DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.43.01.081>
УДК 621.396

Ю.С. Василюк¹, канд. техн. наук, **Я.В. Зінченко**¹, канд. техн. наук,
С.Є. Гнатюк², канд. техн. наук, **І.І. Софієнко**¹, **Д.В. Петрова**³

¹ Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Україна, 03056, Київ, вул. Верхньоключова, 4,

² Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України
Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15,
e-mail: sgnatuk30@gmail.com, тел. 0681814006

³ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут
Україна, 01011, Київ, вул. Московська, 45/1

Використання екрануючих властивостей сучасних матеріалів для технічного захисту інформації

Розглянуто основні матеріали для екранів електромагнітного випромінювання і методи їх виготовлення. Проаналізовано екрануючі властивості та електрофізичні характеристики: будівельних матеріалів на основі шунгітових порід; наноструктурованих вуглецево-вмісних екранів електромагнітного випромінювання; екрануючих матеріалів на основі синтезу композиційних металоорганічних волокон, а також застосування трикотажно-в'язальної технології для виготовлення екранів і поглиначів електромагнітного випромінювання. Описано властивості матеріалів, отриманих на основі синтетичних та натуральних волокон, що містять нанорозмірні включення металів і сплавів. Означено перспективи та можливості технічного захисту інформації із застосуванням нових матеріалів і конструкцій для екранування побічних електромагнітних випромінювань інформаційних пристроїв й виробів електронної техніки та придушення негативного впливу електромагнітного поля.

К л ю ч о в і с л о в а: електромагнітні випромінювання, технічний захист інформації, екрануючі матеріали.

Постановка задачі та аналіз деяких публікацій. Активне використання електромагнітного ресурсу, пов'язане з розвитком радіозв'язку і різних систем передачі та дистанційної обробки інформації, телебачення, мобільного зв'язку, радіолокації і радіонавігації, зумовлює появу додаткового електромагнітного фону. У великих містах, де джерелами електромагнітних полів (ЕМП) радіочастотного діапазону є радіоцентри зв'язку, мовлення,

© Василюк Ю.С., Зінченко Я.В., Гнатюк С.Є., Софієнко І.І., Петрова Д.В., 2021

телебачення, радіолокаційні станції, мобільні засоби радіозв'язку та інші джерела, це призводить до появи великої кількості електромагнітних випромінювань [1—4].

Смуга надвисоких частот (НВЧ) електромагнітного спектру займає діапазон частот від 300 МГц до 30 ГГц. Довгохвильові військові радары працюють на частотах близько 450 МГц; телевізійні канали — від 470 до 870 МГц; стільникові мобільні телефони — від 850 до 2200 МГц; супутникові навігаційні системами — понад 1 ГГц; космічні телеметричні системи — близько 2 ГГц; станції тропосферного зв'язку — понад 2 ГГц; радары для управління рухом літаків — понад 3 ГГц; різні радіорелейні системи — близько 4 ГГц. Комунікаційні супутникові системи використовують діапазон частот від 4 до 7 ГГц; контроль повітряного простору здійснюється на частотах близько 10 ГГц; міліцейські радары працюють на частотах 10,25 ГГц і 24 ГГц. Частоти від 20 до 30 ГГц призначені для перспективних супутникових комунікаційних систем. Для діапазону частот від 30 до 300 ГГц є характерним підвищене поглинання атмосферою [1—3, 5, 6].

Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) радіочастотного діапазону, що формується радіоелектронними засобами, відрізняється від природного фону за потужністю та має свої частотні характеристики і вносить додатковий внесок в реакцію біологічних об'єктів. Здебільшого реакції біологічних об'єктів важко передбачувати і носять комплексний характер [7—9]. При цьому особливо актуальною проблемою є придушення небажаних (побічних) ЕМВ, що виникають через недосконалість конструкцій випромінюючих блоків і утворюють додатковий електромагнітний канал витоку інформації [10]. Актуальність розробки високоефективних, широкосмугових, технологічних та зручних в експлуатації екрануючих і радіопоглинаючих матеріалів обумовлена не тільки проблемами біологічного впливу ЕМВ, а і великою потребою в таких матеріалах при розробці й вдосконаленні конструкцій виробів радіоелектроніки, пристроїв технічного захисту інформації та військової техніки [11, 12].

Сучасні екрануючі та радіопоглинаючі матеріали. При розробці конструкцій екранів або поглиначів електромагнітних хвиль (ЕМХ) використовують різні матеріали, які мають здатність відбивати або поглинати ЕМВ в певному діапазоні частот. Оскільки в природі не існує матеріалів, які ідеально відбивають або поглинають електромагнітну енергію, приглушення ЕМВ найчастіше забезпечується внаслідок обох процесів [1, 3, 6].

Здатність середовища поглинати ЕМВ визначається його електричними і магнітними властивостями, якими є питома електропровідність, діелектрична і магнітна проникності. Ці характеристики використовуються

при описуванні процесу поширення ЕМХ і в загальному випадку є нелінійними тензорними комплексними величинами. Поглинання електромагнітної енергії відбувається внаслідок діелектричних, магнітних втрат і втрат на провідність, максимізувавши які можна досягти максимуму ефективності екранування.

Відбивання ЕМХ відбувається на будь-яких неоднорідностях в матеріалі, а при конструюванні екранів визначається різницею хвильових опорів середовища поширення хвилі і екрану. Здебільшого використовують розсіювання плоского фронту ЕМХ на різних неоднорідностях структури радіопоглинаючого матеріалу або конструкції для досягнення повнішого поглинання електромагнітної енергії і зменшення рівня відбитого сигналу. Складний механізм поширення ЕМХ і поглинання ЕМВ, а також технологічні складнощі синтезу матеріалів із заздалегідь заданими електромагнітними властивостями в широкому діапазоні частот обумовлюють велику різноманітність існуючих екранів [4, 13].

Радіовідбиваючими матеріалами є різні метали. Зазвичай використовуються алюміній, залізо, сталь, латунь, мідь. Металеві екрани давно відомі і широко застосовуються. Вони високоефективні на радіочастотах, і їх ефективність збільшується при підвищенні частоти падаючого випромінювання. Вони технологічно використовуються у вигляді суцільних та перфорованих листів, сіток, трубок, ґрат і можуть бути нанесені у вигляді плівкових покриттів. Екрануючі властивості листового металу кращі, ніж властивості сітки, яка є зручнішою при екранізуванні оглядових та вентиляційних отворів, вікон, дверей тощо. Захисні властивості сітки залежать від величини осередку та товщини дроту: чим менше величина осередків, чим товще дріт, тим вище її захисні властивості.

Однак металеві екрани мають суттєвий недолік, пов'язаний з високою електропровідністю, а саме високий коефіцієнт відбивання, обумовлений великим розходженням хвильового опору вільного простору і екрану. Крім того, ефективність таких екранів істотно залежить від якості та надійності монтажу електричних контактів, при порушенні яких з'являються місця перевипромінювання ЕМХ. Водночас, ефективність перфорованих і сітчастих екранів зменшується при підвищенні частоти, що обмежує їх застосування (табл. 1) [1, 6].

Для екранування ЕМП внаслідок відбивання ЕМХ можна застосовувати також інші струмопровідні матеріали, такі як вуглецеві волокна, провідні полімери тощо. Недоліки таких екранів подібні до недоліків екранів, виготовлених із металів та сплавів. Явище відбивання ЕМХ при використанні струмопровідних екранів зазвичай здійснює негативний вплив, пов'язаний з формуванням перевідбитої хвилі, яка впливає на об'єкт технічного захисту, викликаючи зміну його параметрів. Це обумов-

лює необхідність враховувати параметри екрану при розробці радіоелектронних пристроїв, а також вживати спеціальних заходів. Тому слід звертати особливу увагу на розробку екранів і покриттів, ефективність яких досягається в результаті поглинання ЕМВ [6].

У конструкціях екранів і покриттів, поглинаючих ЕМВ, використовуються явища розсіювання ЕМХ, втрати на провідність при використанні провідних матеріалів, а також магнітні та діелектричні втрати в середовищі, прямо пропорційні значенням відносної діелектричної ϵ і магнітної μ проникності матеріалу. В ідеальному випадку величини ϵ і μ повинні бути максимізовані та дорівнювати одна одній, щоб зменшити рівень відбитої хвилі. Для отримання поглиначів ЕМХ використовуються ферити, феромагнітні матеріали та діелектрики [10, 13, 14].

У зв'язку з розвитком технології отримання композиційних матеріалів, властивості яких можуть змінюватися в широких межах підбором матеріалу сполучного шару і наповнювача, особлива увага приділяється гетерогенним радіопоглинаючим середовищам. Матеріали для поглиначів ЕМВ отримують методами порошкової металургії і з використанням технології композиційних матеріалів. Як вихідна сировина застосовуються неорганічні порошки та волокна, закріплені в сполучному шарі на основі неорганічних (оксидів алюмінію, титану тощо) або органічних (смоли, полімери, пластмаси, парафіни) матеріалів. Вони мають високу ефективність екранування і великі значення коефіцієнта поглинання ЕМХ, проте зазвичай їх застосування обмежене вузьким частотним діапазоном.

Дослідження в області розробки композиційних матеріалів спрямовані на розширення частотного діапазону електромагнітних екранів і от-

Таблиця 1. Характеристики ефективності екранування сітчастих і металевих екранів з різними параметрами

Вид екрану	Матеріал екрану	Ефективність екранування (дБ) на частоті (кГц)				
		10	100	1000	10000	100000
Металеві листи товщиною 0,5 мм	Сталь	64	87	120	120	120
	Мідь	67	70	88	120	120
Металеві сітки	Алюміній	65	66	80	120	120
	Мідь, дріт діаметром 0,1 мм, осередки розміром 1×1 мм	65	55	50	42	32
	Сталь, дріт діаметром 0,1 мм, осередки розміром 1×1 мм	48	47	42	36	29,5

римання багатофункціональних конструкцій. Використання дисперсних розчинів з керованими магнітними властивостями також вважається перспективним, однак ще далеке від практичного застосування через складність синтезу, низьку технологічність, відносно невисоку стабільність або токсичність існуючих магнітних рідин [3, 5].

Одним із способів підвищення ефективності поглинання ЕМХ є використання багатошарових матеріалів, які являють собою або симетричні структури, отримані чергуванням шарів з однаковими електромагнітними характеристиками, або градієнтні матеріали, в яких шари розташовуються за ознакою збільшення електричних і магнітних втрат в напрямку віддалення від кордону розділу екран — вільний простір, що дозволяє поліпшити узгодження хвильового опору екрану з хвильовим опором середовища поширення ЕМВ. У симетричних багатошарових матеріалах приглушення ЕМХ відбувається внаслідок багаторазового відбиття ЕМВ всередині екрану.

Градієнтні матеріали можуть бути виконані у вигляді багатошарових структур або з безперервною зміною параметрів матеріалу за глибиною. При цьому параметри поверхні екрану, розташованої біля джерела ЕМВ, підбирають таким чином, щоб забезпечити необхідні відбиваючі характеристики, а загальна ефективність визначається здебільшого властивостями матеріалу всередині екрану. Існуюче різноманіття матеріалів використовується в різних поєднаннях в конструкції екранів і поглиначів ЕМВ, число та функціональне призначення яких надзвичайно велике. Слід зазначити, що для забезпечення необхідних коефіцієнтів відбиття і приглушення ЕМХ здебільшого потрібна жорстка фіксація конструкції екрану, при цьому його параметри критично залежать від формостійкості конструкції та способу монтажу [4, 6, 16].

Окремим класом виділено гнучкі конструкції електромагнітних екранів, для виготовлення яких слід використовувати матеріали, що мають окрім заданих електромагнітних властивостей певні механічні характеристики. Гнучкість конструкції найчастіше забезпечується використанням гнучкої основи або сполучного шару в композиційних матеріалах, в той час як придушення ЕМВ відбувається внаслідок взаємодії випромінювання з матеріалом наповнювача.

Особливої уваги потребує використання волокнистих матеріалів, які мають, з одного боку, поліпшені механічні характеристики і гнучкість, а з іншого, — дозволяють реалізувати більш високу ефективність поглинання, використовуючи особливості поширення ЕМХ в волокнистих середовищах. Розробки в області конструювання гнучких електромагнітних екранів і поглиначів ЕМВ, засновані на використанні виробів легкої промисловості, засвідчили їх перспективність і високу ефективність в НВЧ діапазоні [13, 15—17].

Існує широкий спектр радіопоглинаючих матеріалів (радіопоглинаюче піноскло у вигляді плит марок «Кварц» і «Мікрон», феритодіелектричні поглиначі електромагнітних хвиль), застосування яких актуальне, насамперед, при створенні екранованих камер і приміщень для проведення сертифікованих випробувань, високоточних вимірювань радіоелектронної апаратури та антенної техніки, а також при забезпеченні вимог нормативних документів з технічного захисту інформації [6, 18].

Екрануючі властивості будівельних матеріалів. Перелік будівельних матеріалів, які ефективно екранують електромагнітні поля широкого діапазону частот, обмежений. В результаті досліджень встановлено, що такі будівельні матеріали як цегла, бетон, шлакоблоки тощо, послаблюють електромагнітну енергію. Наприклад, звичайний бетон є слабопровідним матеріалом, провідність якого визначається здебільшого вмістом води. Зволожений бетон може мати електропровідність приблизно 10^{-3} См/м, сухий бетон — до 10^{-8} См/м. Введення спеціальних електропровідних добавок (сажа, кокс) дозволяє отримати провідність до 10 См/м. Діелектрична проникність істотно залежить від типу заповнювача. Значення відносної діелектричної проникності звичайного бетону — від 5 до 6, добавки порошку сегнетокераміки можуть збільшити ці значення до

Таблиця 2. Електромагнітне випромінювання деякими будівельними матеріалами

Матеріал або конструкція	Товщина, см	Наскрізне загасання (дБ) на частоті (ГГц)		
		3,0	10,0	37,5
Цегла	12	15	15	15
Металізована скляна цегла	—	25	25	25
Штукатурка	1,8	—	8	12
Скло	0,28	—	2	2
Дошка	5,0	8,4	—	—
	3,5	5,0	—	—
	1,6	2,8	—	—
Фанера	0,4	—	1	2
Дерев'яностружкова плита	1,8	3,2	20,5	—
Шлакобетонна стіна	46	14,5	21	—
Капітальна стіна будівлі	70	16	12	—
Стіна зі штукатуркою	15	8	22	—
Міжповерхова перегородка	80	20	13	—
Вікно з подвійними рамами	—	7	—	—
Вікно з одинарною рамою	—	4,5	—	—

50—60. Отже, бетон зазвичай використовується як конструкційний матеріал, а також як діелектричний і як електропровідний матеріал. Для конструкцій із різних екрануючих матеріалів ступінь наскрізного загасання оцінюють тільки за результатами інструментального методу (табл. 2) [1, 3].

Мінерал шунгіт і будівельні матеріали на основі шунгітових порід є найбільш ефективними для захисту від ЕМВ. Наразі застосовуються розроблені будівельні радіоекрануючі матеріали на основі шунгітових порід (цегла, розчин кладки, конструкційний бетон, штукатурна мастика). До складу сумішей входять натуральні компоненти, такі як шунгіт (наповнювач), магнезит (в'язучий) і бішофіт.

Було досліджено більше десяти зразків екрануючих матеріалів «Альфапол» різного конструктивного виконання (панелі, куби з різною довжиною ребра) і отримано експериментальні електрофізичні характеристики (табл. 3). Результати досліджень, виконаних у лабораторних і природних умовах, засвідчили, що ефективність екранування магнезійно-шунгітових будівельних матеріалів (МШБМ) залежить від частотного діапазону електромагнітних випромінювань.

У табл. 4 наведено значення коефіцієнтів екранування у діапазоні частот 10,0 кГц — 34,5 ГГц сумішшю магнезиту і шунгіту з розчином бішофіту «Альфапол ШТ-1» при товщині шару штукатурки 15 мм [1, 3]. Штукатурна суміш «Альфапол ШТ-1» екранує також електричні поля частотою 50 Гц. Ефективність екранування становить 37,2 дБ. Зі збільшенням товщини шару ефективність екранування зростає. Проведені випробування дозволили визначити основні області застосування цих екрануючих будівельних матеріалів. Використання МШБМ дозволяє забезпечити дотримання гранично допустимих рівнів електромагнітних полів для виконання вимог нормативних документів з технічного захисту інформації [3, 19].

Переваги споруд на основі МШБМ полягають в тому, що в них поєднуються не тільки екрануючі, а й конструкційні властивості, що дозволяє створювати спеціальні будівельні конструкції та здійснювати технічний захист інформації із застосуванням будівельних технологій. Наприклад, цегляна стіна товщиною 70 см знижує рівень ЕМП в НВЧ діа-

Таблиця 3. Електрофізичні характеристики МШБМ

Електрофізична характеристика	Суха порошкова суміш магнезиту і шунгіту	Суміш магнезиту і шунгіту з розчином бішофіту «Альфапол ШТ-1»
Відносна діелектрична проникність, ϵ	6,3	$21,2 \pm 2,3$
Відносна магнітна проникність, μ	1,0	1,0
Електропровідність, σ (См/м)	0,36	0,313

пазоні до 21 дБ, шлакобетонна стіна при товщині 46 см — до 20,5 дБ. При застосуванні МШБМ ефективність екранування ЕМВ НВЧ діапазону становить до 18 дБ при товщині шару 15 мм.

Крім того, екранування традиційними будівельними матеріалами громіздке, при їх використанні важко забезпечити герметичність екрану. Поєднання в одній споруді конструкційних і екрануючих властивостей значно скорочує терміни введення таких об'єктів в експлуатацію. Екранувальні штукатурні суміші наносяться за звичайними будівельними технологіями і дозволяють більш ефективно організовувати заходи з технічного захисту інформації на об'єктах критичної інфраструктури [6, 19, 20].

Наноструктуровані вуглецевовмісні екрани ЕМВ. Багато років проводились дослідження способів побудови пасивних засобів захисту інформації. Було встановлено, що для екранування ЕМВ найефективнішими є конструкції на основі композиційних матеріалів. Такі матеріали створюють підбором концентрації порошкоподібного наповнювача та пов'язувача з урахуванням бажаних властивостей і характеристик. Вуглецевовмісні компоненти є найбільш розповсюдженим матеріалом для створення екранів ЕМВ. Залежно від виду вуглецю (технічний вуглець, вугілля), що має різну структуру і властивості, можливе отримання екранів ЕМВ для різних частотних діапазонів [21—23].

Серед вимог до екранів ЕМВ є не тільки значення коефіцієнтів відбиття і передачі, а й властивості легкості, гнучкості та міцності. Розроблені екрани ЕМВ на основі водних розчинів CaCl_2 або MgCl_2 здатні зберігати колоїдний стан за присутності і утримання в них пов'язаної води кристалогідратами $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [24]. На основі отриманих розчинів сформовані пластичні екрани (товщиною від 3 до 4 мм) з ослабленням ЕМВ більше 35 дБ в діапазоні частот від 8 до 12 ГГц. Використання даного композиційного матеріалу на поверхні об'єктів спеціального призначення дозволяє приховати їх на тлі торф'яних сфагнових або підзолистих ґрунтів [25].

Таблиця 4. Коефіцієнти екранування електромагнітних полів штукатурним матеріалом «Альфапол ШТ-1»

Частота, МГц	Коефіцієнт екранування, дБ	Частота, МГц	Коефіцієнт екранування, дБ
0,01—0,16	26,9—17,1	540,0—640,0	6,0—5,3
0,24—22,0	16,6—6,4	650,0—740,0	7,9—11,0
30,0—90,0	11,0—13,9	940,0—1000,0	11,7—12,0
110,0—210,0	11,0—8,2	2450,0	8,0
230,0—420,0	9,0—14,0	10000,0	18,1
430,0—530,0	13,1—8,0	34500,0	18,3

Отримано барвисті покриття для маскуванню засобів військової техніки на основі композиційної шунгітовмісної фарби [26, 27] з додаванням порошків титаномagnetиту і діоксиду титану. Дані покриття мають властивість стійкості до відкритого полум'я внаслідок спінювання, що пояснюється утворенням в складі покриттів ортоклазу, кремнію та зберіганням рутилу й оксиду цирконію [25].

Проведено експериментальне обґрунтування фізико-хімічних процесів, що відбуваються в структурі природного вуглецевмісного мінералу, шунгіту, при його термообробці в різних середовищах. Доведено, що термообробка порошків шунгіту в вакуумі при температурі 900 °С призводить до утворення ортоклазу (до 13 %). При термообробці порошкоподібного шунгіту в атмосфері хлориду амонію вміст ортоклазу збільшується до 21 %. Найбільший вміст ортоклазу (68 %) отримано при термообробці на повітрі (900 °С).

Результати проведених досліджень засвідчили збереження нанорозмірних багатшарових фулереноподібних глобул при термообробці в вакуумі і зниження їх вмісту до нульових значень при термообробці в середовищі хлориду амонію та на повітрі в поєднанні з переходом діоксиду кремнію в ортоклаз. Створено конструкції оздоблювальних панелей для електромагнітного екранування НВЧ джерел і забезпечення вимог з технічного захисту інформації на основі композиційного покриття з додаванням порошкоподібного деревного вугілля з різними сполучними компонентами. Нанесення розробленого композиційного покриття на поверхню конструкції з неоднорідностями зумовлює зменшення побічного ЕМВ в діапазоні частот від 2 до 17 ГГц [23, 25, 28].

Використання металевих ниток для створення провідних структур. Одним з найпоширеніших технологічних рішень при створенні гнучких електромагнітних екранів і захисного одягу є використання металів в структурі матеріалів із полотна, що має високу провідність і ефективність екранування. Металеві малюнки можна формувати різними способами, наприклад з використанням металевих порошків, дисперсних металовмісних паст, фарб тощо. Однак найпростіший метод виготовлення екрануючих матеріалів — формування провідних структур за допомогою металевих провідників у вигляді комплексних ниток або мікродроту.

Критичним параметром, що визначає екрануючі характеристики полотна з мікропровідниками, є технологія формування металевих малюнків. При формуванні малюнка з металевої нитки або мікродроту пров'язуванням їх спільно з синтетичною ниткою зносостійкість і гнучкість трикотажного полотна значно збільшуються, однак це негативно впливає на ефективність таких екранів. При збільшенні частоти ефективність такого полотна знижується, тому застосування трикотажних екранів з сітчастою електропровідною структурою обмежено [4, 6, 15, 17].

Розробка широкосмугових поглиначів ЕМВ. Розширення робочого діапазону частот поглиначів ЕМВ досягають в результаті використання спеціальних матеріалів і застосовуючи конструктивні рішення. Серед можливих конструкцій поглиначів найефективнішими і оптимальними стосовно масогабаритних характеристик є багатошарові системи. Перспективною є багатошарова конструкція з градієнтними електричними і магнітними властивостями за товщиною, кожний наступний шар якої має більший коефіцієнт відбивання та вищу ефективність екранування ЕМВ. Зазвичай ефективність таких систем збільшується з підвищенням частоти. Особлива увага приділяється приглушенню низьких частот, що забезпечується збільшенням ефективної товщини покриття і формуванням геометричних неоднорідностей на поверхні поглинача, зверненого до джерела випромінювання [3, 29].

Було досліджено багатошарові трикотажні конструкції, сформовані зшиванням окремих шарів у вигляді полотна з композиційних волокон, що містять нікель і кобальт, отриманих на основі поліакрилонітрила або целюлози. Конструкція складалася з двох сполучених полотен, де для порівняння змінювався порядок проходження шарів. Результати досліджень засвідчили таке: якщо першим шаром є полотно з матеріалу на основі нікелю, який має високий коефіцієнт відбиття, то відбувається значне відбиття електромагнітної енергії від першого шару; коли першим шаром є матеріал з низьким коефіцієнтом відбиття (кобальт), то відбиття від кордону розділу Co-Ni менше, ніж від кордону повітря-Ni, а відбите випромінювання додатково поглинається шаром, який містить кобальт.

Отже, ефективність багатошарової градієнтної конструкції вища, ніж сумарна ефективність окремих шарів. На основі отриманих результатів розроблено багатошарові конструкції радіопоглинаючих покриттів, де узгоджувальним шаром є трикотажне полотно з найнижчим коефіцієнтом відбиття і краще узгоджене із середовищем поширення ЕМХ. Робочим шаром є полотно з високою електропровідністю і ефективністю придушення ЕМВ. Для підвищення загальної ефективності конструкції додатково можна вводити відбиваючий шар, який повертає назад випромінювання, що пройшло через екран. При цьому відбита від останнього шару енергія додатково поглинається в робочому та сполучному шарах [6, 15].

Висновки

На даний час, коли число діючих радіоелектронних засобів постійно збільшується, розробляються нові види електромагнітного зброї, загострюються проблеми екологічного захисту живих організмів, електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, забезпечення технічного захисту інформації, прихованості об'єктів тощо, проблема розробки нових

екрануючих матеріалів і технологій з підвищеною ефективністю й широкосмуговістю надзвичайно актуальна.

Електромагнітні екрани широко застосовуються не тільки для приглушення небажаних випромінювань електронної техніки, а і в екологічному захисті живих організмів від шкідливого впливу електромагнітного випромінювання, для створення одягу та накидок спеціального призначення, приглушення електромагнітного каналу витоку інформації і захисту пристроїв обробки інформації від електромагнітного впливу. Особливу увагу приділяється використанню радіопоглиначів в конструкціях авіаційної техніки, надводних і підводних кораблів, де велика кількість електронної апаратури сконцентрована на обмеженій площі судна.

Екранування технічних засобів обробки інформації та приміщень, в яких відбувається прийом, передача і обробка конфіденційної інформації, дозволяє знизити рівні побічних електромагнітних випромінювань до заданих величин. Однак актуальною проблемою наразі залишається електромагнітне маскування наземних об'єктів за допомогою матеріалів, здатних зменшити дальність виявлення рухомих і нерухомих радіолокаційних цілей в широкому діапазоні частот.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аполлонский С.М.* Защита техносферы от воздействия физических полей и излучений. В трех томах. Т.2. Защитные материалы от физических полей и излучений. М.: Русайнс, 2016, 340 с.
2. *Семенихина Д.В., Юханов Ю.В., Привалова Т.Ю.* Теоретические основы радиоэлектронной борьбы. Радиоэлектронная разведка и радиоэлектронное противодействие/ Учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015, 252 с.
3. *Аполлонский С.М.* Роль природных экранов в снижении электромагнитной нагрузки в транспортной зоне // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. Тр. 2-й Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 17—20 июня 2014 года, с. 149—163.
4. *Девина Е.А.* Разработка многослойных радиопоглощающих материалов на основе нетканых диэлектрических матриц и полимерного связующего. Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2018, 141 с.
5. *Аполлонский С.М.* Электромагнитное экранирование. Т. II. Экранирование в инженерной практике. Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013, 180 с.
6. *Козловский В.В., Софиев И.И.* Экранирующие свойства современных материалов // Вісник ДУІКТ, 2009, № 7 (3), с. 233—245.
7. *Аполлонский С.М.* Электромагнитное экранирование: Т. I. Теория электромагнитного экранирования. Saarbrücken (Germany) : Palmarium Academic Publishing, 2013, 486 с.

8. Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия. Изд. 2-е, дополненное. Книга 2. М.: Техносфера, 2018, 702 с.
9. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М., Сподобаев М.Ю. Концептуальный кризис в электромагнитной безопасности телекоммуникационных сетей и систем // Электросвязь, 2017, № 7, с. 18—23.
10. Козловский В.В., Софієнко І.І. Модели диелектрических слоёв каналов утечки высокочастотной информации // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації, 2009, № 1. Київ: ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», с. 16—25.
11. Хорев А.А. Техническая защита информации/ Учеб. пособие. В трех томах. Т. 1. Технические каналы утечки информации. М.: НПЦ «Аналитика», 2008, 436 с.
12. Андрончик А.Н., Богданов В.В., Домуховский Н.А. и др. Защита информации в компьютерных сетях. Практический курс. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008, 248 с.
13. Ильющенко А.Ф., Барай С.Г., Талако Т.Л. и др. Синтез и исследование радиопоглощающих материалов на основе ферромагнетиков // Порошковая металлургия в Беларуси. Сб. науч. Статей. ГНПО порошковой металлургии. Минск: Беларуская наука, 2017, с. 174—186.
14. Барай С.Г., Талако Т.Л., Насонова Н.В., Пухир Г.А. Поглощающие свойства композиционных материалов на основе Ni-Zn ферритов в диапазоне СВЧ // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сб. докл. 8-го Междунар. симп. Ч. 1. Минск : Беларус. наука, 2013, с. 405—408.
15. Ахмед А.А., Пулко Т.А., Насонова Н.В., Лыньков Л.М. Гибкие многослойные конструкции экранов электромагнитного излучения / Доклады БГУИР, 2015, № 5(91), с. 106—107.
16. Утепов Е.Б. Методы снижения электромагнитного излучения. Алматы: КазНТУ, 2014, 126 с.
17. Кокодий Н.Г., Натарева А.О., Тиманюк В.А., Приз И.А. Гибкие защитные экраны для СВЧ-диапазона на основе тонких проводящих волокон // Радіофізика та електроніка, 2017, 22, № 2, с. 79—84.
18. Короленко А.В., Букетов А.В., Малыгин Б.В., Борисенко Е.И. Экранирование электромагнитных излучений в рабочей зоне судна с применением защитного экрана из пеностекла // Наук. вісник Херсонської державної морської академії, 2013, № 2 (9), с. 111—118.
19. Іванченко С.О., Гавриленко О.В., Липський О.А., Шевцов А.С. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації / Навч. посібник. Київ: ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2016, 104 с.
20. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 серпня 2016 року № 563 «Про затвердження Порядку формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави».
21. Лыньков Л.М. и др. Комбинированные материалы для имитации естественных сред в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн для систем защиты информации. Минск: Бестпринт, 2014, 159 с.
22. Белоусова Е.С. и др. Электромагнитные экраны на основе наноструктурированных углеродосодержащих материалов. Минск : Бестпринт, 2018, 317 с.
23. Пулко Т.А., Айад Х.А.Э., Белоусова Е.С. Влияние состава композиционных покрытий на основе порошкообразного древесного угля на экранирование электромагнитных излучений // Докл. БГУИР, 2016, № 3 (90), с. 103—108.
24. Белоусова Е.С., Мохамед А.М.А., Аль-Адеми Я.Т.А. Гибкие углеродосодержащие поглотители электромагнитного излучения на основе волокнистых материалов // Докл. БГУИР, 2017, № 2 (104), с. 63—68.

25. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Борботько Т.В. и др. Новые технологии создания экранов электромагнитного излучения на основе модифицированных порошковых, наноструктурированных и пленочных материалов // Докл. БГУИР, 2019, № 2 (120), с. 85—99.
26. Бойправ О.В., Белоусова Е.С. Влияние термообработки открытым пламенем перлитосодержащих конструкций экранов на их характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения // Докл. БГУИР, 2016, № 6 (100), с. 80—85.
27. Белоусова Е.С., Бойправ О.В., Лыньков Л.М. Композиционные огнестойкие краски с углеродсодержащими компонентами для экранирования электромагнитного излучения // Вестн. Полоцкого гос. ун-та, 2017, № 11, с. 47—51.
28. Белоусова Е.С. и др. Электромагнитные экраны на основе наноструктурированных углеродсодержащих материалов. Минск: Бестпринт, 2018, 317 с.
29. Непочатов Ю., Бадин А., Манина И. Разработка широкополосного радиопоглощающего материала на основе карбида кремния и нитрида алюминия // Современная электроника, 2019, № 2, с. 75—79.

Отримано 27.07.2020

REFERENCES

1. Apollonskiy, S.M. (2016), *Zashchita tekhnosfery ot vozdeystviya fizicheskikh poley i izlucheniya. T.2: Zashchitnyye materialy ot fizicheskikh poley i izlucheniya* [Protection of the technosphere from the effects of physical fields and radiation. Volume 1: Protective materials from physical fields and radiation], Moscow, Russia.
2. Semenikhina, D.V., Yukhanov, Yu.V. and Privalova, T.Yu. (2015), *Teoreticheskiye osnovy radioelektronnoy borby. Radioelektronnaya razvedka i radioelektronnaye protivodeystviye* [Theoretical foundations of electronic warfare. Electronic reconnaissance and electronic countermeasures], YUFU, Taganrog, Russia.
3. Apollonskiy, S.M. (2014), "The role of natural screens in reducing the electromagnetic load in the transport zone. Magnetic levitation transport systems and technologies", *Trudy 2-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Proceedings of the 2nd International Scientific Conference], Saint-Petersburg, June 17-20, 2014, pp. 149-163.
4. Devina, E.A. (2018), "Development of multilayer radar absorbing materials based on non-woven dielectric matrices and a polymer binder", Cand. Sci. (Tech.) dissertation, 2018, Moscow, Russia.
5. Apollonskiy, S.M. (2013), *Elektromagnitnoye ekranirovaniye. T. II: Ekranirovaniye v inzhenernoy praktike* [Electromagnetic shielding. Volume 2: Shielding in engineering practice: Monograph], Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, Germany.
6. Kozlovskiy, V.V. and Sofiyenko, I.I. (2009), "Screening properties of modern materials", *Visnyk DUKT*, Vol. 7, No. 3, pp. 233–245.
7. Apollonskiy, S.M. (2013), *Elektromagnitnoye ekranirovaniye. T. I: Teoriya elektromagnitnogo ekranirovaniya* [Electromagnetic Shielding. Volume 1: Theory of Electromagnetic Shielding], Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, Germany.
8. Belous, A.I., Merdanov, M.K. and Shvedov, S.V. (2018), *SVCh-elektronika v sistemakh radiolokatsii i svyazi. Tekhnicheskaya entsiklopediya. Izdaniye 2-e. dopolnennoye. Kniga 2* [Microwave electronics in radar and communication systems. Technical Encyclopedia. 2nd Edition, revised. Book 2], Tehnosfera, Moscow, Russia.
9. Maslov, M.Yu., Spodobayev, Yu.M. and Spodobayev M.Yu. (2017), "Conceptual crisis in electromagnetic safety of telecommunication networks and systems", *Elektrosvyaz*, Vol. 7, No. 1, pp. 18–23.

10. Kozlovskiy, V.V. and Sofiyenko, I.I. (2009), "Models of dielectric layers of high-frequency information leakage channels", *Spetsialni telekomunikatsiyini sistemi ta zakhist informatsii*, ISZZI NTUU «KPI», Vol. 1, pp. 16–25.
11. Khorev, A.A. (2008), *Tekhnicheskaya zashchita informatsii. T. 1: Tekhnicheskiye kanaly utechki informatsii* [Technical protection of information: textbook. Volume 1: Technical channels of information leakage], NPTS «Analitika», Moscow, Russia.
12. Andronchik, A.N., Bogdanov, V.V., Domukhovskiy, N.A., Kollerov, A.S., Sinadskiy, N.I., Khorkov, D.A. and Shcherbakov, M.Yu. (2008), *Zashchita informatsii v kompyuternykh setyakh. Prakticheskiy kurs* [Information security in computer networks. Practical course], UGTU-UI, Ekaterinburg, Russia.
13. Ilyushchenko, A.F., Baray, S.G., Talako, T.L., Letsko, A.I. and Nasonova, N.V. (2017), "Synthesis and research of radio absorbing materials based on ferrimagnets" *Poroshkovaya metallurgiya v Belarusi: sb. nauch. st., GNPO poroshkovoy metalrgii*, pp. 174–186.
14. Baray, S.G., Talako, T.L., Nasonova, N.V. and Pukhir, G.A. (2013), "Absorbing properties of composite materials based on Ni-Zn ferrites in the microwave range", *Poroshkovaya metallurgiya: inzheneriya poverkhnosti. novyye poroshkovyye kompozitsionnyye materialy: sb. dokl. 8-go Mezhdunar. simp. Chast 1* [Powder metallurgy: surface engineering, new powder composite materials: collection of reports of the 8th International Symposium, Part 1], Minsk, NAN Belarusi, pp. 405–408.
15. Akhmed, A.A., Pulko, T.A., Nasonova, N.V. and Lynkov, L.M. (2015), "Flexible multi-layer designs of electromagnetic radiation shields", *Doklady BGUIR*, Vol. 5, No. 91, pp. 106–107.
16. Uteпов, E.B. (2014), *Metody snizheniya elektromagnitnogo izlucheniya* [Methods for reducing electromagnetic radiation], KazNTU, Almaty, Kazakhstan.
17. Kokodiy, N.G., Natarova, A.O., Timanyuk, V.A. and Priz, I.A. (2017), "Flexible protective shields for the microwave range based on thin conductive fibers", *Radiofizika ta elektronika*, Vol. 2, No. 22, pp. 79–84.
18. Korolenko, A.V., Buketov, A.V., Malygin, B.V. and Borisenko, E.I. (2013), "Shielding of electromagnetic radiation in the working area of the vessel using a protective screen made of foam glass", *Naukoviy visnik Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*, Vol. 2, No 9, pp. 111–118.
19. Ivanchenko, S.O., Havrylenko, O.V., Lypskyi, O.A. and Shevtsov, A.S. (2016), *Tekhnichni kanaly vytoku informatsii. Poriadok stvorennia kompleksiv tekhnichnoho zakhystu informatsii* [Technical channels of information leakage. The order of creation of complexes of technical protection of information], ISZZI NTUU "KPI", Kyiv, Ukraine.
20. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 563 dated August 23, 2016, "On approval of the Procedure for forming a list of information and telecommunication systems of critical infrastructure of the state", Kyiv, Ukraine.
21. Lynkov, L.M. et. al. (2014), *Kombinirovannyye materialy dlya imitatsii estestvennykh sred v vidimom i infrakrasnom diapazonakh dlin voln dlya sistem zashchity informatsii* [Combined materials for simulating natural environments in the visible and infrared wavelength ranges for information security systems], Bestprint, Minsk, Belarus.
22. Belousova, E.S. et. al. (2018), *Elektromagnitnyye ekrany na osnove nanostrukturirovannykh uglerodo-soderzhashchikh materialov* [Electromagnetic screens based on nanostructured carbon-containing materials], Bestprint, Minsk, Belarus.
23. Pulko, T.A., Ayad, Kh.A.E. and Belousova, E.S. (2016), "The effect of the composition of composite coatings based on powdered charcoal on the shielding of electromagnetic radiation", *Dokl. BGUIR*, Vol. 3, No. 90, pp. 103–108.

24. Belousova, E.S., Mokhamed, A.M.A. and Al-Ademi, Ya.T.A. (2017), "Flexible carbon-based absorbers of electromagnetic radiation based on fiber materials", *Dokl. BGUIR*, Vol. 2, No. 104, pp. 63–68.
25. Lynkov, L.M., Bogush, V.A., Borbotko, T.V., Nasonova, N.V., Belousova, E.S. and Boyprav, O.V. (2019), "New technologies for creating screens of electromagnetic radiation based on modified powder, nanostructured and film materials", *Dokl. BGUIR*, Vol. 2, No. 120, pp. 85–99.
26. Boyprav, O.V. and Belousova, E.S. (2016), "The effect of heat treatment by an open flame of pearlite-containing structures of screens on their characteristics of reflection and transmission of electromagnetic radiation", *Dokl. BGUIR*, Vol. 6, No. 100, pp. 80–85.
27. Belousova, E.S., Boyprav, O.V. and Lynkov, L.M. (2017), "Composite fire-retardant paints with carbon-containing components for shielding electromagnetic radiation", *Vestn. Polotskogo gos. un-ta*, Vol. 11, pp. 47–51.
28. Belousova, E.S. (2018), *Elektromagnitnyye ekrany na osnove nanostrukturirovannykh ugle-rodo-soderzhashchikh materialov* [Electromagnetic screens based on nanostructured carbon-containing materials], Bestprint, Minsk, Belarus.
29. Nepochatov, Yu., Badin, A. and Manina, I. (2019), "Development of broadband radar absorbing material based on silicon carbide and aluminum nitride", *Sovremennaya elektronika*, Vol. 2, pp. 75–79.

Received 27.07.2020

Y. Vasyliuk, Y. Zinchenko, S. Gnatiuk, I. Sofienko, D. Petrova

USE OF MODERN SHIELDING PROPERTIES MATERIALS FOR TECHNICAL PROTECTION OF INFORMATION

The paper considers the main materials for electromagnetic radiation screens and methods of their manufacturing. Shielding properties and electrophysical characteristics of the following are analyzed: building materials based on shungite rocks are analyzed; nanostructured carbon-containing screens of electromagnetic radiation; shielding materials based on the synthesis of composite organometallic fibers; application of knitting and knitting technology for the manufacturing of screens and absorbers of electromagnetic radiation. The properties of materials obtained on the basis of synthetic and natural fibers containing nanoscale inclusions of metals and alloys are given. Prospects and possibilities of technical protection of information with the use of new materials and structures for shielding electromagnetic radiation of information devices and electronic products, suppression of the negative effects of the electromagnetic field are discussed.

Keywords: electromagnetic radiation, technical protection of information, shielding materials.

ВАСИЛЮК Юрій Сергійович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб. науково-дослідної спеціальної лабораторії № 1 науково-дослідного центру Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». В 2000 р. закінчив Київський військовий інститут управління і зв'язку. Область наукових досліджень — визначення технічного стану радіоелектронних засобів та технічний захист інформації.

ЗІНЧЕНКО Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., нач. науково-дослідної спеціальної лабораторії № 1 науково-дослідного центру Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». В 1998 р. закінчив Київський військовий інститут управління і зв'язку. Область наукових досліджень — технічний захист інформації.

ГНАТЮК Сергій Євгенович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. В 1994 р. закінчив Львівський державний університет ім. Івана Франка. Область наукових досліджень — надійність програмно керованих радіоелектронних засобів.

СОФІЄНКО Іван Іванович, провідний фахівець лабораторії спеціальної кафедри № 4 Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». В 1986 р. закінчив Київське вище інженерне радіотехнічне училище протиповітряної оборони ім. маршала авіації О.І. Покришкіна. Область наукових досліджень — технічний захист інформації.

ПЕТРОВА Дар'я Володимирівна, викладач кафедри спеціальних інформаційних систем та робототехнічних комплексів Військового інституту телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут. В 2014 р. закінчила Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут. Область наукових досліджень — технічний захист інформації.