

УДК 62-768:537.531

Ю.Є. Яремчук,
кандидат технічних наук, доцент,
М.О. Притула,
Є.С. Ніколаєв

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОНЕПРОЗОРИХ ТКАНИН У КОМБІНАЦІЇ Н1–Н2–Н3 З РОЗТАШУВАННЯМ ВОЛОКОН ВЕРТИКАЛЬНО–ГОРИЗОНТАЛЬНО– ГОРИЗОНТАЛЬНО

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

У статті розглянуто дослідження комбінації вітчизняних радіонепрозорих тканин Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон вертикально–горизонтально–горизонтально. Проведено порівняння досліджуваної комбінації з комбінацією тканин Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон горизонтально–вертикально–горизонтально.

Ключові слова: радіонепрозорі тканини, інформаційна безпека електронних систем, екранування приміщень.

В статье рассмотрено исследование комбинации отечественных радионепрозрачных тканей Н1–Н2–Н3 с расположением волокон вертикально–горизонтально–горизонтально. Проведено сравнение исследуемой комбинации с комбинацией тканей Н1–Н2–Н3 с расположением волокон горизонтально–вертикально–горизонтально.

Ключевые слова: радионепрозрачные ткани, информационная безопасность электронных систем, экранирование помещений.

In this paper we study the combination of local shielding fabric Н1–Н2–Н3 with an arrangement of fibers vertically–horizontally–horizontally. Also, a comparison of the investigated combination with a combination of Н1–Н2–Н3 with an arrangement of fibers horizontally–vertically–horizontally is carried out.

Keywords: radio opaque fabrics, information safety of electronic systems, shielding of premises.

Телекомунікаційні системи (ТКС) є однією з основних складових сучасного інформаційного суспільства. Електронні системи, побудовані на базі ТКС, застосовуються в усіх сферах діяльності людини, держави і суспільства. Військові, економічні відомості та інша важлива інформація мають високу класифікацію секретності і повинні бути захищені від несанкціонованого перехоплення або навмисних деструктивних електромагнітних впливів. Тому особливе значення відіграють питання інформаційної безпеки електронних систем.

Одним з напрямів електромагнітного захисту таких систем є захист їх технічних засобів від зовнішніх електромагнітних впливів по ефіру і захисту від витоку інформації по каналу побічних електромагнітних випромінювань (ПЕМВ). Основним методом захисту є екранування приміщень, в яких розташовані технічні засоби об'єкта [1].

При вирішенні завдання локального екранування окремих приміщень об'єкта застосовують традиційні методи і засоби, зокрема екрановані кабінки, виготовлені

з металу або металізованих тканин. Проте з урахуванням зовнішніх електромагнітних впливів по ефіру для протяжних і розгалужених технічних систем, рознесених по всьому об'єкту, таке застосування стає практично нездійсненним [2].

Одним із сучасних напрямів реалізації екранів є використання радіонепрозорих гнучких матеріалів [1, 3].

Відомі російські аналоги радіонепрозорих тканин, зокрема, поліефірні тканини типу 1П-НЗ "Метакрон" з нікелевим покриттям, радіоекрануючі тканини "РІКМА", Ааропіа Х-Dream, Ааропіа Х-Dream+ [4,5]. Також вдосконаленням екрануючих тканин займаються і інші провідні країни світу, зокрема США, Китай та інші [6, 7].

Незважаючи на достатньо прийнятні властивості екранів, слід відзначити певні недоліки, які виникають в екрануючих конструкціях [8], зокрема створення додаткових каналів витоку інформації.

В Україні відомі радіонепрозорі тканини вітчизняного виробництва Н1, Н2, Н3, кожен з яких було окремо досліджено [9,10]. Певний інтерес викликає використання таких тканин у різних комбінаціях. Так, було проведено дослідження комбінацій радіонепрозорих тканин Н1-Н2-Н3 у випадку розташування волокон горизонтально-вертикально-горизонтально [11]. Результати показали, що в діапазоні частот 750-1170 МГц та 1330-1450 МГц коефіцієнт екранування має значення більше 10. При цьому його максимальне значення 21 раз забезпечується на частоті 1100 МГц [11]. Однак певний інтерес становить дослідження іншої комбінації тканин Н1-Н2-Н3 з розташуванням волокон вертикально-горизонтально-горизонтально (В-Г-Г).

У роботі досліджено технічні характеристики комбінації радіонепрозорих тканин Н1-Н2-Н3 з розташуванням волокон вертикально-горизонтально-горизонтально. Визначено коефіцієнт екранування напруженості електричного поля як відношення напруженості поля в точці вимірювання без використання тканин до напруженості поля з використанням тканин.

Фізична природа ефекту екранування електромагнітного поля

Розглянемо процес екранування електромагнітного поля при падінні плоскої хвилі на нескінченно протяжну металеву пластину товщиною d , що знаходиться в повітрі (рис. 1) [12]. У цьому випадку на межі розділу двох середовищ з різними електрофізичними характеристиками (повітря-метал і метал-повітря) хвиля зазнає відбиття і заломлення, а в товщі екрана, зважаючи на його провідні властивості, відбувається часткове поглинання енергії електромагнітного поля. Таким чином, електромагнітна хвиля при взаємодії з екраном відбивається від його поверхні, частково проникає в стінку екрана, зазнає поглинання в матеріалі екрана, багато разів відбивається від стінок екрана і, в кінцевому результаті, частково проникає в область екранування [13]. Як наслідок, загальна ефективність екранування (величина втрат енергії електромагнітної хвилі) металевою пластиною визначається сумою втрат за рахунок поглинання (загасання) енергії у товщі матеріалу $A_{\text{погл}}$, відбиття енергії від границь розділу зовнішнє середовище-метал і метал-екранована область $A_{\text{отр}}$ і багаторазових внутрішніх відбиттів в стінках екрана $A_{\text{мотр}}$:

$$A_{[\text{дБ}]} = A_{\text{погл}} + A_{\text{отр}} + A_{\text{мотр}} \quad (1)$$

Втрати на поглинання пов'язані з поверхневим ефектом в провідниках, що призводить до експоненціального зменшення амплітуди електричних і магнітних полів, які проникають у металевий екран. Це зумовлено тим, що струми, індуквані в металі, викликають втрати і нагрівання екрана [14].

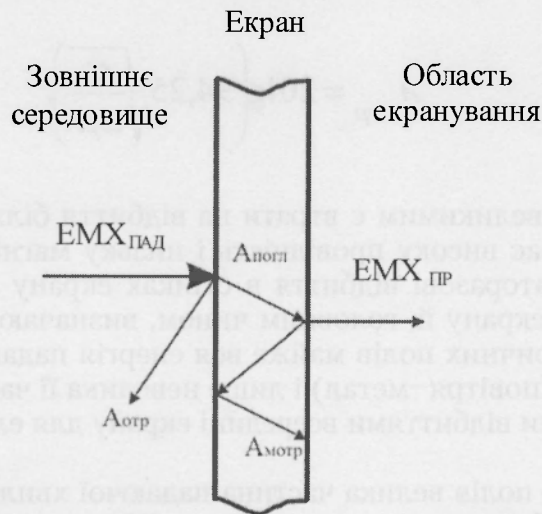


Рисунок 1. Екранування електромагнітного поля металевим екраном

Глибина проникнення δ визначається як величина, зворотна коефіцієнту згасання і залежить від частоти: чим більше частота, тим менша глибина проникнення. У НВЧ діапазоні глибина проникнення в металах має малу величину і тим менша, чим більша провідність металу і його магнітна проникність.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu f \sigma}}, \quad (2)$$

де μ – абсолютна магнітна проникність матеріалу екрана;
 f – частота електромагнітного поля;
 σ – питома провідність матеріалу екрана.

Вираз для визначення втрат на поглинання екраном товщиною може бути представлений у такому вигляді:

$$A_{\text{погл}} = 8,68 d \sqrt{\frac{\omega \mu \sigma}{2}} = 8,68 \frac{d}{\delta}. \quad (3)$$

З огляду на вираз (3), можна сказати, що втрати на поглинання зростають пропорційно товщині екрана, магнітній проникності та питомій провідності матеріалу, а також частоті електромагнітного поля.

Втрати на відбиття на межі розділу двох середовищ пов'язані з різними значеннями повних характеристичних опорів цих середовищ. При проходженні хвилі через екран вона зустрічає на своєму шляху дві границі розділу: повітря–метал і метал–повітря.

Хоча електричне і магнітне поля відбиваються від кожної границі по-різному, сумарний ефект після проходження обох границь однаковий для обох складових

поля [12]. При цьому найбільше відбиття при вході хвилі в екран (на першій границі розділу) випадає на електричну складову поля, а при виході з екрану (на другій границі розділу) найбільше відбиття випадає на магнітну складову поля. Для металевих екранів втрати на відбиття визначаються виразом:

$$A_{отр} = 20 \lg \left(94,25 \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \mu}} \right). \quad (4)$$

Таким чином, великим є втрати на відбиття біля екрану, виготовленого з матеріалу, який має високу провідність і низьку магнітну проникність.

Втрати на багаторазові відбиття в стінках екрану пов'язані з хвильовими процесами в товщі екрану й, головним чином, визначаються відбиттям від його границь. Для електричних полів майже вся енергія падаючої хвилі відбивається від першої границі (повітря–метал) і лише невелика її частина проникає в екран. Тому багаторазовими відбиттями всередині екрану для електричних полів можна знехтувати [13].

Для магнітних полів велика частина падаючої хвилі проходить в екран, головним чином, відбиваючись тільки на другій границі (метал–повітря), тим самим створюючи передумови до багаторазових відбиттів між стінками екрана. Коефіцієнт $A_{мотр}$ багаторазового відбиття для магнітних полів в екрані з товщиною стінки при глибині проникнення δ дорівнює:

$$A_{мотр} = 20 \lg \left(1 - \exp \left(-\frac{2d}{\sigma} \right) \right). \quad (5)$$

Величина $A_{мотр}$ має від'ємне значення, тобто багаторазові відбиття в товщі екрану погіршують ефективність екранування [14]. Аналіз показав, що зменшення ефективності можна не враховувати у випадках, коли на цій частоті виконується умова $d > \delta$, але ним не можна знехтувати при застосуванні тонких екранів, коли товщина екрану менша від глибини проникнення поля, тобто $d < \delta$.

Дослідження комбінації Н1-Н2-Н3 для випадку розташування волокон В-Г-Г

У роботі “Дослідження перших вітчизняних радіонепрозорих тканин” [9] було запропоновано установку та методику дослідження радіонепрозорих тканин. Установка складається з генератора сигналів, випромінювальної антени, вимірювальної антени, аналізатора спектра. Вимірювання необхідно проводити в такій послідовності. Спочатку вимірюється напруженість електричного поля випромінювальної антени в діапазоні досліджуваних частот без тканин. Далі випромінювальна антена екранується тканинами і аналогічно проводяться вимірювання.

Дослідження комбінації трьох тканин Н1–Н2–Н3 для випадку розташування волокон вертикально–горизонтально–горизонтально (В–Г–Г) проводилось за допомогою описаної установки в діапазоні частот 50 МГц – 2 ГГц.

На основі розглянутої методики проведено дослідження комбінації трьох тканин за напрямом волокон; вертикально–горизонтально–горизонтально (В–Г–Г), як зображено на рис. 2.

Екранувальні властивості тканин визначаються питомим вмістом металізованих ниток у волокнах тканини. Характер взаємного розташування ниток у вигляді

решітки зумовлює здатність тканини захищати від електромагнітного випромінювання різних поляризацій. Дотепер у нас в країні було розроблено два типи захисної тканини: з відкритою і прихованою металізацією.

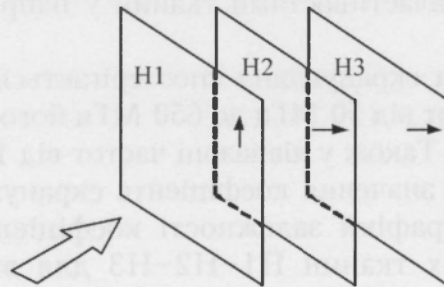


Рисунок 2. Розташування трьох тканин для випадку В-Г-Г

Тканина першого типу виготовляється з ниток, на які накручується металева фольга. Сплетена з таких ниток тканина має металевий блиск. Хоча деякі тканини мають достатні екранувальні властивості, вони не знайшли широкого застосування.

Захисна тканина другого типу має приховану металізацію. У цьому випадку тонка міцна мікропроволока влітається в середину нитки. Виготовлена з таких ниток тканина не має недоліків, притаманних тканині з відкритою металізацією, і за зовнішнім виглядом не відрізняється від звичайної тканини.

Результати досліджень комбінації трьох тканин Н1-Н2-Н3 для випадку розташування волокон В-Г-Г представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати дослідження трьох тканин для випадку В-Г-Г

Частота (МГц)	Напруженість поля (дБмкВ/м)		Коеф. екранування	
	Без тканини	З тканиною	разів	дБ
50	106,3	104,4	1,245	1,9
100	101,5	100,1	1,175	1,4
200	94,5	100,1	0,525	-5,6
300	91,7	93,8	0,785	-2,1
400	99,8	91	2,754	8,8
500	103,5	91,2	4,121	12,3
600	104,8	98,9	1,972	5,9
700	106,1	87,8	8,222	18,3
800	103,1	79,9	14,454	23,2
900	96,9	64,7	40,738	32,2
1000	90,2	71,2	8,913	19
1100	93,5	72,7	10,965	20,8
1200	89,5	84,5	1,778	5
1300	98,2	88,4	3,09	9,8
1400	91,9	83,5	2,63	8,4
1500	82,9	90	0,442	-7,1
1600	90,8	76,2	5,37	14,6
1700	79,9	67,2	4,315	12,7
1800	87	62,5	16,788	24,5
1900	88,7	81,2	2,371	7,5
2000	86,9	74,7	4,074	12,2

Проведений аналіз даних, які наведені в таблиці 1, показав, що на певних частотах (зокрема 200 МГц, 300 МГц, 1500 МГц) коефіцієнт екранування має значення менше одиниці, що свідчить про підсилення поля. Це явище можна пояснити спрямовуючими властивостями тканин у напрямі вимірювальної антени.

Зростання коефіцієнта екранування спостерігається на частоті 900 МГц і 1800 МГц. У діапазоні частот від 50 МГц до 650 МГц його значення є незначним: змінюється від 1 до 4 разів. Також у діапазоні частот від 1200 МГц до 1550 МГц спостерігається зменшення значення коефіцієнта екранування.

На рис. 3 наведено графіки залежності коефіцієнта екранування поля комбінації радіопрозорих тканин Н1–Н2–Н3 для випадку розташування волокон В–Г–Г, які наочно представляють результати, наведені в таблиці 1.

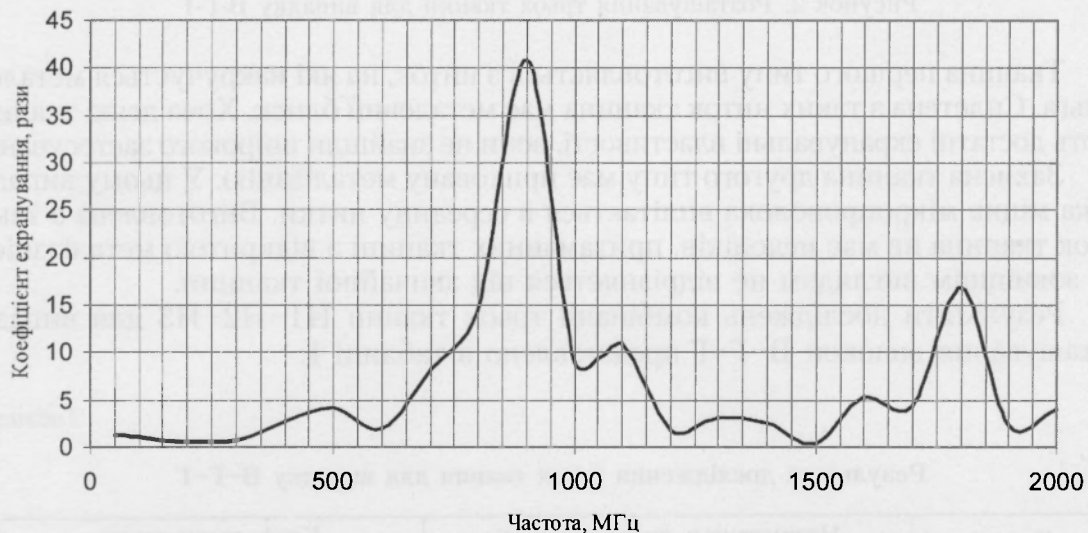


Рисунок 3. Залежність коефіцієнта екранування від частоти для випадку В–Г–Г

Аналіз графіка на рис. 3 показав те, що, якщо обмежитись значенням коефіцієнта екранування, який дорівнює 10, то використання комбінації радіопрозорих тканин Н1, Н2, Н3 у випадку В–Г–Г забезпечує таке значення коефіцієнта екранування в діапазоні частот 750–990 МГц, 1740–1850 МГц. Максимальне значення коефіцієнта екранування досягається на частоті 900 МГц і становить 40,7.

Враховуючи отримані при дослідженні результати, можна вести мову про доцільність використання комбінації тканин Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон В–Г–Г для блокування витоку мовної інформації з приміщення через радіозакладні пристрої, які використовують для передавання в частотному діапазоні стандарту GSM-900 890–960 МГц. У цьому діапазоні частот коефіцієнт екранування має значення більше від 20.

Проведено експериментальні дослідження комбінації перших вітчизняних радіопрозорих тканин Н1, Н2 та Н3 для випадку розташування волокон В–Г–Г. Результати досліджень показали, що, на відміну від комбінації Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон Г–В–Г, в якій максимальний коефіцієнт екранування становив 21, у комбінації Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон В–Г–Г він дорівнює 40,7.

Якщо ж порівняти діапазони частот, значення коефіцієнта екранування в яких більші від 10, то в досліджуваній комбінації ці діапазони є трохи вузькими, на відміну від комбінації Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон Г–В–Г.

Необхідно зазначити також те, що максимальне значення коефіцієнта екранування для досліджуваної комбінації спостерігалось на частоті 900 МГц, а не на 1100 МГц, як у Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон Г–В–Г. Відповідно, більший коефіцієнт підсилення на частоті 900, а не на 1100 МГц дозволить розширити галузь використання комбінації радіонепрозорих тканин Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон В–Г–Г.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Ленков С.В.* Методы и средства защиты информации: В 2-х тт. / С.В. Ленков, Д.А. Персугудов, В.А. Хорошко ; под ред. В.А. Хорошко. – К. : Арий, 2008. – 464 с.
2. *R. Perumalraj., B.S. Dasaradam.* Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics // *Indian Journal of Fibre & Textile Research.* – 2009. – Vol.34. – P. 149–154.
3. *Грачев Н.Н.* Защита человека от опасных излучений / Н.Н. Грачев, Л.О. Мырова. – М. : Бипом. Лаборатория знаний, 2005. – 320 с.
4. Електронний ресурс. – [Режим доступу] : <http://www.bnti.ru/index.asp?tbl=03.03.01.02>.
5. Пат. WO90/09473, МКИ D03D15/00 ; G21F3/02. Textile fabric shielding electromagnetic radiation, and clothing made thereof / Zoran Dordevic. – №PCT/EP90/00129. Заявл. 23.01.1990 ; опубл. 23.08.1990.
6. Пат. RU2229544 С1, МКИ D03D1/00. Ткань для специальной одежды / Левакова Н.М. ; Пашина И.П. ; Горышина Е.М. ; Фатхутдинов Р.Х. ; Тарасов Л.А. ; Комплев Р.А. – № 2003107998/12. ; Заявл. 26.03.2003 ; опубл. 27.05.2004.
7. Пат. WO90/09473, МКИ D03D15/00; G21F3/02. EMI shielding fabric and fabric articles made therefrom / Vladimir Akopian, Alexander Chirkov. – №PCT/US92/00244. ; Заявл. 03.10.1997 ; опубл. 19.10.1999.
8. *Козловский В.В.* Модели каналов утечки информации через поглощающие покрытия / В.В. Козловский, И.И. Софиенко // *Захист інформації.* – 2009. – № 4. – С. 29–37.
9. *Яремчук Ю.Є.* Дослідження перших вітчизняних радіонепрозорих тканин / Ю.Є. Яремчук, М.О. Притула, О.В. Головатюк // *Вісник ДУІКТ.* – 2009. – № 3. – С. 246–253.
10. *Гутник В.І.* Дослідження вітчизняної радіонепрохідної тканини Н3 / В.І. Гутник, Ю.Є. Яремчук, М.О. Притула, О.В. Головатюк // *Сучасна спеціальна техніка.* – 2010. – № 1. – С. 74–80.
11. *Яремчук Ю.Є.* Дослідження комбінації радіонепрозорих тканин Н1–Н2–Н3 з розташуванням волокон горизонтально–вертикально–горизонтально / Ю.Є. Яремчук, М.О. Притула, О.В. Головатюк // *Сучасний захист інформації.* – 2010. – № 3. – С. 76–82.
12. *Баскаков С.И.* Основы электродинамики / С.И. Баскаков. – М. : Сов. радио, 1973. – 346 с.
13. *Tadeusz W. Wieckowski, Jaroslaw M. Janukiewicz.* Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles // *Fibres & Textiles in Eastern Europe.* – January/December 2006. – Vol. 14, № 5(59). – P. 18–22.
14. *Вольман В.И.* Техническая электродинамика / В.И. Вольман, Ю.В. Пименов. – М. : Связь, 1971. – 432 с.

Отримано 2.11.2011