

УДК:

667.657.4:614.8.

086.52

СЕНИК І. В., БАРСУКОВ В. З., КРЮКОВА О. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

СПЕЦІАЛЬНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛУ ТА СПОРЯДЖЕННЯ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Робота присвячена розробці та дослідженню струмопровідного графіт-вуглець-полімерного композитного покриття для захисту від електромагнітного випромінювання. Досліджена залежність розподілу електромагнітних втрат від складу і товщини покриття. Показана можливість досягнення ефективності екранування в середньому -23.5 дБ в частотному діапазоні 17-27 ГГц, високої адгезії до полімерної поверхні, простої та недорогій технології нанесення покриття із спеціально підготовленої фарби. Планується в перспективі розширення частотного діапазону, подальше збільшення ефективності екранування для захисту персоналу і спорядження від електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, захист персоналу та спорядження, екранування, краска, покриття.

SPECIAL COATINGS FOR PROTECTION OF STAFF AND EQUIPMENT FROM ELECTROMAGNETIC RADIATION

SENYK I.V., BARSUKOV V.Z., KRIUKOVA O.A.

Kyiv National University of Technologies and Design

The work is devoted to research and development of conductive graphite-carbon polymer composite coating for shielding of electromagnetic radiation. The dependence of electromagnetic losses distribution of coating composition and thickness was investigated. It was shown the possibility to ensure at an average -23.5 dB shielding efficiency in the frequency range 17-27 GHz, very good adhesion to the polymer bodies, simple and not expensive technology of coating preparation using specially prepared paint. It is planned in perspective to extend the frequency range and further increase shielding effectiveness for defense personal and equipment of electromagnetic radiation.

Keywords: electromagnetic radiation, defense personal and equipment, shielding, adhesion, paint, coating.

Проблема дії штучних джерел електромагнітного випромінювання на організм людини вийшла на передній план, адже навіть вдома людина знаходиться під дією електромагнітного випромінювання (ЕМВ) внаслідок поширення бездротової техніки, підвищення споживання електричної енергії, тощо. Особливо актуальним є захист персоналу та електронного обладнання від впливу ЕМВ для військових, співробітників МНС, поліції, тощо. Крім шкідливого впливу ЕМВ на здоров'я людини, важливою є так звана «проблема помітності», коли працююче електронне обладнання (наприклад,

тепловізор або оптичний приціл) може бути легко виявлене саме завдяки ЕМВ, яке від нього розповсюджується. Це створює безпосередню загрозу життю снайперів та інших військових, співробітників інших спеціальних підрозділів.

Нарешті, дуже актуальною є проблема «електромагнітної розв'язки», коли один вид працюючого обладнання (наприклад, тепловізор) впливає на працездатність іншого обладнання (наприклад, радіостанцію) та навпаки. Для вирішення комплексу цих проблем необхідна розробка спеціальних засобів захисту від ЕМВ.

Стандартні інженерно-технічні засоби захисту від електромагнітного випромінювання передбачають там, де це є можливим, екранування стін, перегородок і вікон металевими матеріалами. Широкого застосування для захисту від ЕМВ в будівельних конструкціях та інших об'єктах набули захисні екрани, такі як металева сітка, металевий лист чи напилений шар металу. Проте застосування металевих матеріалів не завжди зручне, адже це збільшує масу конструкції, вимагає додаткового спеціального обладнання та спеціалістів, елементів захисту від корозії та значно збільшує вартість такого захисту.

У зв'язку з цим більш зручно застосовувати захисні матеріали у вигляді фарби, яку можна наносити на внутрішню або зовнішню поверхню електронного обладнання з утворенням міцного та ефективного покриття. Важливо, щоб такі покриття забезпечували надійну адгезію та захист від ЕМВ, не втрачали б своїх захисних властивостей і не впливали б на здоров'я людини в процесі експлуатації. Виробництво таких матеріалів певною мірою розвинуто на сьогоднішній день. Проте частина таких розробок включає в якості розчинника воду [1], що робить такі матеріали нестійкими та ненадійними при застосуванні їх у відкритому середовищі та при підвищеній вологості.

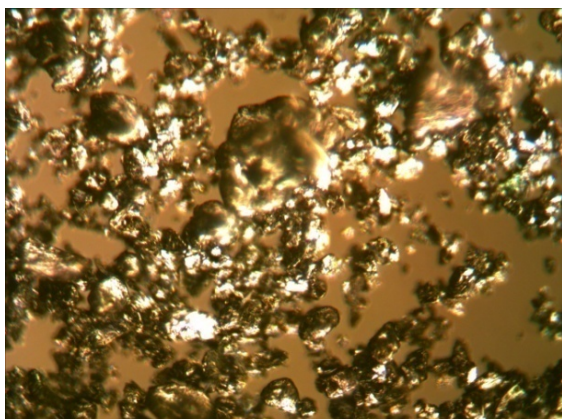
Інша частина розробок використовує в своєму складі токсичні органічні розчинники та домішки [2-3], що значно ускладнює нанесення покриттів та збільшує їх собівартість.

На жаль, український ринок займає тільки дистриб'юторську позицію в представленні захисних вуглецевих фарб, тому дана робота присвячена розробці та оптимізації складу струмопровідної графіт-вуглецевої полімерної фарби на базі вітчизняної сировини.

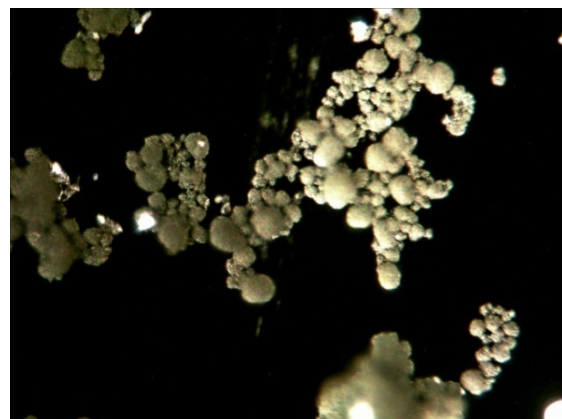
ОБГУРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ

До складу розробленого композиту входив колоїдний графітовий препарат (КГП) марки S-1 [4] виробництва ТОВ «Заваллівський Графіт», графітизована сажа та спиртовий розчин полімеру. Колоїдний графітовий препарат – вітчизняний продукт, виготовлений за ТУ 113-08-48-63-90 з розміром часточок не більше 90 мкм. На відміну від металевих порошків графіт володіє нижчою насипною густиною (так насипна густина КГП S-1 = 0,23-0,40 г/см³, в той час як, наприклад, традиційного нікелевого порошку - 1,4-4,0 г/см³) та забезпечує високий рівень електропровідності.

Графітизована сажа в складі композиту відіграє важливу роль завдяки розвиненій питомій поверхні (~ 50 м²/г) та її здатності до структуризації в ланцюги (рис. 1б), що забезпечує додаткову пористість та електропровідні містки між часточками графіту. Мікроструктура часточок КГП та сажі досить сильно відрізняється (рис.1), що може створювати додаткові гетерогенні переходи при розповсюдженні ЕМВ в композиті (суміші) таких матеріалів.



а



б

Рис. 1. Мікроструктура графіту КГП (а) та графітизованої сажі (б)

Використання дисперсних вуглецевих матеріалів вимагає надійного полімерного зв'язуючого, який би володів високою адгезією до конструкційного матеріалу корпусу, низькою в'язкістю концентрованих розчинів, стійкістю до вологи, малою хімічною активністю до компонентів системи. Вибір такого зв'язуючого здійснюється в залежності від матеріалу корпусу обладнання в кожному конкретному випадку.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Спосіб виготовлення композитного матеріалу для екранування електромагнітного випромінювання реалізовувався за рахунок процесу змішування всіх компонентів в рідкому середовищі полімеру. Після цього суміш ретельно перемішували механічною мішалкою до утворення однорідної маси. Композит наносили тонким шаром на внутрішню або зовнішню робочу поверхню корпусу в один чи декілька шарів в залежності від вимог до екранування та конструктивних особливостей апаратури.

Товщина зразка фіксувалась за допомогою електронного мікрометра Tesa Micromaster 06030010 з точністю вимірювання 0,001 мкм.

Вимірювання електромагнітних втрат здійснювалося хвиловим методом з використанням рупорних антен в діапазоні частот 17-27 ГГц.

Оцінка адгезії покриття до робочої поверхні здійснювалася методами прямого відриву та нанесення сітки подряпин із застосуванням липкої стрічки.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

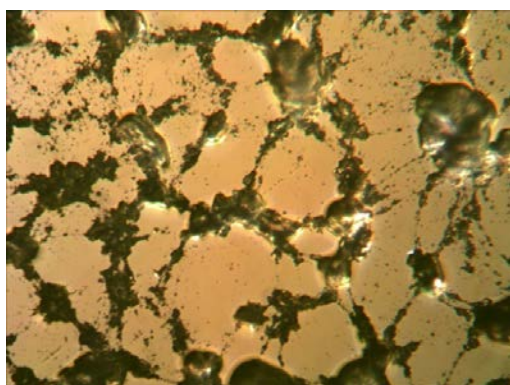
Аналіз зразків покриття перш за все проводили за допомогою оптичної мікроскопії, що дозволяє швидко та чітко проаналізувати зовнішній вигляд, структуру, розміри часточок та пор в композитному матеріалі.

Внаслідок випаровування рідкої складової з композитної системи відбувається усадка полімеру, часточки сажі та графіту максимально наближуються один до одної, формуючи електропровідну сітку (рис. 2а), а в просторі між часточками утворюються мікропустоти.

Саме наявність такої сітки забезпечує високий рівень електропровідності, а отже і захисних властивостей в області електромагнітного екранування.

Аналіз мікрофотографій поверхні дозволяє оцінити якість процесу перемішування і підібрати необхідний для цього час і обладнання. Зокрема, контролюється однорідність і пористість системи, відсутність утворених мікротріщин на поверхні фарби в процесі сушки, тощо. Із аналізу наведених фотографій випливає, що в процесі перемішування композиту забезпечується висока диспергація часточок наповнювача в розчині полімеру.

Пористість плівки чітко видно на мікрофотографії у відбитому світлі (рис. 2 б), де пори повністю просвічуються. Вони утворюються в процесі випаровування розчинника (етилового спирту) з товщі плівки.



а



б

Рис. 2. Мікрофотографії шару вуглецевої фарби в прохідному (а) та відбитому (б) світлі

Механічні властивості пористих матеріалів визначаються їхньою структурою, тобто розміром, формою, однорідністю розподілу пор, а також товщиною міжпорових перегородок і складом аморфної складової. Механічна міцність аморфної фази значно підвищується в присутності частинок кристалічної фази мікро- і нанорозмірів, тобто без концентрації напружень на межі розділу фаз, що можуть призводити до руйнування плівки [6, 7].

Важливу роль при конструюванні елементів захисту від ЕМВ відіграє міцність зчеплення композитного матеріалу з основою (корпусом) обладнання. Як правило, металеві споруди не потребують додаткового захисту, оскільки самі прекрасно володіють такими властивостями. Інша ситуація виникає при використанні полімерних матеріалів, які широко використовуються у формуванні корпусних елементів (зокрема, спеціальної техніки).

Таким чином, було доцільним провести дослідження міцності зчеплення вуглецевого композиту з типовими полімерними матеріалами. Аналіз літературних джерел привів до вибору в якості субстрату таких матеріалів як поліетилен, політетрафторетилен, фенол-формальдегідні смоли, поліетиленфталат (лавсан) та ін.

На адгезію між контактуючими поверхнями впливають міжмолекулярні сили їх взаємодії, число точок контакту і відстань між цими точками, середовище між контактуючими поверхнями та істинна площа контакту. Полярні речовини (асфальтени, смоли) мають більшу адгезію до поверхні, ніж слабо полярні (парафіно-нафтенові вуглеводні) або неполярні. Чим вища здатність до поляризації, або чим більша полярність рідкої речовини, тим сильніша адгезійна взаємодія між контактуючими поверхнями. Збільшенню адгезії сприяє підвищення площі істинного контакту між зв'язуючим і поверхнею вуглецю шляхом заповнення зв'язуючим пор, тріщин і мікронерівностей поверхні вуглецю.

Поліетилен як конструктивний матеріал набув досить великого поширення, проте

міцність зчеплення до нього графіт-вуглецевого композита була досить низькою, що пов'язано, перш за все, з його неполярністю. Дослідження показали, що погана адгезія до поліетилену - наслідок не тільки його неполярності, але і наявності антиоксидантів (стабілізаторів), слідів мастила на поверхні виробів та домішок низькомолекулярних продуктів [5].

На рис. 3 наведена мікрофотографія шару фарби графіт-вуглецевого композиту на поверхні лавсанової плівки після використання методу прямого відриву, яка свідчить про високу адгезійну міцності покриття.

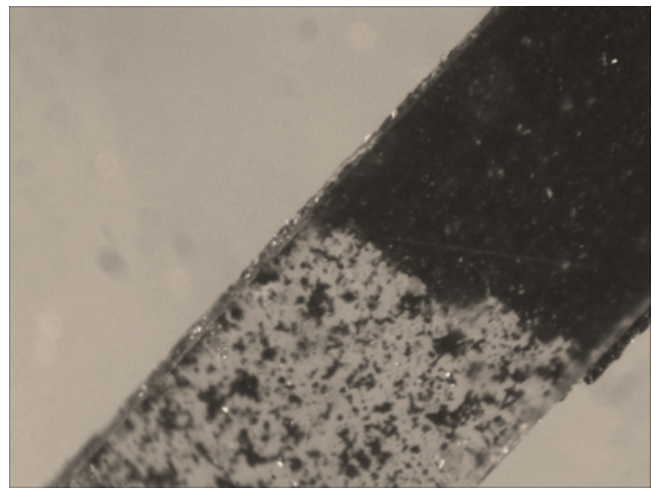


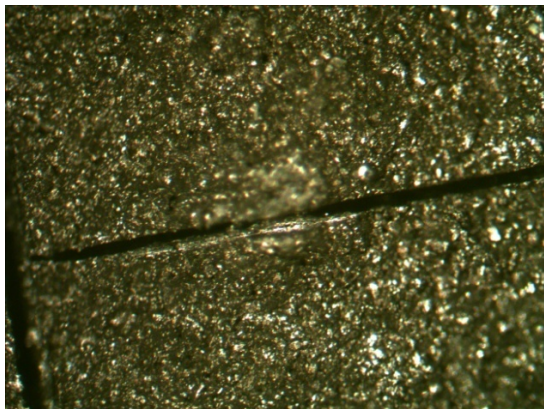
Рис. 3. Мікрофотографія шару фарби на поверхні лавсану при дослідженні адгезивної міцності методом відриву

Разом з цим, результати дослідження міцності зчеплення графіт-вуглецевої фарби методом прямого відриву не можна вважати достовірними, оскільки частина матеріалу залишалася на плівці-основі. Тому для проведення якісної оцінки адгезійної міцності покриття до робочої поверхні використали метод нанесення сітки подряпин [8], який широко застосовується для оцінки зчеплення пліткових матеріалів до твердої поверхні.

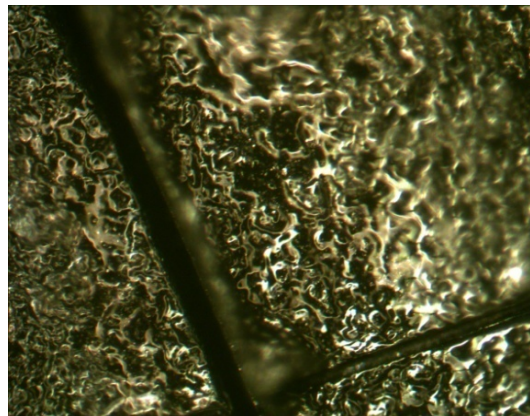
На фотографіях поверхонь дослідних зразків (рис. 4 а, б) чітко видно границі розрізу плівок. Відшарування матеріалу від субстрату не відбувалося, що свідчить про достатню міцність зчеплення часточок в товщі зразка та якісне перемішування композиту.

Для більш детального аналізу було вирішено застосувати липку стрічку з придавлюванням її до поверхні композиту з метою забезпечення більшої площі контакту між липкою стрічкою та поверхнею композиту.

На рис. 5 а (вказано стрілочками) на скотчі, в прохідному світлі, добре видно, що композит відшаровується частково (до 35%), зокрема по лініях порізів, де в точках підвищеного навантаження відбувається збільшення внутрішніх напружень, що веде до механічного руйнування композиту.

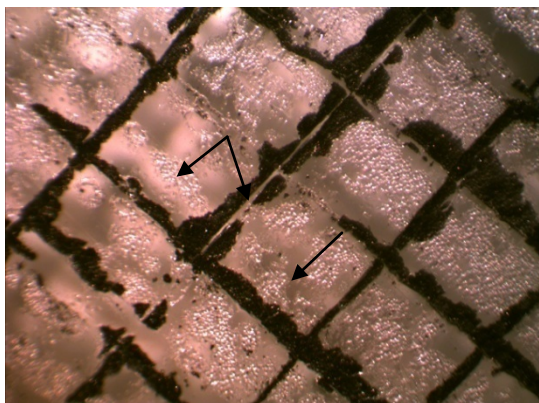


а

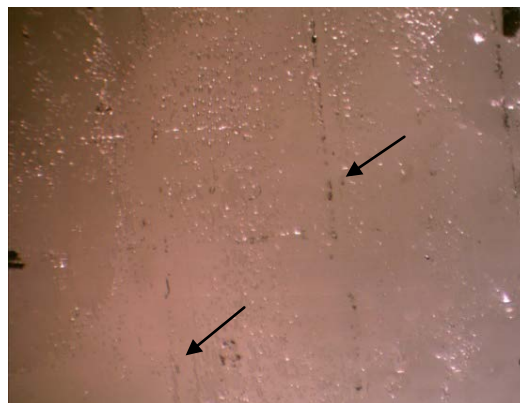


б

Рис. 4. Мікрофотографії поверхонь шару фарби, підготовленої до випробувань на адгезивну міцність: а – електропровідна фарба без верхнього шару полімеру; б- електропровідна фарба з додатковим верхнім шаром полімеру



а



б

Рис. 5. Дослідження адгезійної міцності за методом сітки подряпин: а – електропровідна фарба без верхнього шару полімеру; б- електропровідна фарба з додатковим верхнім ізолюючим шаром полімеру

Це відповідає величині зчеплення – 3В бали [8]. Слід відмітити, що руйнування носять когезійний характер і покриття руйнується в середині композиту.

Вирішенням цієї проблеми може стати нанесення тонкого шару ненаповненого полімерного розчину на поверхню провідного композитного матеріалу.

Нанесення зверху додаткового шару полімеру без графіт-вуглецевого наповнювача

(рис. 4 б, 5 б) збільшує адгезивну міцність покриття і забезпечує захист електронної апаратури від короткого замикання при його нанесенні на внутрішню поверхню корпусу.

Відповідно до отриманих результатів можна стверджувати, що нанесення тонкого шару чистого полімеру на поверхню сформованої плівки струмопровідної фарби (на рис. 5 б це вказано стрілочками) дозволяє значно збільшити величину зчеплення

композиту з субстратом до балу 5В. Покриття міцно тримається на поверхні, не сколюється, не відшаровується та не розсипається. Збільшенню адгезії сприяє підвищення площі істинного контакту між зв'язуючим і поверхнею вуглецю шляхом заповнення зв'язуючим пор, тріщин і мікронерівностей поверхні вуглецевої фарби.

Оцінка електромагнітних втрат при проходженні електромагнітної хвилі через зразок композитного матеріалу, який був закріплений між рупорними антенами, здійснювалася шляхом порівняння вимірних значень модулів коефіцієнтів відбиття і пропускання.

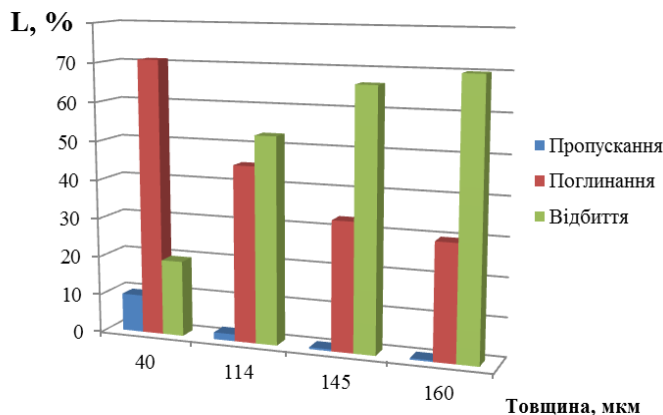


Рис. 6. Діаграма розподілу електромагнітних втрат досліджуваного зразка в залежності від товщини шару покриття

Цікаві результати отримані при дослідженні розподілу електромагнітних втрат при рості екрануючого шару (рис.6). Так, з ростом товщини покриття пропускання ЕМВ в заданому діапазоні частот різко зменшується з 9,67 % до 0,39 %. Вартим уваги є те, що в тонких шарах композитного матеріалу основна частина ЕМВ втрачається в процесі поглинання, в той час як при товщині $\delta > 140$ мкм поглинання практично не змінюється.

Такий ефект пояснюється тим, що тонкі пористі шари відносяться до не щільних матеріалів, їх поверхнева площа добре розвинена і ЕМ-хвиля в результаті багатократного перевідбиття від стінок мікропор розсіюється в товщі зразка. Таким чином, тонкі шари вуглецевої фарби можна

успішно використовувати в складі поглиначів, а товсті шари, де переважаючу роль в електромагнітних втратах відіграє відбивання – в складі захисних екранів.

Для визначення конкурентоспроможності розробленого прототипу вуглецевої фарби було вирішено провести порівняльний аналіз з добре відомим на світовому ринку канадським промисловим зразком графітової фарби Super Shield™ Graphite Conductive Coating 839 виробництва MG Chemicals [9].

Отримані результати порівняння коефіцієнтів затухання виготовленого композитного матеріалу та промислового зразка MG Chemicals № 839 представлені у вигляді графіка (рис.7).

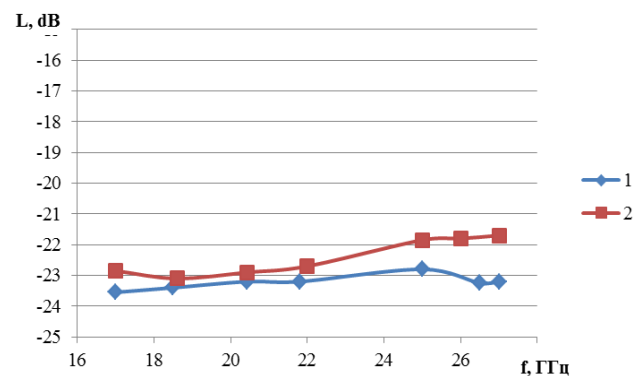


Рис. 7. Амплітудно-частотні характеристики електромагнітних втрат (в dB), які вносять покриття на основі розробленого зразка композиту (1) та канадської графітової фарби виробництва MG Chemical 839 (2)

Порівняння амплітудно-частотних характеристик дослідних матеріалів свідчить про те, що розроблений зразок композиту забезпечує дещо кращий ефект затухання ЕМВ в середньому на рівні -23,5 dB у всьому заданому діапазоні частот при товщині не більше 150 мкм, в той час як для канадського зразка цей показник складає в середньому -22,5 dB. Враховуючи логарифмічний характер шкали в dB (1 dB = 10), такий екрануючий ефект є досить вагомим.

Результати порівняння технічних характеристик покриттів наведені в таблиці 1.

Порівняння характеристик розробленого графіт-вуглець-полімерного покриття та комерційного канадського графітового покриття фірми MG Chemical 839

Показник	Розроблене українське покриття	Super Shield TM Graphite Conductive Coating 839
Густина, г/мл	0,938	0,996
Вміст сухих речовин (%)	35,7	39
Колір	чорний	чорний
Адгезія до корпусу тепловізора	дуже добра	добра
Екрануючий ефект, dB	-23,5	-22,5

Розроблене графіт-вуглецеве полімерне покриття знайшло практичне застосування в Україні для виробництва тепловізорів, оптичних прицілів та іншого військового спорядження.

ВИСНОВКИ

На основі вітчизняної сировини розроблений і впроваджений у виробництво тепловізорів і оптичних прицілів графіт-вуглець-полімерний композитний матеріал, який забезпечує достатньо ефективне екранування від електромагнітного випромінювання в НВЧ діапазоні (17-27 ГГц), не потребує складної технології виготовлення, не містить екологічно небезпечних та токсичних розчинників і має значно меншу собівартість, ніж існуючі закордонні аналоги.

В перспективі планується розширити частотний діапазон екранування та сферу застосування такого покриття для захисту персоналу і спорядження від електромагнітного випромінювання.

ПОДЯКА

Автори висловлюють подяку к.т.н. Твердохлібу В. С., д.т.н. Савченку Б. М. та к.ф.м.н. Короташу І. В. за консультації та допомогу в проведенні досліджень.

Список використаних джерел

1. ТМ Neokip [Електронний ресурс] : [Інтернет портал]. – Електронні дані [HSF44 екранующая токопроводящая краска]. – Режим доступу: <http://neokip.ru/ekran-kraska/hsf44.html> (дата звернення 3.01.2016).

2. Журавлев С. Ю. Патен РФ на изобретение № RU 2526838. –Термостойкое радиопоглощающее покрытие на минеральных волокнах .

3. ТОВ Заваллівський графіт [Електронний ресурс] : [Інтернет портал]. – Електронні дані [Заваллівський графітовий комбінат] Режим доступу: <http://zvgraphit.com.ua/about-company> (дата звернення 3.01.2016).

4. Standard Test Methods for Measuring Adhesion ASTM D3359-2009 5

5. Сюняев З. И. Нефтяной углерод / Сюняев З. И.– М: Химия – 1980. – С. 272.

6. Казьмина О.В. Влияние кристаллической фазы межпоровой перегородки на прочность стеклокристаллического пеноматериала / О.В. Казьмина, В.И. Верещагин, Б.С. Семухин, А.В. Мухортова, Н.А. Кузнецова // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2011. - Т. 54. - № 1. - С. 92.

7. Казьмина О.В. Структура и прочность пеностеклокристаллического материала из низкотемпературного стеклогранулята / О.В. Казьмина, В.И. Верещагин, Б.С. Семухин // Физика и химия стекла. - 2011. - Т. 37. -№ 4. - С. 29-36.

8. Покрытия металлические и неметаллические, неорганические. Методы контроля. ГОСТ 9.302-88.

9. ТМ MG Chemicals [Електронний ресурс] : [Інтернет портал]. – Електронні дані [MG Chemicals 839]. – Режим доступу: <http://www.mgchemicals.com/> (дата звернення 3.01.2016).