSL2 на вітчизняних мережах ШД вимагають визначення параметрів передавання та взаємного впливу вітчизняних телефонних кабелів у діапазоні частот до 30 МГц [3]. Потрібно підкреслити, що на сьогодні, згідно з чинними в Україні нормативними документами, єдиними вимогами, що пред'являються до електричних параметрів вітчизняних телефонних кабелів, є відповідність параметрів кабелів на постійному струмі [4] та відповідність частотних характеристик параметрів передавання і взаємного впливу ТУ розробників [5], у яких визначено вимоги до цих параметрів лише у діапазоні частот до 1 МГц. Технологія VDSL2 передбачає використання телефонних кабелів (на вітчизняних мережах, як правило, це кабелі типу ТПП з кількістю пар від 10 до 100) на розподільній ділянці між розподільною шафою і розподільною коробкою [3].

Мета дослідження — експериментальне визначення частотних характеристик параметрів передавання і взаємного впливу телефонних кабелів виробництва ПАТ «Одескабель» ТППеп 10x2x0,4 та ТППепЗ 10x2x0,4 у діапазоні частот від 1 до 30 МГц та їх апроксимація з метою подальшого

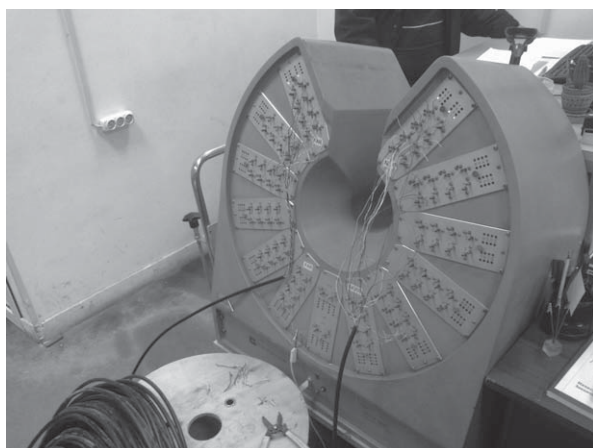


Рис. 1. Процес вимірювання параметрів телефонного кабеля ТППепЗ 10x2x0,4 вимірювальною системою AESA (Швейцарія)

Fig. 1. The process of measuring the parameters of the TPPepZ 10x2x0,4 telephone cable by measuring system AESA (Switzerland)

Таблиця 1. Характеристики зразків телефонних кабелів

Table 1. Characteristics of samples of telephone cables

Марка кабеля	Довжина, м	Рік виробництва
ТППепЗ 10x2x0,4	150	2017
ТППепЗ 10x2x0,4	280	2017
ТППеп 10x2x0,4	72	2009
ТППеп 10x2x0,4	90	2005

Таблиця 2. Усереднені параметри передавання кабелів ТППепЗ і ТППеп

Table 2. Averaged transmission parameters of TPPepZ and TPPep cables

Кабель	Опір жили <i>a</i> , Ом/км	Опір жили <i>b</i> , Ом/км	Омічна асиметрія, %	Робоча ємність, нФ/км	Ємнісна асиметрія, пФ/100 м
ТППепЗ 10x2x0,4/ ТППеп 10x2x0,4	137,49/ 134,4	137,35/ 133,5	0,69/ 2,33	47,6/ 39,9	76/ 34,2

використання для моделювання роботи систем передавання за технологією VDSL2 цими кабелями.

Дослідження електричних параметрів кабелів проводилися у вимірювальній лабораторії ПАТ «Одескабель». Для вимірювання електричних параметрів телефонних кабелів використано вимірювальну систему AESA (Швейцарія) (рис. 1).

Характеристики зразків телефонних кабелів, які використовувалися у дослідженні, подано у табл. 1. У дослідженні використовувалися чотири зразки кабелів ТППеп та ТППепЗ з десятьма парами та діаметром жил 0,4 мм різного року виробництва та різної довжини. Символ «З» у маркуванні кабеля вказує на наявність гідрофобного заповнювача у складі осердя відповідного кабеля. Умови зберігання та експлуатації кабелів відповідали встановленим вимогам [4]. Вимірювання електричних параметрів проводилися як окремо для зазначених кабелів, так і для з'єднаних кабелів однієї марки (за допомогою муфти, плінтів «Krone» і «Mondragon»), відповідно максимальна довжина кабеля ТППепЗ 10x2x0,4 складала 430 м, а ТППеп 10x2x0,4 — 162 м.

Результати вимірювання електричних параметрів телефонних кабелів у діапазоні частот до 30 МГц наведено у табл. 2—4. Усереднені параметри передавання кабелів ТППепЗ і ТППеп на постійному струмі подано у табл. 2. Усереднені частотні характеристики

параметрів передавання кабелів ТППепЗ і ТППеп подано у табл. 3. Узагальнені середні значення перехідних загасань на ближньому кінці, перехідних загасань на далекому кінці, захищеності на далекому кінці (*NEXT*, *FEXT*, *ELFEXT*) та їх середньоквадратичних відхилень кабелів ТППепЗ і ТППеп подано у табл. 4.

Згідно з [3, 6], необхідно забезпечити виконання таких вимог, які пред'являються до кабелів цифрових абонентських ліній для надання послуг за технологією *VDSL2*:

- робоча ємність повинна міститися у межах (25...60) нФ/км;
- опір шлейфу (сума опорів двох жил *a* і *b* діаметром 0,4 мм) повинен бути не більшим за 280 Ом/км;
- загасання асиметрії на частоті 12 МГц повинно перевищувати 38 дБ;
- перехідне загасання на ближньому кінці на частоті 1 МГц повинно перевищувати 44 дБ;

- захищеність від перехідних завад на дальньому кінці на частоті 1 МГц повинна перевищувати 38 дБ.

Порівняння усереднених електричних параметрів телефонних кабелів (табл. 2—4) з вимогами [3, 6] засвідчили, що кабелі вітчизняного виробництва відповідають вимогам, пред'явленим до кабелів цифрових абонентських ліній для надання послуг за технологією *VDSL2*.

Методика моделювання роботи систем передавання за технологіями *xDSL* вимагає отримання значень власного загасання (*A*) та перехідних загасань на ближньому (*A_o*) і дальньому (*A_i*) кінцях у всій робочій смузі частот відповідних СП *xDSL* [1, 7]. Перехідне загасання на дальньому кінці визначається сумою захищеності від перехідних завад на дальньому кінці (*A_з*) та власного загасання, тому як вихідні дані параметрів лінії передавання, які задаються під час моделювання СП *xDSL*, зручно

Таблиця 3. Усереднені частотні характеристики параметрів передавання кабелів ТППепЗ і ТППеп

Table 3. The averaged frequency characteristics of transmission parameters of TPPepZ and TPPep cables

Кабель	Параметри кабелю	Частота, МГц					
		1	4	10	16	20	31,25
ТППепЗ 10x2x0,4/ ТППеп 10x2x0,4	Загасання, дБ/100м	2,14/ 2,04	4,17/ 3,99	6,69/ 6,34	8,57/ 8,13	9,7/ 9,37	12,59/ 11,92
	Хвильовий опір, Ом	116,7/ 118,4	113,1/ 115,6	112,9/ 113,9	112,8/ 113,2	115,5/ 118,2	125,2/ 117,1
	Загасання неузгодженості, дБ	18,8/ 14,3	19,1/ 18,3	16,7/ 16,2	16,9/ 18,4	15,1/ 16,6	24,3/ 23,2
	Загасання асиметрії, дБ	44,4/ 41,7	45,7/ 42	50,5/ 49,4	49,2/ 50,3	51,9/ 49,8	48,7/ 48,2

Таблиця 4. Узагальнені середні значення перехідних загасань на ближньому кінці (*A_{o сер}*), перехідних загасань на далекому кінці (*A_{i сер}*), захищеності на далекому кінці (*A_{з сер}*) та їх середньоквадратичних відхилень (σ) для кабелів ТППепЗ і ТППеп

Table 4. The generalized mean values of *NEXT*, *FEXT* and *ELFEXT* and their mean square deviations (σ) for TPPepZ and TPPep cables

Кабель	Параметри кабеля	Частота, МГц					
		1	4	10	16	20	31,25
ТППепЗ 10x2x0,4/ ТППеп 10x2x0,4	<i>A_{o сер}</i> , дБ/100 м	61,9/ 60,3	51,1/ 49,8	44,8/ 44,2	42,4/ 39,4	39,6/ 40,4	36,6/ 38
	σ , дБ	5,6/ 5,8	5,6/ 5,6	5,8/ 6,6	5,6/ 5,4	5,1/ 5,5	5,1/ 5,7
	<i>A_{i сер}</i> , дБ/100 м	72,3/ 70,6	61,7/ 60,5	54,9/ 54,3	50,8/ 50,3	50,1/ 50	46,4/ 48,1
	σ , дБ	7,6/ 8,4	7,6/ 8	5,7/ 7,6	6,2/ 6,2	6,6/ 6,5	5,3/ 6,3
	<i>A_{з сер}</i> , дБ/100 м	70,1/ 68,5	57,4/ 56,4	46,7/ 48,1	42,2/ 42,1	39,2/ 40,6	32,5/ 36
	σ , дБ	7,7/ 8,4	7,6/ 9,6	6,1/ 7,6	6,3/ 6,3	6,8/ 6,4	5,7/ 6,3

Таблиця 5. Коефіцієнти апроксимації частотних параметрів кабелів

Table 5. Coefficients of approximation of frequency parameters of cables

Параметр	Функції апроксимації	Коефіцієнти апроксимації	Кабель	
			ТППепЗ 10x2x0,4	ТППеп 10x2x0,4
A , дБ/100 м	$A = a + b f^c$	a	0,9	0,86
		b	1,24	1,18
		c	0,655	0,663
$A_0; A_3$, дБ/100 м	$A_0; A_3 = x - y \log(f)$	x	61,9; 70,1	60,3; 68,5
		y	17,14; 23,75	15,3; 21,44

обмежити власним загасанням (A), перехідним загасанням на ближньому кінці (A_0) та захищеністю від перехідних завод на дальньому кінці (A_3).

Відомо, що у сфері високих частот коефіцієнт загасання збільшується пропорційно кореню квадратному від частоти, а параметри взаємного впливу зменшуються за логарифмічним законом [8]. Це дозволило вибрати як апроксимувальні ступеневу функцію з початковим ненульовим значенням щодо коефіцієнта загасання та функцію десяткового логарифма для перехідного загасання на ближньому кінці й захищеності від перехідних завод на дальньому кінці.

Результати визначення апроксимувальних коефіцієнтів подано у табл. 5. Коефіцієнти апроксимації визначалися шляхом розв'язання систем рівнянь за умови точного збігання розрахунку з результатами вимірювань (табл. 3 і 4) на частотах 1 та 20 МГц (частота f у формули підставляється у мегагерцах).

Порівняння графіків частотної залежності власного загасання з лінійною інтерполяцією за узагальненими середніми значеннями результатів вимірювання та за апроксимаційною функцією для кабелів ТППепЗ 10x2x0,4 і ТППеп 10x2x0,4 подано відповідно на рис. 2 та 3. Також на рисунках додано графіки частотної залежності власного загасання з лінійною інтерполяцією (показано неперервною лінією), визначені з довідника [1], у якому надано табличні дані для кабеля ТП-0,4 у смузі частот до 12 МГц, значення вище 12 МГц визначено як лінійні екстраполяції (продовжено пунктирними лініями) від двох останніх відомих точок (на частотах 11,5 та 12 МГц).

Відповідно на рис. 4—7 подано порівняння графіків частотної залежності перехідного загасання

на ближньому кінці та захищеності від перехідних завод на дальньому кінці з лінійною інтерполяцією за узагальненими середніми значеннями результатів вимірювання та за апроксимаційною функцією для кабелів ТППепЗ 10x2x0,4 і ТППеп 10x2x0,4. Також на відповідних рисунках додано графіки частотних залежностей перехідного загасання на ближньому кінці та захищеності від перехідних завод на дальньому кінці для кабелів типу ТП, визначені за апроксимаційними формулами для смуги частот від 10 кГц до 2 МГц з довідника [1]. Для порівняння з результатами вимірювань графіки за апроксимаційними формулами із довідника [1] продовжено до частоти 30 МГц.

Порівняння апроксимованих характеристик з результатами вимірювань дозволяє зробити такі висновки:

- значення власного загасання, розраховані за апроксимаційною формулою, відрізняються від результатів вимірювання для обох марок кабелів



Рис. 2. Частотна залежність власного загасання за узагальненими середніми значеннями для кабеля ТППепЗ 10x2x0,4 та визначена за довідником [1] для кабеля типу ТПП з діаметром жил 0,4

Fig. 2. Frequency dependence of the own attenuation according to the generalized average values for the TPPepZ 10x2x0,4 cable and determined by handbook [1] for the TPP type cable with a core diameter 0.4

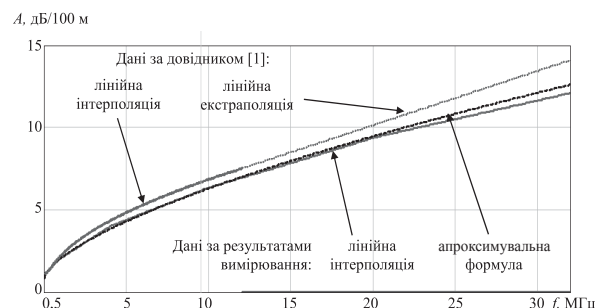


Рис. 3. Частотна залежність власного загасання за узагальненими середніми значеннями для кабеля ТППеп 10x2x0,4 та визначена за довідником [1] для кабеля типу ТПП з діаметром жил 0,4

Fig. 3. Frequency dependence of the own attenuation according to the generalized average values for the TPPep 10x2x0,4 cable and determined by handbook [1] for the TPP type cable with a core diameter 0.4

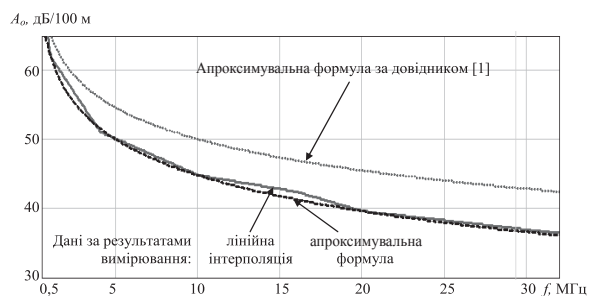


Рис. 4. Частотна залежність перехідного загасання на ближньому кінці за узагальненими середніми значеннями для кабелю ТППепЗ 10х2х0,4 та визначена за довідником [1] для кабелю типу ТПП з діаметром жил 0,4

Fig. 4. Frequency dependence of NEXT according to the generalized average values for the TPPepZ 10x2x0,4 cable and determined by handbook [1] for the TPP type cable with a core diameter 0.4

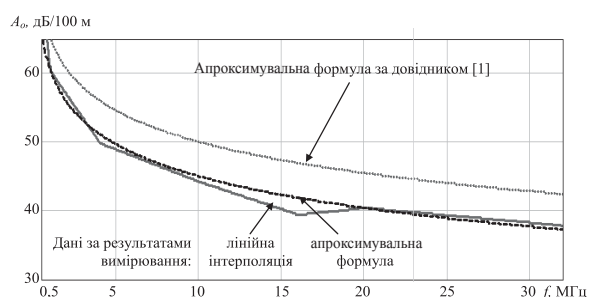


Рис. 5. Частотна залежність перехідного загасання на ближньому кінці за узагальненими середніми значеннями для кабелю ТППеп 10х2х0,4 та визначена за довідником [1] для кабелю типу ТПП з діаметром жил 0,4

Fig. 5. Frequency dependence of NEXT according to the generalized average values for the TPPep 10x2x0,4 cable and determined by handbook [1] for the TPP type cable with a core diameter 0.4

не більше ніж на 5 % (максимальна розбіжність спостерігається на частоті 4 МГц: 4,7 % для ТППепЗ та 4,3 % для ТППеп). Відзначимо, що для обох марок кабелів частотна залежність власного загасання за узагальненими середніми значеннями менша від визначеної за довідником [1] для кабелю ТППеп-0,4 (у довіднику дані подано лише у смузі частот до 12 МГц), значна розбіжність спостерігається між характеристиками за результатами вимірювань та екстрапольованими даними довідника у смузі частот, вищих за 20 МГц, яка на частоті 30 МГц досягає 1,5 дБ/100 м;

■ значення перехідного загасання на ближньому кінці за апроксимаційною формулою відрізняються від результатів вимірювання для кабелю ТППепЗ не більше ніж на 2,3 %, а для кабелю ТППеп — 6,3 % (в обох випадках на частоті 16 МГц). Для обох марок кабелів спостерігається значна розбіжність у смузі частот, вищих за 2 МГц, частотної залежності загасання на ближньому кінці за узагальненими середні-

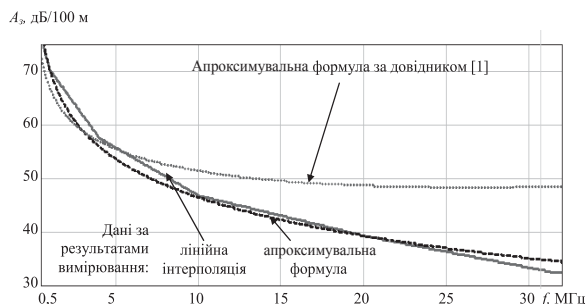


Рис. 6. Частотна залежність захищеності від перехідних завад на дальньому кінці за узагальненими середніми значеннями для кабелю ТППепЗ 10х2х0,4 та визначена за довідником [1] для кабелю типу ТПП з діаметром жил 0,4

Fig. 6. Frequency dependence of ELFEXT according to the generalized average values for the TPPepZ 10x2x0,4 cable and determined by handbook [1] for the TPP type cable with a core diameter 0.4

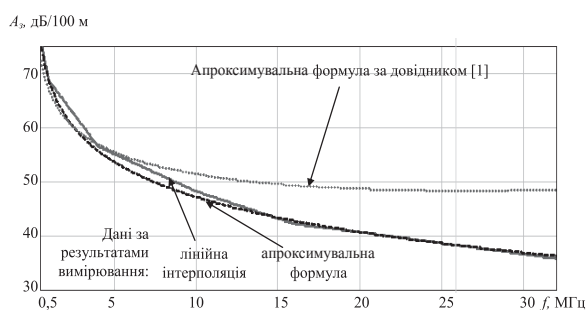


Рис. 7. Частотна залежність захищеності від перехідних завад на дальньому кінці за узагальненими середніми значеннями для кабелю ТППеп 10х2х0,4 та визначена за довідником [1] для кабелю типу ТПП з діаметром жил 0,4

Fig. 7. Frequency dependence of ELFEXT according to the generalized average values for the TPPep 10x2x0,4 cable and determined by handbook [1] for the TPP type cable with a core diameter 0.4

ми значеннями та визначеної за довідником [1], яка досягає 10 дБ/100 м на частоті 30 МГц;

■ значення захищеності від перехідних завад на дальньому кінці за апроксимаційною формулою відрізняються від результатів вимірювання для кабелю ТППепЗ не більше ніж на 6,5 % (на частоті 31,25 МГц), а для кабелю ТППеп — 2,2 % (на частоті 10 МГц). Відзначимо, що для обох марок кабелів спостерігається значна розбіжність у смузі частот, вищих за 5 МГц, частотної залежності захищеності від перехідних завад на дальньому кінці за узагальненими середніми значеннями та визначеної за довідником [1], яка досягає 15 дБ/100 м на частоті 30 МГц;

■ усереднене за частотами значення розбіжності апроксимованих характеристик з результатами вимірювань складає (1...2) %.

Примітка. Ці висновки стосуються лише зразків кабелів, для яких проводилися вимірювання.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження частотних характеристик параметрів телефонних кабелів типу ТППеп 10x2x0,4 та ТППепЗ 10x2x0,4 у діапазоні частот від 1 до 30 МГц:


* визначено усереднені значення електричних параметрів передавання і взаємного впливу вітчизняних телефонних кабелів марок ТППеп 10x2x0,4 та ТППепЗ 10x2x0,4 у діапазоні частот до 30 МГц;

* встановлено відповідність параметрів передавання та взаємного впливу вітчизняних телефонних кабелів марок ТППеп 10x2x0,4 та ТППепЗ 10x2x0,4,

прийнятих для модернізації телефонної мережі ПАТ «Укртелеком», вимогам Рекомендацій МСЕ-Т, які стосуються систем передавання за технологією VDSL2 — основної технології широкопалосового доступу модернізованої мережі;

* визначено апроксимаційні функції частотних характеристик параметрів телефонних кабелів (власного загасання, перехідного загасання на ближньому кінці та захищеності від перехідних завад на дальньому кінці), необхідних для моделювання систем передавання за технологією VDSL2, у тому числі й найсучасніших з частотними планами до 35 МГц.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Балашов В.А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник / Под общей ред. В.А. Балашова. — М.: Эко-Трендз (Balashov V.A. Tehnologii shirokopolosnogo dostupa xDSL. Inzhenerno-tehnicheskii spravochnik / Pod obschey redaktsiyei V.A. Balashova. — М.: Eko-trendz). — 2009. — 256 с/s.
2. Перспективні телекомунікаційні технології мереж широкопалосового доступу: монографія / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков, В.В. Педяш, О.С. Решетнікова, А.В. Солдаткіна] — Одеса: КУПРІЄНКО СВ (Perspektivni telekomunikatsijni tehnologii merezh shirokopolosnogo dostupu: monographiya / [V.O. Balashov, A.G. Lashko, L.M. Liakhovetskiy, V.I. Oreshkov, V.V. Pedjash, O.S. Reshetnikova, A.V. Soldatkina] — Odesa: KUPRIENKO CV). — 2016. — 200 с/s.
3. ITU-T Recommendation G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). [Text]. — Appr. 2015, January. — Geneva, 2015. — 313 p.
4. КНД 45-189 Керівництво з експлуатації лінійно-кабельних споруд місцевих мереж зв'язку. Видання офіційне. — К.: Зв'язок (KND 45-189 Kerivnitstvo z ekspluatatsii liniyno-kabelnih sporud mistsevih merezh zvjazku. Vidannja ofitsijne. — К.: Zvjazok), — 2003. — 231 с/s.
5. ТУ У 05758730.014 Кабелі телефонні з поліетиленовою ізоляцією і пластмасовою оболонкою (TU U 05758730.014 Kabeli telefonni z polietilenovuju izoljatsieju i plastmassovuju obolonkoju).
6. ITU-T Recommendation L.19: Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL. [Text]. — Appr. 2010, May. — Geneva, 2010. — 20 p.
7. Балашов В.А. Системи передачі ортогональними гармонічними сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробієнко, Л.М. Ляховецький — М.: Эко-Трендз (Balashov V.A. Sistemi peredachi ortogonalnimi garmonicheskimi signalami / V.A. Balashov, P.P. Vorobienko, L.M. Liakhovetskiy — М.: Eko-trendz), — 2012. — 228 с/s.
8. Справочник строителя кабельных сооружений связи / Барон Д.А., Гершман Б.И., Гроднев И.И. и др. — М.: Связь (Spravochnik stroitelya kabelnih sooruzheniy svyazi / Baron D.A., Gershman B.I., Grodnev I.I. i dr. — М.: Sviaz), — 1971. — 672 с/s. 

Отримано / received: 31.08.2018.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. Корчинським В.В. (Україна).
D. Sc. (Techn.) V.V. Korchinskyi, Ukraine, recommended this article to be published.