

*Нікольський Є. О., магістр, Бутенко О. О., доктор філософії*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

**БАГАТОШАРОВІ ЕКРАНИ ДЛЯ ЗАХИСТУ  
ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

*Анотація.* Багатошарові захисні екрани, які поєднують поглинаючі та відбиваючі властивості, часто використовуються для створення комплексних систем захисту від електромагнітних випромінювань (ЕМВ) та радіочастотних перешкод (РП). Ці екрани можуть бути корисні у різних сферах, включаючи електроніку, оборону, медичні пристрої тощо.

*Ключові слова:* захисні екрани, електромагнітне випромінювання, електромагнітний захист.

*Nikolskyi Ye. O., Butenko O. O.*

*Kyiv National University Technologies and Design*

**MULTI-LAYER SCREENS FOR PROTECTION  
AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION**

*Abstract.* Multi-layer protective screens, which combine absorptive and reflective properties, are often used to create complex systems of protection against electromagnetic radiation (EMR) and radio frequency interference (RFI). These screens can be useful in a variety of fields, including electronics, defense, medical devices, and more.

*Keywords:* protective screens, electromagnetic radiation, electromagnetic protection.

**Вступ.** Багатошарові екрани для захисту від електромагнітного випромінювання використовуються для зменшення ефектів електромагнітного поля в різних пристроях і приміщеннях [1, 2]. Такі екрани можуть мати кілька шарів, кожен з яких виконує свою функцію для максимальної ефективності.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є визначення функцій основних складових, що застосовуються для виготовлення екранів для захисту від електромагнітного випромінювання та створення багатошарового екрануючого покриття, що поєднує відбиваючі та поглинаючі властивості.

**Результати досліджень.** Багатошарові екрани призначені для захисту від електромагнітного випромінювання з різних джерел, таких як мобільні телефони, Wi-Fi мережі, мікрохвильові печі, комп'ютери та інші пристрої. Основна мета цих екранів полягає в тому, щоб зменшити ефективну експозицію людини до шкідливого впливу електромагнітного випромінювання.

Ці екрани мають спеціальні конструкції, які складаються з різних шарів матеріалів, що можуть відбивати, поглинати або розсіювати електромагнітні хвилі. Вони можуть бути використані в електроніці, будівництві або в спеціальних захисних пристроях, щоб зменшити рівень електромагнітного випромінювання на людину.

Основні складові багатошарових екранів для захисту від електромагнітного випромінювання включають:

- *провідні матеріали* – зазвичай це металеві матеріали, такі як алюміній або мідь, які можуть відбивати електромагнітні хвилі. Ці шари можуть бути вбудовані в корпус пристрою або виготовлені як окремий екран, який може встановлюватися навколо пристрою або приміщення;

- *феромагнітні матеріали* – такі матеріали можуть поглиблювати електромагнітні поля, що допомагає зменшити їхню інтенсивність. Зазвичай використовуються матеріали на основі заліза або нікелю;

- *діелектричні матеріали* – ці матеріали служать для розділення ізольованих шарів і вимагаються для створення ефективних екранів. Діелектричні матеріали можуть бути використані між провідними шарами для підвищення ізоляції та покращення ефективності екрану;

- *екранування на рівні сигналу* – у деяких випадках, особливо в електроніці, можуть використовуватися спеціальні екрани на рівні сигналу, що призначені для захисту конкретних сигнальних ліній від електромагнітного впливу.

Вибір матеріалів і структури залежить від конкретних вимог застосування, таких як частотний діапазон, товщина, вага, термічна стійкість та інші фактори. Найчастіше використовують наступні шари:

1. Поглинаючі шари – використовуються матеріали з високою електромагнітною поглибленістю, наприклад, феромагнетних матеріалів або матеріалів із високим вмістом графіту чи карбонових нанотрубок. Ці матеріали абсорбують електромагнітну енергію та перетворюють її в тепло.

2. Відбиваючі шари – використовують металеві плівки, наприклад, алюмінієві або мідні шари, які відбивають електромагнітні хвилі. Ці шари забезпечують відбиття електромагнітного випромінювання.

3. Діелектричні шари – діелектричні матеріали використовуються для підтримання відстані між відбиваючими і поглинаючими шарами. Вони можуть впливати на властивості поглиблення та відбивання, залежно від їхніх діелектричних характеристик.

4. Мультиплексування – шари, які оптимізують ефективність поглиблення та відбивання на різних частотах. Це може включати в себе використання різних матеріалів та структур для оптимізації характеристик захисного екрану на різних частотах.

5. Магнітні та електропровідні тканини – використовуються спеціальні тканини, що містять високі електромагнітні та електричні властивості. Ці тканини можуть бути вбудовані в екран для поліпшення його характеристик.

6. Поглиблюючі покриття – додаткові покриття на поверхні екрану можуть підвищити ефективність поглиблення. Наприклад, графенові або вуглецеві покриття можуть забезпечити додаткові властивості поглиблення.

7. Тонкі плівки та перетинки – використовуються тонкі шари або перетинки, які дозволяють легко комбінувати різні матеріали, підвищуючи ефективність екрану на різних частотах.

Для оцінки ефективності дії екранів використовується такий параметр як ефективність екранування (або екранне затухання), тобто ступінь послаблення складових поля (електричної чи магнітної), який визначається відношенням діючих значень напруженості полів в даній точці простору при відсутності і наявності екрану. Оскільки таке відношення може набувати досить великих значень, то зручніше користуватися логарифмічним вираженням цієї величини. Вимірюють екранне затухання в децибелах (дБ) [3].

По принципу дії екрани можна поділити на:

- відбиваючі;
- інтерференційні, які використовують принцип взаємного гасіння електромагнітних хвиль в процесі накладення в протифазі падаючої і відбитої хвилі;
- розсіюючі, де зменшення відбитої енергії в одному напрямку обернене її розсіюванню в інших напрямках під різними кутами;
- поглинаючі, які використовують перетворення електромагнітної хвилі у інші види енергії, зазвичай в теплову за рахунок діелектричних та магнітних втрат матеріалу;
- комбіновані, які поєднують різні принципи дії в одному екрані.

На практиці використовують як листові метали, так і металічні сітки [4].

Металеві сітки набагато легші листових матеріалів, а також простіші у виготовленні, вони зручні при збірці та експлуатації, світлопроникні, забезпечують достатній обмін повітря, мають велику ефективність екранування у широкому діапазоні радіочастот. Екрануючі властивості металевих сіток забезпечуються в основному в результаті відбивання електромагнітних хвиль від поверхні. Недоліками металевих екрануючих сіток є їх невисока механічна міцність та здатність до корозії.

Вдалою альтернативою листовим і сітчастим металевим екранам є тонкі гнучкі плівки, що виготовляються методом напилення металів на гнучку основу з полімеру. Але при цьому важко забезпечити рівномірне нанесення, так як у місцях налипання крапель одна на одну утворюється нерівномірність металічної структури, при цьому між зернами утворюється потенціальний бар'єр, який ускладнює протікання струму через нього. Це веде до погіршення електропровідності плівки, що в свою чергу знижує ефективність її екранування.

Значний недолік металевих екранів – їхня низька здатність поглинати енергію електромагнітних хвиль, механізм екранування здійснюється за рахунок відбивання.

Останнім часом все частіше звертаються до розробки захисних екранів на основі графіту, що має електропровідність подібну до металів [5]. У таких екранів є суттєві переваги перед металічними: вони легші, дешевші, не піддаються корозії, мають значний коефіцієнт поглинання, їм легше надати необхідної форми тощо [6, 7]. Недоліками таких екранів є їх низька стійкість до високих температур.

Найпростіший за складом екрануючий композит складається із трьох компонентів: графіту, технічного вуглецю та полімерного зв'язувального [8]. Для підвищення ефективності екранування в такі композити часто додають дрібнодисперсні електропровідні, напівпровідникові і навіть діелектричні функціональні наповнювачі.

Різновиди функціональних наповнювачів:

- електропровідні порошкоподібні вуглецеві матеріали та метали зі сферичною, циліндричною, лускатою та іншою формою часток;
- електропровідні вуглецеві, металічні та металовуглецеві волокна;
- металевий дріт;
- металізовані вуглецеві та полімерні волокна;
- магнітні наповнювачі;
- дисперсні напівпровідники – оксиди, карбіди та сульфідні металів.

Екранування високочастотних полів базується на двох основних фізичних властивостях, таких як відбивання та поглинання електромагнітних хвиль при переході з одного середовища в інше [9]. Найбільш ефективні є ті широкодіапазонні екрануючі матеріали, які, як правило, складаються із різних наповнювачів, що забезпечують різні механізми втрат енергії електромагнітних хвиль.

Удосконалюючи запатентовану технологію [10], було виготовлено два композитних покриття на основі полімерної матриці із полівінілбутиралю (ПВБ) з додаванням графіту марки ГАК-1 та графітізованої сажі PureBlack (зразок № 1). Зразок № 2 був двошаровим, другий шар виготовлений з додаванням колоїдно-графітового препарату КГП-1 та сажі вугільних теплоелектростанцій (ТЕЦ). Склад та основні характеристики отриманих екрануючих покриттів наведено в таблиці 1.

На рисунку 1 наведено оцінку електромагнітних втрат зразку № 1.

Із графіку рис. 1 видно, що середнє значення електромагнітних втрат, які вносить композит складає -34 дБ, при цьому коефіцієнт поглинання – 27,1%, а коефіцієнт відбиття при цьому 72,9%.

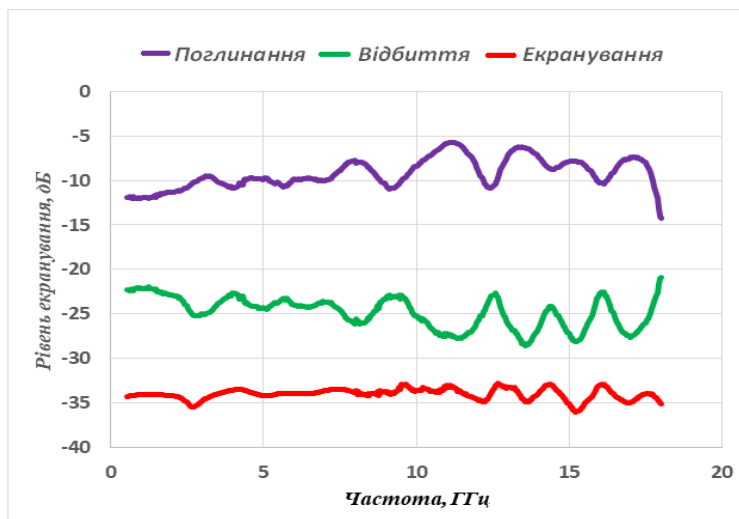
На рисунку 2 наведено оцінку електромагнітних втрат зразку № 2.

Таблиця 1

Склад та основні характеристики зразків № 1 та № 2

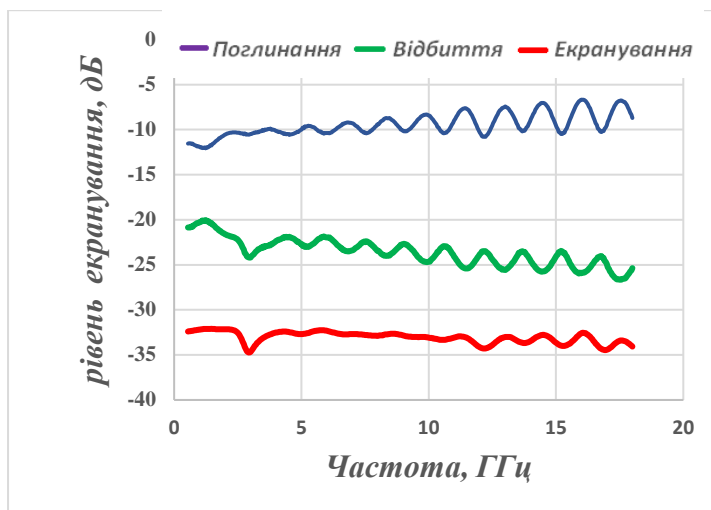
№ зразку	Склад	Ефективність екранування, дБ	Опір, Ом	Товщина покриття, мкм	Укривність, мг/см <sup>2</sup>
№1	20% сажі PureBlack 60% графіту ГАК-1 20% ПВБ	-34.0	0,6	157	8,487
№2	<u>1 шар:</u> 20% сажі PureBlack 60% графіту ГАК-1 20% ПВБ <u>2 шар:</u> 20% сажі ТЕЦ 60% графіту КГП С-1 20% ПВБ	-33.0	0,7	160	13,988

Джерело: авторська розробка.



Джерело: авторська розробка.

Рис. 1. Розподіл електромагнітних втрат композиту № 1



Джерело: авторська розробка.

Рис. 2. Розподіл електромагнітних втрат композиту № 2

Графік (рис. 2) демонструє, що середнє значення електромагнітних втрат, які дає композит складає -33,05 дБ, при цьому коефіцієнт поглинання – 28,6%, а коефіцієнт відбиття – 71,4%.

Можна зробити висновок, що нанесення досить тонкого другого шару покриття, що містить сажу ТЕЦ, яка виступає в ролі поглинача, різко на ефективність екранування не впливає, але при цьому відбувається перерозподіл механізму екранування в сторону збільшення його поглинаючих властивостей. Збільшення товщини додаткового екрануючого шару зі вмістом поглинача сприятиме збільшенню ефективності екранування в цілому та збільшенню поглинаючого ефекту. Це дозволить використовувати такі композитні покриття для електрохімічного захисту об'єктів, що потребують додаткового маскування. Разом з тим застосування саж вугільних теплоелектростанцій вирішує важливу екологічну проблему – утилізацію відходів.

**Висновки.** Варто зазначити, що ефективність багатшарових екрануючих покриттів може залежати від ряду факторів, таких як частота електромагнітного випромінювання, тип пристрою та середовище, в якому вони використовуються. Також важливо дотримуватися стандартів і рекомендацій щодо екранування в конкретних випадках.

#### Список використаної літератури

1. Rea S., Linton D., Orr E., McConnell J. Electromagnetic shielding properties of carbon fibre composites in avionic systems. *Microw. Rev.* 2005. Vol. 29. P. 2–32.
2. Kemkemian S., Nouvel-Fiani M., Chamouard E. Radar and electronic warfare cooperation: How to improve the system efficiency. *IEEE aerospace and electronic systems magazine.* 2011. Vol. 26, No 8. P. 32–38.
3. Chung D. D. L. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. *Carbon.* 2001. Vol. 39, P. 279–285.
4. Celozzi S., Araneo R., Lova G. *Electromagnetic Shielding.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2008. 361 p.
5. Zhong L., Yu R., Hong X. Review of carbon-based electromagnetic shielding materials: film, composite, foam, textile. *Textile Research Journal.* 2020. P. 1–17.
6. Xing D., Lu L., Xie Y. Highly flexible and ultra-thin carbon-fabric/Ag/waterborne polyurethane film for ultra-efficient EMI shielding. *Mater Des.* 2020. Vol. 185. P. 108227.
7. Kumar P., Shahzad F., Yu S. Large-area reduced graphene oxide thin film with excellent thermal conductivity and electromagnetic interference shielding effectiveness. *Carbon.* 2015. Vol. 94. P. 494–500.
8. Thimmappa B., Karthik A. Recent advances in carbon-based polymer composites for effective electromagnetic interference (EMI) shielding. *International journal of advanced science and technology.* 2020. Vol. 29, No 5. P. 6207–6234.
9. Wu Z., Xu Y., Wang M. Electromagnetic interference shielding properties of solid-state polymerization conducting polymer. *RSC Adv.* 2014. Vol. 4, No 73. P. 38797–38803.
10. Композиція для формування композиційного матеріалу для захисту від електромагнітного випромінювання та спосіб одержання композиційного матеріалу на субстраті: пат. UA 117949 C2; Барсуков В. З., Сенік І. В., Хоменко В. Г.; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.