Живець Ю.М., Єрмоленко О.В. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

Коваль В.В. Воєнно-наукове управління Генерального штабу Збройних Сил України

ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНИХ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ПОМІТНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ, ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛУ ТА СПОРЯДЖЕННЯ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ

Розвиток технологій створення матеріалів, середовищ і покриттів із заданими електрофізичними характеристиками для практичного впровадження у виробництво та широкого використання технологій зменшення помітності об'єктів техніки наземного, повітряного, космічного, надводного базування, будівель, персоналу для потреб Збройних Сил України та інших військових формувань, дії штучних джерел електромагнітного випромінювання на організм людини на сьогоднішній день є особливо актуальним.

Сьогодні “стелс-технології” включають в себе такі основні напрями: теорію дифракції на тілах складної форми, розробку і дослідження радіопоглинаючих матеріалів, технологію нанесення покриттів і, нарешті, радіофізичний експеримент, який використовується для контролю в кожному з перерахованих напрямів. Одне з найважливіших завдань - зменшення рівня сигналів, що виникають в результаті відбивання об'єктом електромагнітних хвиль, випромінюваних радіолокаторами, оскільки радіолокаційні станції до цього часу залишаються найбільш “дальнодіючим” засобом виявлення цілей і наведення засобів ППО.

У наш час “стелс-технологія” починається з математичного моделювання розсіювання електромагнітної хвилі на об'єкті, радіолокаційна помітність якого повинна бути знижена. Цей крок є принциповим для попередньої оцінки можливого результату і дозволяє оптимізувати форму та електрофізичні характеристики об'єкта.

У провідних країнах світу розроблені радіопоглинаючі матеріали здатні забезпечити електромагнітну сумісність радіоелектронного обладнання, маскування та протидію засобам радіотехнічної розвідки, використання в конструкціях радіоелектронної апаратури.

У роботі проведено порівняльний аналіз розробок, перспективних для практичного застосування в якості радіопоглинаючих матеріалів і радіопоглинаючого покриття.

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

Ключові слова: радіопоглинаючі матеріали, покриття, помітність, захист.

Постановка проблеми. Проблеми, спрямовані на розвиток методів створення матеріалів, середовищ і покриттів із заданими електрофізичними характеристиками для практичного впровадження у виробництво та широкого використання технологій зменшення помітності об'єктів техніки наземного, повітряного, космічного, надводного базування, для потреб Збройних Сил України та інших військових формувань, дії штучних джерел електромагнітного випромінювання на організм людини на сьогоднішній день вийшли на передній план та є особливо актуальними.

Найбільш значущі результати в галузі досліджень взаємодії електромагнітних хвиль (ЕМХ) з речовиною отримані в США в ході виконання робіт за програмою “Стелс”. Практичним втіленням таких досліджень в рамках задуму зробити об'єкти “невидимими” для засобів протиповітряної і протиракетної оборони стали ударно-розвідувальний літак Локхід F117A і стратегічний бомбардувальник Нортроп В-2.

Сьогодні “стелс-технології” включають в себе такі основні напрями: теорію дифракції на тілах складної форми, розробку і дослідження радіопоглинаючих матеріалів, технологію нанесення покриттів і, нарешті, радіофізичний експеримент, який використовується для контролю в кожному з перерахованих напрямів. Одне з найважливіших завдань - зменшення рівня сигналів, що виникають в результаті відбивання об'єктом електромагнітних хвиль, випромінюваних радіолокаторами, оскільки радіолокаційні станції до цього часу залишаються найбільш “дальнодіючим” засобом виявлення цілей і наведення засобів ППО.

В наш час “стелс-технологія” починається з математичного моделювання розсіювання електромагнітної хвилі на об'єкті, радіолокаційна помітність якого повинна бути знижена. Цей крок є принциповим для попередньої оцінки можливого результату і дозволяє оптимізувати форму та електрофізичні характеристики об'єкта. Математичні та розрахункові моделі базуються на вирішенні граничних задач дифракції електромагнітних хвиль на тілах складної форми, що мають у своєму складі спеціальні матеріали і покриття. Можливості сучасної обчислювальної техніки дозволяють створювати програмне забезпечення для моделювання розсіювання електромагнітної хвилі навіть на таких складних об'єктах, як літаки і кораблі, враховуючи різноманіття підвісного обладнання, щілин і багатьох інших, здавалося б незначних, деталей конструкції. Саме чисельні методи розв'язання задач розсіювання на основі інтегральних рівнянь, оцінка властивостей розсіювання хвиль методом крайових хвиль, а також поєднання цих методів були використані нами в численних електродинамічних моделях об'єктів зі зниженою радіолокаційною помітністю [1].

В Росії розроблені радіопоглинаючі матеріали, здатні забезпечити електромагнітну сумісність радіоелектронного обладнання, маскування та протидію засобам радіотехнічної розвідки, використання в конструкціях радіоелектронної апаратури [2].

В Інституті хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України створено перспективні технологічні методики синтезу нанорозмірних магнітних і немагнітних матеріалів, феритів, речовин з фазовими переходами типу діелектрик–метал, провідник–високотемпературний надпровідник, діелектрик–суперіонний провідник; сегнетоелектриків, фоточутливих напівпровідників та гетеропереходів на їх основі, терморозширеного графіту, багатостінних нанотрубок, волокнистих матеріалів, полімерних композицій тощо; композиційних поліфункціональних наноструктур на їх основі з багаторівневою ієрархічною наноархітектурою; матеріалів різного функціонального призначення. Всі вони, згідно ідеї використання компонентів зі значними діелектричними і магнітними втратами, були покладені в основу нових розробок радіопоглинаючих матеріалів (РПМ) і радіопоглинаючих покриттів (РПП).

Асортимент сучасного ринку РПМ є досить широким і конкурентноспроможним, однак не повністю забезпечує постійно зростаючі вимоги, що виникають до РПМ, а саме: підвищена широкополосність, вологостійкість, негорючість, довговічність, технологічність, відповідність ваговим критеріям, доступність ціни тощо [3].

Тому розробка нових РПМ, які задовольняють попит та конкретні умови конструкційного характеру, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цілеспрямований синтез вихідних матеріалів, вибір виду готового виробу, а саме: лако-фарбові покриття, текстильні вироби, твердотільні блочні конструкції – залежить від їх призначення та умов експлуатації. Виробництво вказаних виробів неможливе без цілеспрямованих комплексних експериментальних досліджень властивостей, експлуатаційних параметрів, електромагнітних характеристик у широкому діапазоні частот як окремих їх складових, так і багатокомпонентних композиційних систем на їх основі.

За принципом дії усі РПМ поділяються на інтерференційні, розсіювальні, поглинаючі, комбіновані. За типом використаного матеріалу можна розділити на керамічні (мають високу теплопровідність, механічну міцність та термостійкість); феромагнітні (характеризуються великими магнітними втратами, вирізняються високою поглинальною здатністю); на основі складних органічних сполук, на основі нанотехнологій, а також комбіновані РПМ. Основними характерними відмінностями РПМ є наявність активних речовин (однієї або декількох), особливостями їх отримання і способів внесення до функціонального (конструкційного, захисного) матеріалу.

На цей час технології створення РПП на основі активних гетерогенних структур і нелінійних включень, із застосуванням карбоновмісних матеріалів, знаходяться на етапі фундаментальних та пошукових досліджень. Розробляються покриття з керованими радіофізичними характеристиками на основі багаточарових структур з нанорозмірними

кластерними і дисперсними елементами. Підбираючи магнітні властивості, товщини поглинального шару, імпеданса і коефіцієнта затухання можна добитися поглинання матеріалу на одній частоті чи в певному частотному діапазоні. Поглиначі ЕМХ можуть працювати за принципом інтерференції, розсіювання, поглинання електромагнітної енергії. Найчастіше при створенні РПП комбінують різні підходи.

Складні органічні матеріали, такі як основи Шифа (включають речовину родопсин або аналогічні до неї), прийшли в радіопоглинаючі технології досить недавно. Вважають, що родопсин спричиняє нейрохімічні процеси, що відбуваються, при попаданні фотона світла на сітківку ока: світло поглинається молекулами, світлова енергія перетворюється в теплову. Кожна з досліджених (автор відкриття М. Берджем) сполук має вузьку полосу абсорбції випромінювання, але комплекс речовин здатен поглинати в досить широкому спектрі електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Основи Шифа є хімічно інертними речовинами, що ускладнює застосування на практиці, їх поглинальна здатність порівняна з феритами, але досягається при концентрації в десять разів меншій.

Розсіювальні РПМ забезпечують багаторазове відбиття і розсіювання ЕМХ. Найбільш поширеними є пірамідальні конструкції з полістиролу, вкриті графітовими матеріалами, або сколопластикові труби, вкриті карбідом кремнію.

Комбіновані РПМ поєднують властивості розсіювальних, інтерференційних і поглинаючих покриттів. У сучасних умовах застосовують РПМ різних типів, але найчастіше використовують комбіновані покриття.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні найпопулярнішим напрямком створення ефективних поглиначів ЕМВ є розробка пористих матеріалів, які можуть бути використані одночасно, як тепло-, звуко-, електромагнітно - ізоляційні конструкційні матеріали. Суттєвою перевагою даного типу матеріалів є їх багатофункціональність і технологічність. Особливий інтерес викликають мезопористі матеріали з контрольованою пористістю, можливістю модифікації структури та складових компонентів. До таких матеріалів відносяться бетони: вони характеризуються широкими межами зміни електричних параметрів, здатністю до переробки у готові вироби і використовуються у якості екрануючих та РПМ.

Екрануючі (з високим коефіцієнтом відбивання і значним поглинанням) – це важкі бетони, в об'ємі або в поверхневому шарі яких є включення, що активно відбивають ЕМВ; поглинаючі (з невисоким коефіцієнтом відбивання і значним поглинанням енергії ЕМХ – пористі бетони. Пористість досягається введенням готових пористих включень (керамзит, шлаки, тирса та ін.), готової піни або газотворюючої речовини. Поєднання невисокої питомої ваги, малої теплопровідності і конструктивної міцності, з можливістю напрямленого регулювання фізико-технічних властивостей способом зміни густини і макроструктури робить їх найбільш перспективними матеріалами для захисту від ЕМВ.

Цікавою розробкою є радіозахисний будівельний бетон, з використанням технічного вуглецю, що пройшов певну технологічну підготовку. До стандартної суміші з портландцементу, піску, води затвору, пористого наповнювача додавали карбоновмісний радіопоглинаючий матеріал (КРПМ), після закладки бетон тверднув на повітрі. КРПМ, технічний вуглець, готували так: у водному розчині аміаку розчиняли лігносульфонат натрію, додавали водний розчин полівінілового спирту. КРПМ вводили у воду затвору, де він розпадався на агрегати розміром 60-100 нм і питомою поверхнею 160-200 м²/г. Внаслідок обробки частинки КРПМ мають однойменний заряд, що запобігає агломерації, і розподіляються в матриці по зернах наповнювача, проникають у мікропори, створюючи електропровідний каркас і широкий набір енергетичних рівнів, що розширює частотний діапазон поглинання ЕМВ.

Одним із способів отримання нового композиційного матеріалу із заданими властивостями є використання у складі формувальних сумішей пористого бетону високодисперсних металевих наповнювачів.

Області застосування РПМ досить широкі: охоплюють різну апаратуру - літальну, морську, наземну стаціонарну і переносні прилади промислового, оборонного та побутового призначення, а також засоби індивідуального та колективного захисту від НВЧ-випромінювань, включаючи комп'ютерну техніку і техніку мобільної телефонії.

При взаємодії електромагнітного випромінювання з РПМ відбуваються одночасні процеси поглинання, розсіювання і інтерференції радіохвиль, що є наслідком структурної і геометричної неоднорідності матеріалу.

Однією з важливих задач при створенні РПМ є вимога високого коефіцієнта поглинання і одночасно низького відбиття в широкому діапазоні довжин хвиль. Важливими властивостями РПП є їх термостійкість, еластичність, корозійна стійкість, стійкість до інших екстремальних умов. Такий широкий аспект вимог до РПМ визначив і їх різноманітність за типом використовуваних матеріалів, а також за принципом дії.

Розробка нових РПМ, які задовольняють задані умови застосування, є актуальним науково-технічним і технологічним завданням. На сьогодні технології створення РПМ на основі активних гетерогенних структур і нелінійних включень, із застосуванням карбонових наноструктурних матеріалів, знаходяться на етапі фундаментальних та пошукових досліджень. Розробляються покриття з керованими радіофізичними характеристиками на основі багат шарових структур з нанорозмірними кластерними і дисперсними компонентами. Підбираючи діелектричні, магнітні властивості, товщину поглинаючих шарів, їх імпедансу і коефіцієнту згасання, можна добитися ефективного поглинання матеріалом на одній частоті чи в певному частотному діапазоні. Поглиначі можуть працювати за принципом інтерференції, розсіювання ЕМХ, поглинання електромагнітної енергії. Найчастіше при створенні РПП комбінують різні принципи.

За типом використаного матеріалу РПМ умовно можна розділити на керамічні (мають високу теплопровідність, механічну міцність та термостійкість); феромагнітні (характеризуються великими магнітними втратами, вирізняються високою поглинальною здатністю); на основі складних органічних сполук; на основі нанотехнологій, а також комбіновані РПМ. Основною відмінністю РПМ є активна речовина (або декілька), особливості отримання і способи її введення до конструкційного матеріалу. Коло вихідних матеріалів, вибір виду готового виробу, а саме: лаки, фарби, текстильні покриття, твердотільні блочні конструкції – залежить від конкретних умов його застосування. Цілеспрямований синтез та виробництво готового продукту на їх основі неможливе без експериментальних досліджень експлуатаційних параметрів та електромагнітних характеристик у широкому діапазоні частот.

Проблема дії штучних джерел електромагнітного випромінювання на організм людини вийшла на передній план, адже навіть вдома людина знаходиться під дією ЕМВ внаслідок поширення бездротової техніки, підвищення споживання електричної енергії тощо. Особливо актуальним є захист персоналу та електронного обладнання від впливу ЕМВ для військових, співробітників ДСНС, 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 ЕМВ 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, 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, що значно ускладнює нанесення покриттів та збільшує їх собівартість.

До складу розробленого композиту входив колоїдний графітовий препарат (КГП) марки S-1 виробництва ТОВ “Заваллівський Графіт” [4], графітізована 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.

Графітізована сажа в складі композиту відіграє важливу роль завдяки розвиненій питомій поверхні (~ 50 м²/г) та її здатності до структуризації в ланцюги (Рис.1), що забезпечує додаткову пористість та електропровідні містки між часточками графіту. Мікроструктура часточок КГП та сажі досить сильно відрізняється (Рис.2), що може створювати додаткові гетерогенні переходи при розповсюдженні ЕМВ в композиті (суміші) таких матеріалів.

Рис.1. Мікроструктура графіту КГП та графітізованої сажі

Рис.2. Мікроструктура графітізованої сажі

Рис.3. Мікрофотографії шару вуглецевої фарби в прохідному світлі

Рис.4. Мікрофотографії шару вуглецевої фарби в відбитому світлі

Спосіб виготовлення композитного матеріалу для екранування електромагнітного випромінювання реалізовувався за рахунок процесу змішування всіх компонентів у 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.

Аналіз зразків покриття перш за все проводили за допомогою оптичної мікроскопії, що дозволяє швидко та чітко проаналізувати зовнішній вигляд, структуру, розміри часточок та пор у композитному матеріалі. Внаслідок випаровування рідкої складової з композитної системи відбувається усадка полімеру, часточки сажі та графіту максимально наближаються один до одного, формуючи електропровідну сітку (Рис.3), 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.4), де пори повністю просвічуються. Вони утворюються в процесі випаровування розчинника (етилового спирту) з товщі плівки.

Рис.5. Амплітудно-частотні характеристики електромагнітних втрат

Цікаві результати, що отримані при дослідженні розподілу електромагнітних втрат при рості екрануючого шару (Рис.5). 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 (Рис.6).

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 [5].

Рис.6. Діаграма розподілу електромагнітних втрат

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.

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

Найбільш простим і надійним способом виготовлення матеріалів, які захищають від електромагнітного випромінювання є лако-фарбова технологія. Вона дозволяє одержувати багатшарові покриття різної товщини [6].

Необхідним компонентом захисних покриттів є дисперсна струмопровідна добавка.

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 [7].

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гульбин В.Н. Радио- и радиационно-защитные композиционные материалы с наноструктурными наполнителями. / В.Н. Гульбин, Н.С. Колпаков, В.В. Поливкин. // Известия ВолгГТУ. – 2015. – С.43-51.
2. Федюнин П.А. Способы радиоволнового контроля параметров защитных покрытий авиационной техники / П.А. Федюнин, А.И. Казьмин. – М: Физматлит, 2012. – 184 с.
3. Ягольников С.В. Видимость “Невидимок” // Воздушно-космическая оборона. –2007. – Вып. №3(34). – С.70-75.
4. Brian F. Lawrence. Anechoic Chambers, Past And Present. Conformity. – 2005. – №4. – С.1-4.
5. Гульбин В.Н. Разработка и исследование радио- и радиационнозащитных материалов / В.Н. Гульбин, В.А. Михеев, Н.С. Колпаков, и др. // Ядерная физика и инжиниринг. – 2013. – Т. 4. – № 6. – С.597-604.
6. Сердюк В.Р. Ніздрюватий бетон поліфункціонального призначення / В.Р. Сердюк, О.В. Христин, П.В. Постовий. // Будівельні матеріали та вироби. – 2011. – С.12-17.

7. Hisada D. Hata Structure and magnetic properties of FeCo nanoparticles encapsulated in carbon nanotubes grown by microwave plasma enhanced chemical vapor deposition / D. Hisada, Y. Fujiwara, H. Sato, M. Jimbo, T. Kobayashi, K. // J. Magn. Magn. Mater. – 2011. – V.323. – 3184.

8. Timothy L. Biocompatible high-moment FeCo-Au magnetic nanoparticles for magnetic hyperthermia treatment optimization / Timothy L. Kline, Yun-Hao Xu, Ying Jing, Jian-Ping Wang // J. Magn. Magn. Mater. – 2009. – V.321. – 1525.

9. Гульбин В.Н. Радио- и радиационно-защитные композиционные материалы с наноструктурными наполнителями / В.Н. Гульбин, Н.С. Колпаков, В.В. Поливкин // Известия ВолгГТУ. – 2015. – С.43-51.

Живець Юрій Михайлович

науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4465-8667>

e-mail: Zhivchik09@ukr.net

Єрмоленко Олександр Володимирович

Науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-3168-1131>

e-mail: morpex1972@ukr.net

Коваль Володимир Валерійович

кандидат військових наук, старший науковий співробітник, начальник Воєнно-наукового управління Генерального штабу Збройних Сил України, Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-6209-6779>

Yurij Zhivets

Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4465-8667>

e-mail: Zhivchik09@ukr.net

Oleksandr Yermolenko

Research scientist of State science-research institute of armament and military technics testing and certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-3168-1131>

e-mail: morpex1972@ukr.net

Volodymyr Koval

Candidate of Military Sciences, Senior Research, Chief of Military-Scientific Directorate, General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-6209-6779>

**SUBSTANTIATION OF APPROPRIATE OPTIONS FOR APPLICATION OF METHODS OF
OBSERVABILITY ATTENUATION OF UKRAINIAN ARMED FORCES' MILITARY EQUIPMENT,
PROTECTION OF PERSONNEL AND EQUIPMENT FROM TECHNICAL MEANS OF RADIOLOCATING
AND OPTICAL-ELECTRONIC INTELLIGENCE**

Y Zhivets, O Yermolenko and V.Koval

Development of technologies for creating materials, environments and coatings with specified electrophysical characteristics for practical implementation in production and widespread use of observability attenuation technologies of surface, air, space, above-water objects, surface-based installations, troops for the needs of Armed Forces of Ukraine and other military formations, impacts of artificial sources of electromagnetic radiation on the human body today is especially relevant.

Nowadays, "stealth technologies" include the following main areas: the theory of diffraction on bodies of complex shape, research and development of radio-absorbing materials, coating technology and, finally, radiophysical experiment, which is used for control in each of these areas. One of the most important tasks is to reduce the level of signals generated by the reflection of electromagnetic waves emitted by radars, since radars still remain the most "long-range" means of detecting targets and air defense systems aiming.

To date, "stealth technology" begins with mathematical modeling of electromagnetic wave scattering on an object, the radar visibility of which should be reduced. This step is essential for a preliminary assessment of the possible result and allows optimizing the shape and electrophysical characteristics of the object.

The world leading countries have developed absorbing materials that capable to provide electromagnetic compatibility of the electronic equipment, camouflaging and counteraction to radio technical intelligence, use in designs of the radio electronic equipment.

The comparative analysis of the developings that are promising for usage as radio-absorbing materials and radio-absorbing covering is carried out in the work.

In the future, it is planned to expand the shielding frequency range and the range of use of absorbing coatings to protect personnel and equipment from electromagnetic emission.

Keywords: radioabsorptive materials, coatings, observability, protection.