Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2020. Вип. № 2(4)
ISSN 2706-7386
УДК 623.4.018 DOI: 10.37701/dndivsovt.4.2020.12

Руденко О.В., Доманов І.О., Кравченко В.С. *Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ПРИ ОЦІНЦІ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОЖИЛЬНИХ СИМЕТРИЧНИХ КАБЕЛІВ ПАРНОЇ СКРУТКИ ДЛЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статі запропоновано варіант методичного підходу при оцінці характеристик багатожильних симетричних кабелів парної скрутки для систем цифрового зв'язку. Наведено перелік сучасних міжнародних стандартів, які визначають загальні вимоги до кабелів зв'язку, перевірки вимог з живучості та стійкості до зовнішніх факторів, проведення перевірок конструктивних та електричних характеристик. Розглянуто можливості оптимізації процесу оцінки характеристик кабелю за рахунок використання сучасних автоматизованих вимірювальних систем, що значно скоротить час і витрати на проведення оцінки.

Ключові слова: *методика оцінки, оцінка характеристик, кабель зв'язку, системи цифрового зв'язку.*

Постановка проблеми. Впродовж останніх років Збройні Сили України зробили великий крок вперед у напрямку впровадження цифрових систем передавання та комутації інформації у систему зв'язку і автоматизації, розробці нових апаратних зв'язку до складу яких входять сучасні цифрові засоби зв'язку: радіо, транкінгового радіорелейного, тропосферного, супутникового і проводового.

У зв'язку з переходом військ зв'язку на сучасні цифрові засоби передачі і обробки інформації виникла потреба у розгортанні і розвитку локальних мереж зв'язку для передачі цифрової інформації.

Штатно-табельні кабелі зв'язку, які є на озброєнні Збройних Сил України, за своїми термінами експлуатації (зберігання) виявилися непридатними до подальшого використання, а їх тактико-технічні характеристики не дозволяли організувати передачу цифрової інформації, внаслідок чого виникла потреба у забезпеченні військ зв'язку багатожильним симетричним кабелем для організації систем цифрового зв'язку.

Підприємствами промисловості України виготовляються багатожильні симетричні кабелі, за допомогою яких можливо організувати передачу цифрової інформації.

Проте, для потреб Збройних Сил України, внаслідок необхідності експлуатації кабелів зв'язку в жорстких польових умовах впродовж року та прокладання в ґрунті, підвішуванні на опорах, використання в умовах 100% вологості, до них висуваються підвищені вимоги щодо живучості та стійкості до кліматичних факторів зовнішнього середовища, стійкості до впливу механічних факторів, захищеності від електромагнітного впливу.

Актуальність дослідження. Авторами статті пропонується варіант методичного підходу до оцінки характеристик багатожильного симетричного кабелю парної скрутки відповідно до вимог національних та міжнародних стандартів, що діють на сьогоднішній день. Актуальність теми полягає у відсутності подібних методичних матеріалів з цього питання.

Основний матеріал досліджень. У ході дослідження проведено аналіз діючих нормативно-правових актів з питань вимог до кабелів зв'язку, методів оцінки і розрахунків їх характеристик. За результатами аналізу встановлено, що для оцінки характеристик багатожильного і симетричного кабелю зв'язку можуть використовуватися стандарти Міжнародної електротехнічної компанії, а також Національні стандарти України і міждержавні стандарти, що розроблені на їх основі [1,2,9-15].

Характеристики (властивості) кабелю, які підлягають оцінці, пропонується умовно поділити на наступні шість груп (Рис.1):

© Руденко О.В., Доманов І.О., Кравченко В.С., 2020

ISSN 2706-7386

I група – конструктивні характеристики (конструкція, масо-габаритні характеристики, маркування, упаковка);

II група – електричні характеристики;

III група – характеристики стійкості до впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища;

IV група – характеристики стійкості до впливу механічних факторів;

V група – характеристики передачі і пропускної спроможності;

VI група – характеристики стійкості і надійності.

Рис.1. Характеристики (властивості) кабелю, що підлягають оцінці

Під час перевірки конструктивних характеристик пропонується перевіряти відповідність конструкції, конструктивних розмірів та матеріалів елементів, масо-габаритних характеристик, маркування і упаковки (Рис.2) згідно вимог пп. 5.1-5.15 [1], [2], [3].

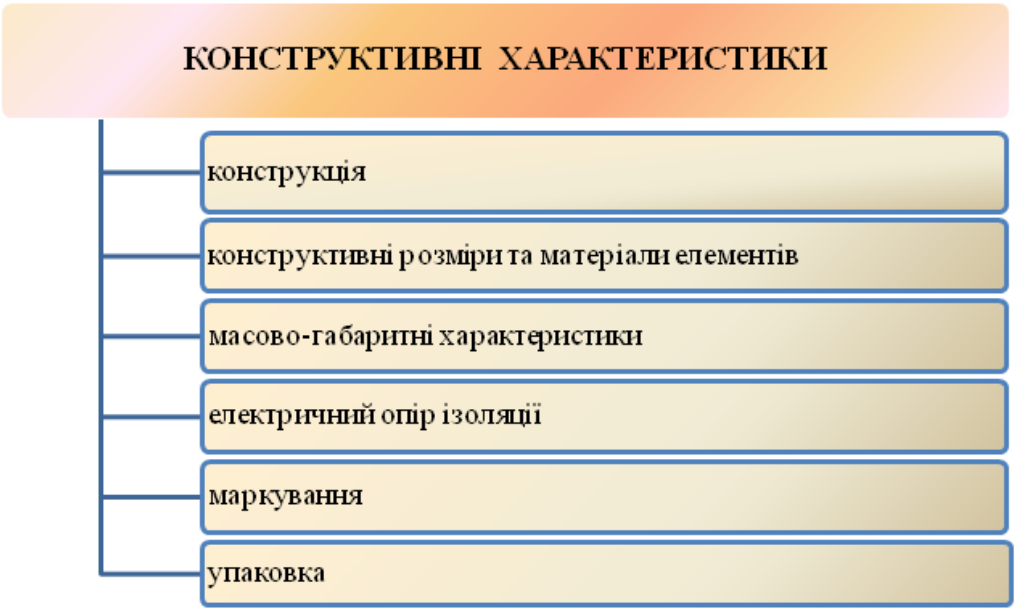

Рис.2. Конструктивні характеристики кабелю

ISSN 2706-7386

Під час оцінки електричних характеристик на відповідність заявленим розробником значенням тактико-технічних характеристик доцільно перевіряти наступні характеристики кабелю (Рис.3):

електричний опір струмопровідних жил згідно вимог п. 5.1 [4];

електричний опір екрану згідно вимог [5];

омічна асиметрія жил у парі згідно вимог п. 7.3 [2];

електричний опір ізоляції згідно вимог п. 5.3 [4];

випробувальна напруга між жилами, жилами і екраном згідно вимог [5];

електрична ємність кабелю згідно вимог п. 5.4 [4];

загасання кабелю згідно вимог п. 6.3.3.2 [2];

перехідне загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) згідно вимог п. 6.3.3.5 [2];

сумарне перехідне загасання між парами на дальньому кінці (PS NEXT) згідно вимог п. 6.3.3.6 [2];

захищеність між парами (ELFEXT) згідно вимог п. 6.3.3.6 [2];

сумарна захищеність між парами (PS ELFEXT) згідно вимог п. 6.3.3.6 [2];

зворотні втрати (RL) згідно вимог п. 6.3.11 [2].

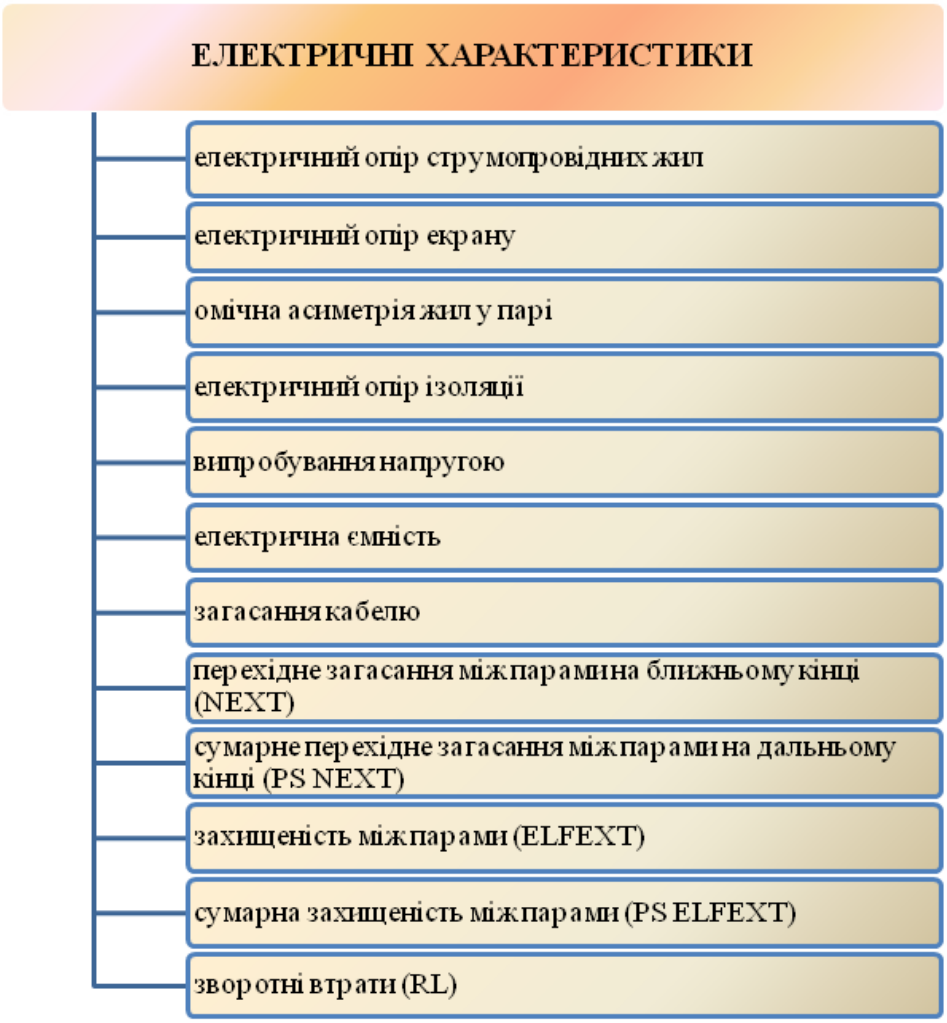

Рис.3. – Електричні характеристики кабелю

Основними характеристиками стійкості кабелю до впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища (Рис.4) є:

стійкість до підвищеної температури середовища згідно вимог п. 9.2 [3];

стійкість до зниженої температури середовища згідно вимог п. 8.1 [3];

ISSN 2706-7386

стійкість до впливу підвищеної вологості повітря згідно вимог п. 6.5.13 [2];

стійкість до впливу сонячного випромінювання згідно вимог п. 6.5.10 [2];

стійкість до впливу пилу та піску згідно вимог [2];

нерозповсюдження горіння згідно вимог [8].

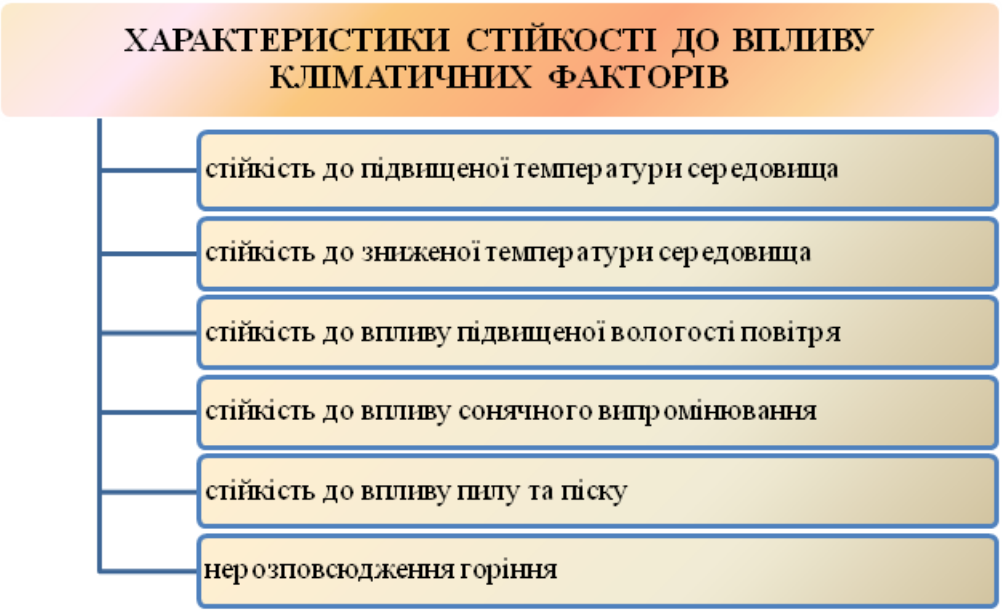

Рис.4. Характеристики стійкості до впливу кліматичних факторів

До характеристик стійкості кабелю до впливу механічних факторів (Рис.5) слід відносити:

стійкість до розтягування згідно вимог п. 9.2 [2] або IEC 60794-1-2;

стійкість до роздавлювання згідно вимог п. 3.3.6 [7];

стійкість до ударів згідно вимог п. 8.5 [3];

стійкість до багатократного перегину п. 6.4.11 [2];

стійкість до циклічних вигинів згідно вимог п. 6.4.10 [2].

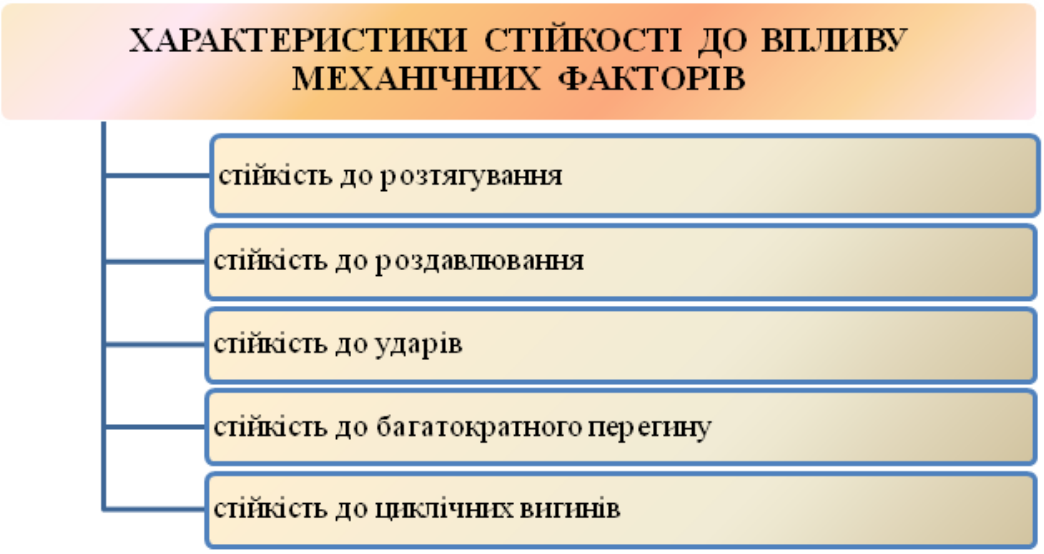

Рис.5. Характеристики стійкості до впливу механічних факторів

Для перевірки значень швидкості передачі даних, яку може забезпечити кабель, потрібно під час випробувань розгорнути локальну обчислювальну мережу з використанням різних довжин кабелю та провести обмін інформацією між автоматизованими робочими

місцями у вказаній мережі з фіксацією отриманих результатів швидкості обміну даними за допомогою спеціального програмного забезпечення, наприклад IPerf (https://github.com/esnet/iperf).

Перевірку характеристик стійкості і надійності щодо циклів прокладання, мінімального наробітку, закладання в грунт, підвішування на опори тощо, у зв'язку з обмеженим часом проведення випробувань та великою трудоємністю, доцільно провести в ході підконтрольної експлуатації.

При проведенні випробувань кабелю розподільчого мережевого КРМ 4×2×0,52, виробництва ПАТ "Одеський кабельний завод "Одескабель", були розроблені програма і методики перевірки його основних тактико-технічних характеристик, які охоплювали вказані вище властивості.

Обсяг часу, необхідний для виконання всіх перевірок, відповідно до розроблених методик, був визначений у кількості 10 робочих днів (при наявності не менше трьох дослідних зразків кабелю).

В ході проведення практичної частини випробувань встановлено можливість оптимізації процесу вимірювання електричних характеристик кабелю за рахунок скорочення вдвічі часу і працевитрат за рахунок використання системи автоматичної вимірювальної AESA 9500 виробництва Швеції (система AESA 9500).

Система AESA 9500 забезпечує відображення результатів вимірювання у графічному і табличному вигляді із можливістю їх збереження на жорсткому диску електронної обчислювальної машини або іншому носії інформації. Можливість графічного відображення результатів вимірювання наглядно демонструє їх відповідність або невідповідність заявленим значенням, яке також відображене на графіку. У випадку критичного відхилення отриманого результату вимірювання від встановленого значення такий результат автоматично виділяється шляхом підкреслювання у табличному вигляді, що значно полегшує аналіз результатів вимірювання.

В ході проведення випробувань за допомогою системи AESA 9500 було перевірено на відповідність заявленим значенням десять з дванадцяти електричних характеристик кабелю. На проведення вимірювань значень електричних характеристик кабелю, з використанням системи AESA 9500, було витрачено близько 30 хвилин. Для вимірювання значень електричних характеристик кабелю традиційними методами і проведення необхідних розрахунків, згідно Програми і методик випробувань, було необхідно близько 8 годин.

На двох прикладах, а саме: вимірювання загасання випромінювання A_c, (Attenuation) та перехідного загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) наглядно продемонструємо ефективність використання системи AESA 9500 при вимірюванні електричних характеристик кабелю.

Згідно вимог міжнародного стандарту МЕК 61156-1:2009 вимірювання загасання випромінювання A_c, (Attenuation) традиційним методом проводиться при нормальних кліматичних умовах за методом "триаксиальної лінії".

Перед проведенням перевірки необхідно зібрати схему відповідно до рисунку 6.

ISSN 2706-7386

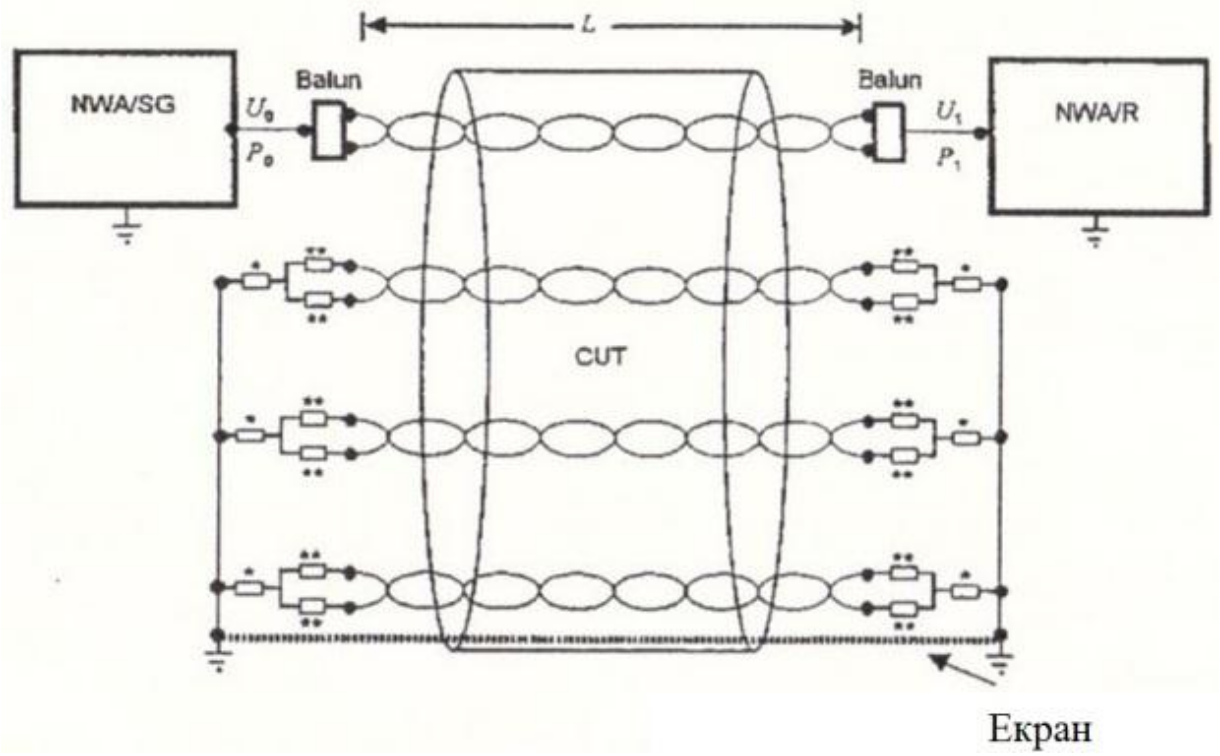

Рис.6. Схема вимірювання загасання випромінювання A_c, (Attenuation)

Загасання випромінювання A_c, дБ, екранованого кабелю визначають за наступною формулою:

$$A_c = a_M - a_K + 6, \quad (1)$$

де a_M – загасання між виходом генератора і входом приймача, дБ;

a_K – загасання, яке вноситься з'єднувальними кабелями, ланцюгом узгодження, адаптерами, підсилювачами потужності і атенюаторами при їх використанні у схемі вимірювань та вимірюється при калібруванні, дБ.

Почергове вимірювання загасання $a_м$ кожної пари кабелю проводиться окремо для кожного значення частотної сітки. Отримані результати вимірювання перераховують на довжину кабелю 100 м, враховують температурний коефіцієнт, після чого проводять розрахунки значень загасання за формулою (1). Отримані результати фіксують і порівнюють із заявленими значеннями загасання.

Використання системи AESA 9500 дозволяє провести вимірювання без використання окремих приладів: генератора сигналів і вимірювального приймача. Вимірювання значень і обробка результатів (перерахунок на довжину 100 м, врахування температурного коефіцієнту, розрахунки за формулою) проводиться системою автоматичною вимірювальною AESA 9500 в автоматичному режимі, що підвищує їх достовірність і значно скорочує час проведення вимірювань. Результати розрахунків у графічному вигляді (Рис.7) і числові значення (таблиця 1) результатів вимірювання виводяться на екран системи AESA 9500, одночасно, дублюються на екрані монітору персональної обчислювальної машини (ПЕОМ) і зберігаються на жорсткому диску ПЕОМ.

ISSN 2706-7386

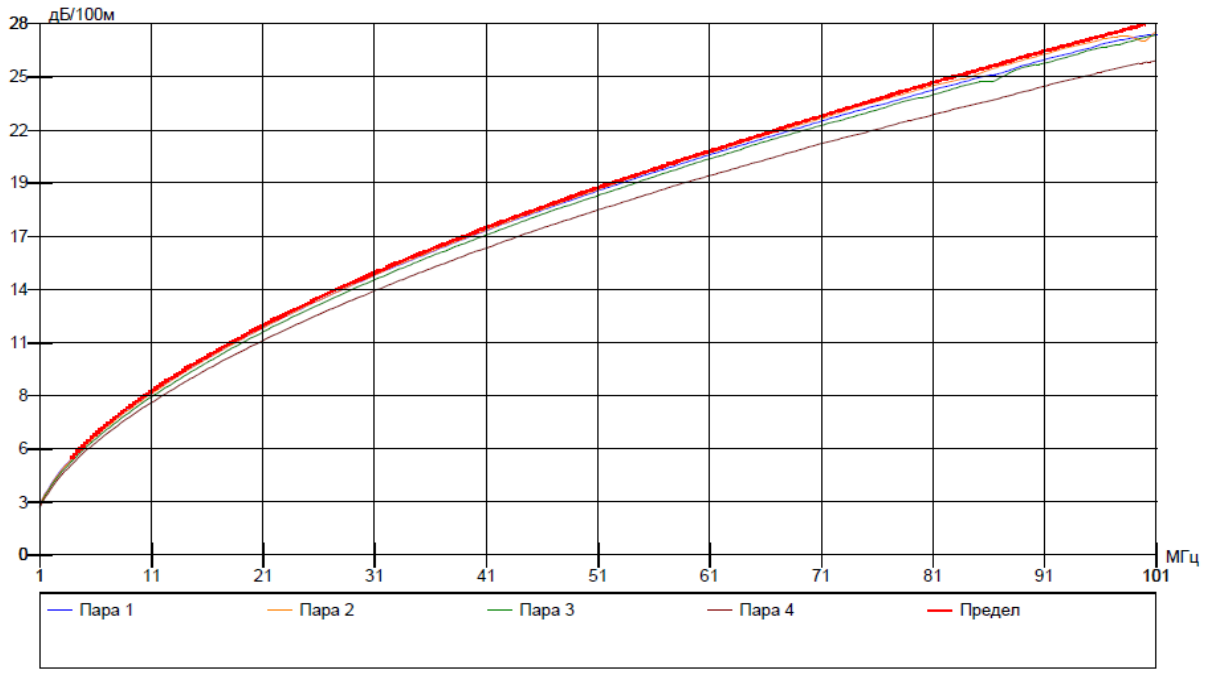

Рис.7. Результати вимірювання загасання за допомогою системи автоматичної вимірювальної AESA 9500 у графічному вигляді

Таблиця 1

Результати вимірювання загасання за допомогою системи AESA 9500 у числових значеннях

Частота, МГц	Значення загасання, дБ				
	Пара 1	Пара 2	Пара 3	Пара 4	Верхня межа
1,000	2,57	2,52	2,52	2,43	0,00
4,000	5,08	5,05	4,94	4,77	5,10
10,000	7,99	7,94	7,80	7,52	8,10
16,000	10,18	10,16	9,96	9,61	10,30
20,000	11,46	11,46	11,25	10,81	11,60
30,000	14,22	14,23	13,99	13,43	14,38
31,250	14,54	14,55	14,30	13,73	14,70
60,000	20,53	20,64	20,33	19,47	20,75
62,500	20,97	21,09	20,75	19,87	21,20
100,000	26,88	26,57	26,79	25,49	27,50

Для вимірювання перехідного загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) традиційним способом, згідно вимог міжнародного стандарту МЕК 61156-1:2009, необхідно зібрати схему відповідно до Рис.8.

ISSN 2706-7386

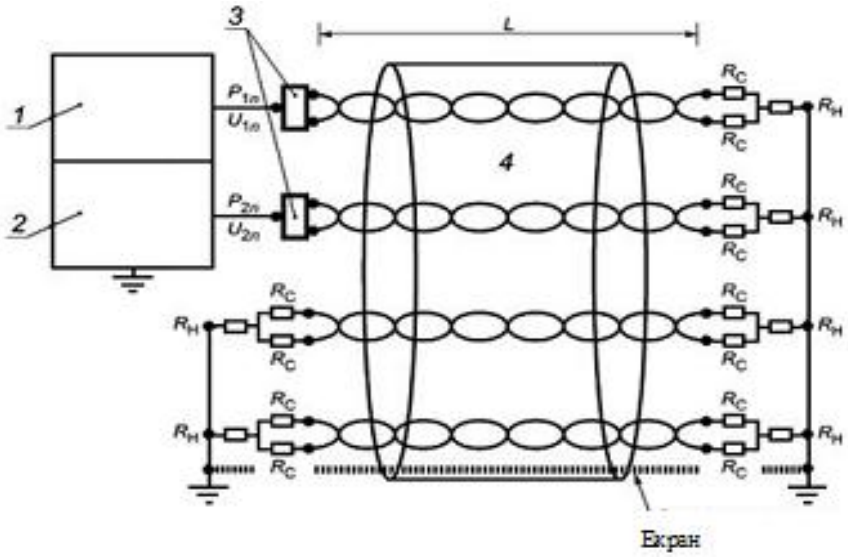

Рис.8. Схема вимірювання перехідного загасання між парами на ближньому кінці, де
1 – генератор шуму;
2 – вимірювальний приймач;
3 – симетруючий трансформатор;
4 – вимірювальний кабель,
R_C, R_H - навантаження симетричною і несиметричною ланцюгів відповідно,
L – довжина кабелю, що вимірюється,
P_{1n}, (U_{1n}) - потужність (напруга) сигналу на ближньому кінці пари, що впливає,
P_{2n}, (U_{2n}) - потужність (напруга) сигналу на ближньому кінці схильної до впливу пари.

Перехідне загасання на ближньому кінці NEXT, дБ, визначається за формулою:

$$NEXT = 10\log\frac{P_{1n}}{P_{2n}} = 20\log\frac{U_{1n}}{U_{2n}} + \log\frac{Z_1}{Z_2} \quad (2)$$

де $P_{1n}U_{1n}$ – потужність (напруга) сигналу на ближньому кінці пари, що впливає, Вт (В);

$P_{2n}U_{2n}$– потужність (напруга) сигналу на ближньому кінці пари, на яку здійснюється вплив, Вт (В);

Z_1, Z_2 – номінальні хвильові опори пари, що впливає, і пари, на яку здійснюється вплив, Ом.

Почергове вимірювання значень параметрів, необхідних для розрахунків перехідного загасання, між всіма парами кабелю проводиться окремо для кожного значення частотної сітки. Отримані результати вимірювання, за необхідності, перераховують на довжину кабелю 100 м, після чого проводять розрахунки значень перехідного загасання за формулою (2). Отримані результати фіксують та порівнюють із заявленими значеннями перехідного загасання.

З використанням системи AESA 9500 вимірювання перехідного загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) займає лічені хвилини і не потребує додаткових розрахунків. Результати вимірювання перехідного загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) у графічному вигляді представлені на рисунку 9.

ISSN 2706-7386

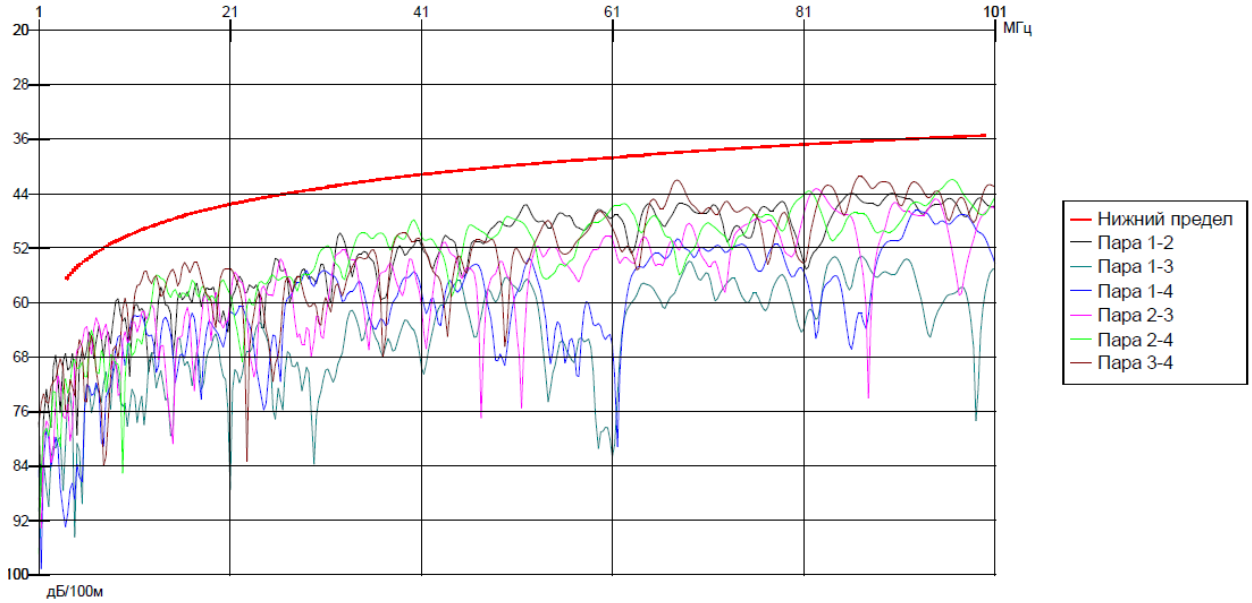

Рис.9. Результати вимірювання перехідного загасання між парами за допомогою системи автоматичної вимірювальної AESA 9500 у графічному вигляді

Результати вимірювання перехідного загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) у числових значеннях представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати вимірювання перехідного загасання між парами на ближньому кінці (NEXT) у числових значеннях за допомогою системи автоматичної вимірювальної AESA 9500

Частота, МГц	Значення перехідного загасання між парами на ближньому кінці, дБ						
	Пара 1-2	Пара 1-3	Пара 1-4	Пара 2-3	Пара 2-4	Пара 3-4	Нижня межа
1,000	77,44	90,66	84,56	88,62	96,96	77,86	0,00
4,000	69,88	73,92	90,90	74,95	73,34	76,19	56,30
10,000	62,21	74,70	69,27	64,27	71,41	59,37	50,30
16,000	59,58	67,70	67,57	64,86	58,56	54,79	47,20
20,000	62,99	68,85	65,55	62,87	57,03	56,36	45,80
31,250	58,74	69,76	55,64	59,93	51,62	60,22	42,90
62,500	50,25	61,13	59,07	53,39	45,66	51,71	38,40
100,000	45,37	58,50	50,56	46,70	46,97	43,15	35,30

Висновки. Використання вказаного вище методичного підходу на підставі вимог сучасних діючих нормативно-правових актів дозволить якісно і в оптимальні строки оцінити характеристики багатожильних симетричних кабелів парної скрутки для систем цифрового зв’язку.

Використання сучасних засобів вимірювальної техніки дозволяє значно скоротити часові показники і працевитрати при проведенні вимірювань.

Наведений у статті перелік характеристик кабелю, які підлягають оцінці, не є вичерпним та може бути змінений чи доповнений у залежності від вимог замовника і особливостей умов і середовища експлуатації кабелю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кабелі для цифрового зв’язку у високошвидкісних цифрових телекомунікаційних мережах доступу парні/четвіркові багатожильні та симетричні кабелі для зовнішнього прокладання. Частина 1. Загальні технічні умови (IEC 62255-1:2003, IDT): ДСТУ IEC

62255-1:2010. – [Чинний від 2010-12-28]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 14 с. (Державний стандарт України).

2. Кабелі багатожильні і симетричні парної/четвіркової скрутки для цифрової передачі. Частина 1. Загальні вимоги (IEC 61156-1:2007+Amd 12009, IDT): ДСТУ IEC 61156-1:2015. – [Чинний від 2016-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2016. – 52 с. (Державний стандарт України).

3. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Измерение толщины и наружных размеров. Методы определения механических свойств: ГОСТ IEC 60811-1-1:2011. – [Чинний від 2013-01-01]. – Мінськ: Міждержавна рада з стандартизації, метрології і сертифікації, 2012. – 24 с. (Міждержавний стандарт).

4. Low-frequency cables and wires with PVC insulation and PVC sheath - Part 1: General test and measuring methods: IEC 60189-1:2018. – [Publication date 2018-06-22]. – International Electrotechnical Commission, 2018. – 18 c. (International Standard).

5. Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 5: Symmetrical pair/quad cables with transmission characteristics up to 1 000 MHz - Horizontal floor wiring - Sectional specification: IEC 61156-5:2020. – [Publication date 2020-03-04]. – International Electrotechnical Commission, 2020. – 27 c. (International Standard).

6. Optical fibre cables - Part 1-2: Generic specification - Basic optical cable test procedures - General guidance: IEC 60794-1-2:2017. – [Publication date 2017-01-12]. – International Electrotechnical Commission, 2017. – 20 c. (International Standard).

7. Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications to be used in harsh environments - Part 1: Generic specification: IEC 62012-1:2002. – [Publication date 2002-06-24]. – International Electrotechnical Commission, 2002. – 107 c. (International Standard).

8. Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 1-1: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Apparatus: IEC 60332-1-1:2015. – [Publication date 2015-07-28]. – International Electrotechnical Commission, 2015. – 40 c. (International Standard).

9. Електричні та волоконно-оптичні кабелі. Методи випробування неметалевих матеріалів. Частина 203. Загальні випробування. Вимірювання зовнішніх розмірів (EN 60811-203:2012, IDT): ДСТУ EN 60811-203:2016. – [Чинний від 2017-10-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2016. – 7 с. (Державний стандарт України).

10. Електричні та волоконно-оптичні кабелі. Методи випробування неметалевих матеріалів. Частина 100. Загальні положення. (EN 60811-100:2012, IDT; IEC 60811-100:2012, IDT): ДСТУ EN 60811-100:2012. – [Чинний від 2017-10-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2012. – 17 с. (Державний стандарт України).

11. Електричні та волоконно-оптичні кабелі. Методи випробування неметалевих матеріалів. Частина 509. Механічні випробування. Випробування на стійкість до розтріскування ізоляції та оболонок (випробування на тепловий удар) (EN 60811-203:2012, IDT): ДСТУ EN 60811-509:2016. – [Чинний від 2017-10-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2016. – 8 с. (Державний стандарт України).

12. Електричні та волоконно-оптичні кабелі. Методи випробування неметалевих матеріалів. Частина 513. Механічні випробування. Спеціальні методи випробування поліетиленових та поліпропіленових компаундів. Випробування намотуванням після кондиціювання (EN 60811-513:2012, IDT): ДСТУ EN 60811-513:2016. – Чинний від 2017-10-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2016. – 7 с. (Державний стандарт України).

13. Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications to be used in harsh environments – Part 1: Generic specification: IEC 62012-1:2002. – [Publication date 2002-06-12]. – International Electrotechnical Commission, 2002. – 50 c. (International Standard).

14. Optical fibre cables - Part 1-2: Generic specification - Basic optical cable test procedures - General guidance: IEC 60794-1-2:2017. – [Publication date 2017-01-12]. – International Electrotechnical Commission, 2016. – 24 с. (International Standard).

15. Изделия электронной техники. Маркировка: ГОСТ 30668-2000. – [Чинний від 2002-01-01]. – Мінськ: Міждержавна рада з стандартизації, метрології і сертифікації, 2001. – 11 с. (Міждержавний стандарт).

Руденко Олег Володимирович
начальник науково-дослідної лабораторії Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0002-8699-1057
+38093-839-88-97

Доманов Ігор Олександрович
старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0002-9726-0591
+38093-052-36-04

Кравченко Віталій Сергійович
молодший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0002-2881-866X
+38093-989-28-01

Oleh Rudenko
Chief of Laboratory of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-8699-1057
+38093-839-88-97

Igor Domanov
Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-9726-0591
+38093-052-36-04

Vitaliy Kravchenko
Junior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-2881-866X
+38093-989-28-01

TECHNICAL APPROACH IN EVALUATING OF THE CHARACTERISTICS OF MULTI-CORE BALANCED NONQUADDED CABLES FOR DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS

O. Rudenko, I. Domanov, V. Kravchenko

The article proposes a variant of the technical approach in evaluating of the characteristics of multi-core balanced nonquadded cables for digital communication systems.

The list of modern standards of the International Electrotechnical Commission, and also the National standards of Ukraine and the international standards which are created on their basis is presented. The proposed standards define the general requirements for communication cables, offer verifying methods for the design, structural dimensions, and materials of elements, marking and packaging. In addition, the provisions of these standards define the methods of testing the electrical characteristics, survivability and resistance of the cable to climatic and mechanical factors.

A list of proposed cable characteristics, i.e. electrical, survivability and resistance to environmental influences, is sufficient to assess the cable for compliance with the stated requirements. The list of considered characteristics is not exhaustive and can be supplemented or changed depending on requirements of the customer.

On the example of using the automatic measuring system AESA 9500 made in Sweden to measure electrical characteristics, the possibilities of optimizing the process of evaluating the characteristics of the cable through the use of modern automatically controlled measuring systems, which will significantly reduce the time and cost of evaluation are considered.

The approach presented in the article to the evaluation of the characteristics of multi-core balanced nonquadded cables for digital communication systems can be used during the testing of the cable planned for delivery to the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: *technical approach, evaluation technique, evaluation of characteristics, evaluation of communication cable characteristics, digital communication systems.*