



ГОРБИК

Петро Петрович — доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу наноматеріалів Інституту хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

НОВІ СПЕЦІАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ПОКРИТТЯ, ЩО ЕФЕКТИВНО ПОГЛИНАЮТЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ІНФРАЧЕРВОНЕ ТА ІНШІ ВИПРОМІНЮВАННЯ

За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 2 листопада 2022 року

У доповіді наведено найважливіші результати фундаментальних та прикладних досліджень, проведених в Інституті хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України та спрямованих на розроблення нових перспективних спеціальних матеріалів і покриттів, що ефективно поглинають електромагнітне надвисокочастотне та інфрачервоне випромінювання, а також задовольняють певні вимоги щодо масогабаритних і кліматичних характеристик. Сфера застосування таких покриттів охоплює широке коло об'єктів різного призначення, що використовуються на суші, воді, в повітрі і навіть у космосі, а їх розроблення є актуальною проблемою, яка має важливе науково-технічне та оборонне значення.

На сьогодні відділ наноматеріалів Інституту хімії поверхні (ІХП) ім. О.О. Чуйка НАН України працює за трьома основними науково-технічними напрямками, що стосуються розроблення:

- магніточутливих багатофункціональних протипухлинних лікарських засобів для адресної доставки та локальної терапії;
- медичних імплантатів з комплексом остеогенних, протипухлинних та антибактеріальних властивостей для застосування в остеонкохірургії;
- спеціальних матеріалів та покриттів, що ефективно взаємодіють з електромагнітним випромінюванням в актуальних спектральних діапазонах.

Кожен з цих напрямів заслуговує на увагу, але цю доповідь присвячено третьому з них, а саме, створенню та практичному застосуванню покриттів, що надають поверхням різних об'єктів (від військової техніки до будівель) електрофізичних властивостей, близьких до навколишнього середовища. Причому роз-

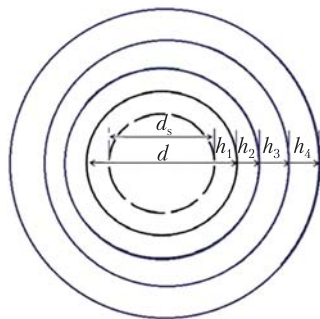


Рис. 1. Схема багаторівневого магнітокерowanego поліфункціонального нанокompозиту, здатного виконувати функції медичного наноробота: $d = d_s + 2h_1$, де d – діаметр сферичної наночастинки (ядра нанокompозиту); d_s – діаметр області наночастинки з намагніченістю насичення, характерною для об’ємного матеріалу; h_1 – товщина приповерхневого «розмагніченого» шару; h_2 – товщина шару модифікатора; h_3 – товщина шару лікарського препарату; h_4 – товщина шару стабілізатора

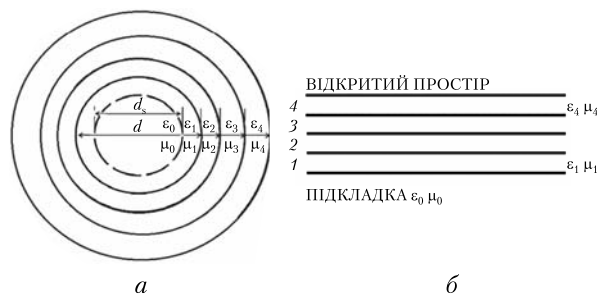


Рис. 2. Якісна модель оптимізованого поглинача електромагнітного випромінювання типу ядро–оболонка (а) та шаруватого поглинача з мінімізованим коефіцієнтом відбивання на плоскій поверхні (б)

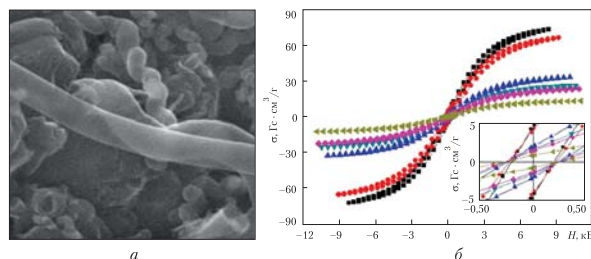


Рис. 3. Масив залізовмісних нанотрубок і нановолокон з магнітними і електропровідними властивостями (а) та криві його намагнічування залежно від концентрації магнітного компонента (б)

глянемо тут лише два спектральні діапазони – надвисокочастотний та інфрачервоний.

На рис. 1 наведено схему багаторівневого магнітокерowanego нанокompозиту, здатного розпізнавати органи-мішені чи клітини-мішені для адресної доставки і депонування в них протипухлинних лікарських засобів, а також виконувати діагностичні, терапевтичні та відновлювальні функції, характерні для медичних нанороботів. Концепцію створення таких нанокompозитів було запропоновано нами і на сьогодні вже добре опрацьовано з наукової та практичної точок зору [1–9].

Із застосуванням ансамблю суперпарамагнітних носіїв як зонда і ґрунтуючись на теорії парамагнетизму Ланжевена, визначено розмірні параметри складної оболонкової будови багаторівневих нанокompозитів та здійснено їх оптимізацію за площею питомої поверхні оболонок.

Зрозуміло, що подібні багаторівневі магнітокерowanego поліфункціональні нанокompозити можна успішно використовувати, крім медицини [10, 11], в багатьох галузях біології, екології, біотехнології, техніки [12].

На рис. 2а наведено якісну модель оптимізованого «точкового» поглинача електромагнітного випромінювання типу ядро–оболонка. Ідея його трансформації зі схеми на рис. 1 полягає в оптимізації структури за хімічним складом і розмірами ядра та оболонок, значеннями їх діелектричної та магнітної проникності за умови узгодження з відкритим простором ($\epsilon_0 > \epsilon_1 > \epsilon_2 > \epsilon_3 > \epsilon_4 \sim \epsilon_{\text{вп}}$, $\mu_0 > \mu_1 > \mu_2 > \mu_3 > \mu_4 \sim \mu_{\text{вп}}$), втратами електромагнітної енергії, ваговими характеристиками тощо [13]. При $d_s \rightarrow \infty$ маємо випадок шаруватого поглинача електромагнітного випромінювання з мінімізованим коефіцієнтом відбивання на плоскій поверхні (рис. 2б).

Створенню наукових основ захисних покриттів, активних в інфрачервоному та надвисокочастотному діапазоні спектра, присвячено значну кількість теоретичних та експериментальних досліджень. Питання щодо резонансних частот наночастинки, розміщеної поблизу плоскої поверхні, та впливу мультипольних

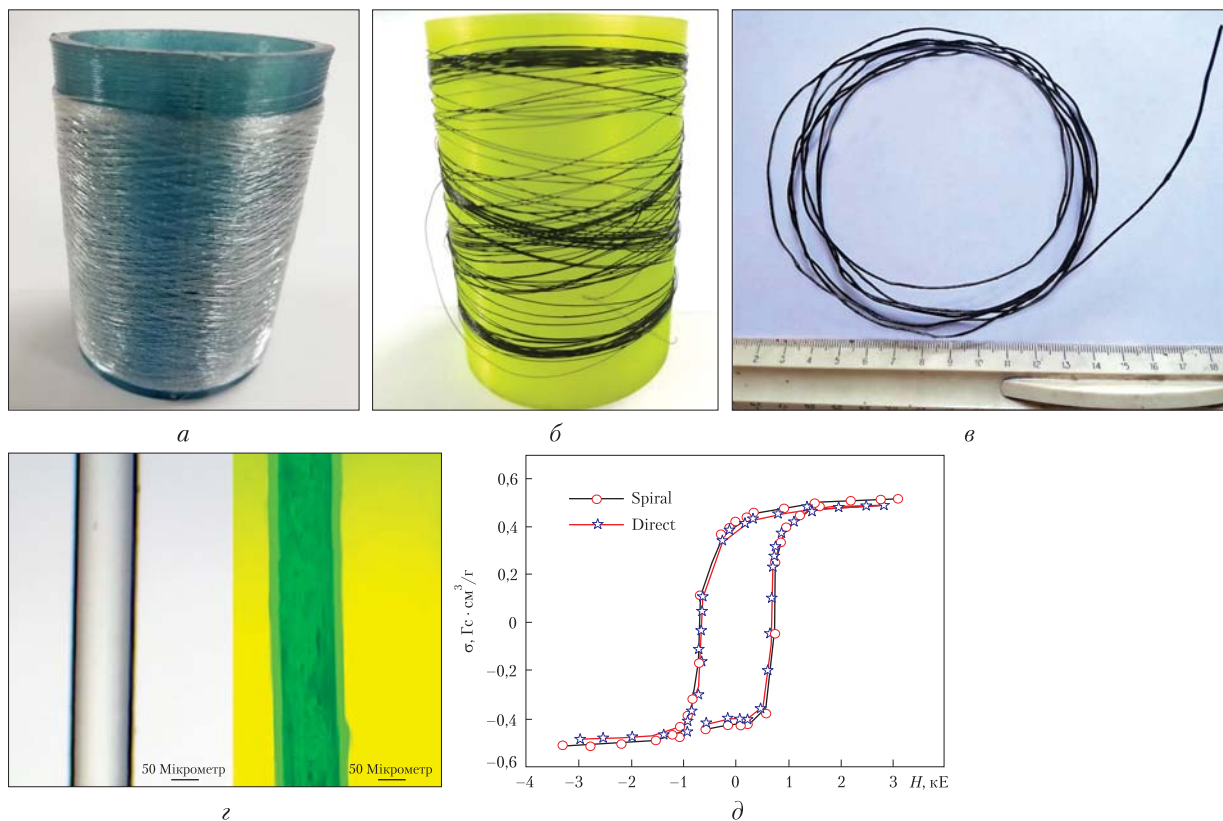


Рис. 4. Мононитки фільєрного витягування 500 % з кратністю $\lambda = 4$ з вихідного ПП (а); ПП+5,0 мас. % Fe/C (б); ПП+5,0 мас. % Fe/C без витягування (в); z – мікрофотографії монониток ПП, 500 %, $\lambda = 4$ (зліва) і композитної ПП+5,0 мас. % Fe/C, 500 %, $\lambda = 4$; д – петля магнітного гістерезису композитної нитки ПП+5,0 мас. % Fe/C (прямого відрізка та скрученої в спіраль)

взаємодій на спектр поглинання для золотої частинки (діаметр 20 нм) над поверхнею золотої підкладки вивчалися в нашому Інституті [14, 15]. У роботі [16] показано, що у великих квантових точках у моделі взаємодіючих плазмових осциляторів можуть реалізуватися частоти, що відповідають електромагнітним хвилям субміліметрового і міліметрового діапазону.

У цих та багатьох інших роботах немає прямих вказівок щодо вирішення складного наукового, технічного й технологічного завдання зі створення захисних покриттів із заданими характеристиками. Однак вони додають оптимізму стосовно пріоритетності використання сучасних нанотехнологій і наноматеріалів на цьому шляху.

Тому спочатку ми синтезували та вивчили властивості широкого асортименту експериментальних наноматеріалів з магнітними і діелектричними втратами. До них, зокрема, належать матеріали на основі речовин з розвиненою поверхнею і фазовими нестабільностями типу метал–діелектрик, метал–напівпровідник, провідник–надпровідник [17], нанорозмірні ферити та їх тверді розчини [6–9], багатостінні вуглецеві нанотрубки (БВНТ) та нановолокнисті структури [18, 19], графенові нанопластили та їх нанокompозити [20], метал-вуглецеві нанокompозити типу ядро–оболонка [21], нанорозмірні напівпровідникові та іонпровідні структури [22–24] тощо.

На користь використання в цій роботі розроблених наноматеріалів і нанокompозитів

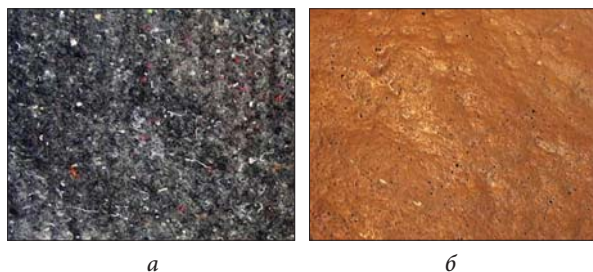


Рис. 5. Фотографії поверхні радіопоглинальних матеріалів типу П-МТ (а) та «Цепор» (б)

свідчать наші дослідження, в яких встановлено їх загальні властивості: високі значення питомої поверхні, здатність до структуроутворення в матрицях різної хімічної природи, фрактальна природа самоорганізованих наноструктур, малі пороги перколяції, наявність індуктивного та ємнісного зв'язку між частинками в наноструктурах тощо.

Слід зазначити, що значний інтерес в рамках теми цієї роботи викликають системи типу полімерна матриця — нанодисперсний функціональний наповнювач як основа створення стійких до впливу зовнішнього середовища масивних, ультрадисперсних, плівкових та ниткових композитів, що ефективно взаємодіють з електромагнітним випромінюванням і характеризуються додатковими новими унікальними властивостями внаслідок міжфазної взаємодії компонентів [17]. Прикладом є розроблені вуглецеві залізовмісні (Fe/C) нанотрубки і нановолокна з магнітними і електропровідними властивостями (рис. 3) [18] та поліпропіленові (ПП) мононитки на їх основі (рис. 4) [25].

Варто наголосити, що розвиток сучасного матеріалознавства і нанотехнологій нерозривно пов'язаний з науково-технічним прогресом у всіх сферах життя й діяльності людини, суспільства, держави. В розвинених країнах світу це насамперед стосується національної безпеки та оборони. Яскравим прикладом такого прогресу є впровадження стелс-технологій у військових галузях, зокрема в літакобудуванні. Так, на сьогодні багато країн ще продовжу-

ють активно експлуатувати літаки четвертого покоління, зокрема російські Су-27, американські F-15 (початок експлуатації 9 січня 1976 р.), які характеризуються ефективною площею розсіювання (ЕПР) в межах 12 м². У літаках покоління 4++ — МіГ-29, МіГ-35, Су-34, Су-35 — застосовують радіопоглинальні покриття, ЕПР яких у курсовій площині становить менше 1 м². Одномісний дозвуковий тактичний малопомітний ударний літак F-117 «Найтхок» фірми Lockheed Martin (США) певний час був взірцем стелс-технологій, однак його вже знято з виробництва. Тепер лідерство належить літакам компаній Lockheed Boeing (F-22 Raptor) і Lockheed Martin (F-35). Це малопомітні багатоцільові надзвукові винищувачі п'ятого покоління з ЕПР 0,3–0,4 м². Серед лідерів використання стелс-технологій можна назвати також Китай (J-20, J-34), Японію (X2) та деякі інші країни. Низьких значень ЕПР досягають завдяки не лише маскувальним матеріалам, а й комплексу спеціальних методів, зокрема виготовленню фюзеляжів з подвійною кривизною. Сьогодні йдеться вже про створення шостого і сьомого поколінь літаків, ЕПР яких може бути меншим за 0,1 м².

Стелс-технології широко використовують і в кораблебудуванні. Прикладами можуть бути серії малопомітних кораблів різного призначення ВМС США, Великої Британії, країн ЄС, Індії, Сінгапуру та ін. В Україні до малопомітних належать кораблі типу малий броньований катер «Гюрза-М» та десантно-штурмовий катер «Кентавр» Військово-Морських Сил ЗС України.

Захисні матеріали, що зменшують радіолокаційну помітність, застосовують також у ракетній техніці, при створенні різних типів бронетехніки, транспортних засобів тощо.

На рис. 5 наведено фотографії поверхні радіопоглинальних матеріалів двох типів — П-МТ і «Цепор» [12].

Матеріал типу П-МТ (рис. 5а) — гнучкий, волокнистий, поглинає НВЧ-випромінювання, має звуко- і теплоізолювальні властивості, нетоксичний. Його можна використовувати в будівництві екологічно безпечних, захище-

них від впливу НВЧ-випромінювання житлових будинків та службових приміщень. Температурний діапазон експлуатації — від -50 до $+90$ °С, відносна вологість повітря від 0 до 98 %. Основні властивості матеріалу наведено в табл. 1.

Матеріал типу «Цепор» (рис. 5б) — твердий, пористий, поглинає НВЧ-випромінювання, має звуко- і теплоізолювальні властивості,

Таблиця 1. Основні властивості матеріалу П-МТ

Властивість, характеристика	Значення
Поверхнева густина, г/м ²	350–960
Товщина, см	0,8–1,5
Границя міцності на розрив смуги 50×100 мм, кгс	88–294
Вологість нормована, %	3–12
Теплопровідність, Вт/м·К	0,045–0,048
Звукопоглинання на 4000 Гц, %	40–52
Відбивання в НВЧ-діапазоні, дБ	–(18–25)

Таблиця 2. Основні властивості матеріалу «Цепор»

Властивість, характеристика	Значення
Ефективна густина, кг/м ³	0,5–1,1
Товщина, см	1,0–2,5
Границя міцності при стисненні, МПа	7–8
Вологість нормована, %	2–5
Теплопровідність, Вт/м·К	0,06–0,1
Звукопоглинання на 4000 Гц, %	40–50
Відбивання в НВЧ-діапазоні, дБ	–(18–20)

Таблиця 3. Основні властивості матеріалів типу «плитка»

Властивість, характеристика	Значення
Діапазон робочих частот, ГГц	6–70
Відбивання в НВЧ-діапазоні, дБ	–(10–18)
Відбивання в ІЧ-діапазоні, дБ	–(8–10)
Густина, кг/м ²	2,1–3,5
Границя міцності при стисненні, МПа	10–12
Товщина, см	0,8–1,2
Водопоглинання, %	1–5
Поглинання звуку (частота 4000 Гц), %	30–50
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	0,08–0,2



Рис. 6. Антирадарні покриття типу «облицювальна плитка»

нетоксичний, стійкий до кислих та лужних середовищ, розчинників, морської води. Його можна використовувати в будівництві екологічно безпечних, захищених від впливу НВЧ-випромінювання житлових будинків та службових приміщень. Температурний діапазон експлуатації — від -40 до $+100$ °С, відносна вологість повітря від 0 до 98 %. Основні властивості матеріалу «Цепор» наведено в табл. 2.

Покриття, активні в інфрачервоному діапазоні спектра, використовують, зокрема, для протидії оптоелектронним засобам захоплення цілей, визначення відстані до них, наведення та прицілювання. Їх створено на основі фарб зі спеціальними добавками, що поглинають ІЧ-випромінювання. Відбивання покриття становить $-(10-18)$ дБ в діапазоні $0,8-1,5$ мкм. Для отримання кольорового покриття додають пігменти. Відбивання зеленого покриття — $-(8-14)$ дБ.

Асортимент розроблених антирадарних матеріалів становлять зразки, виготовлені з використанням доступних комерційних товарів, зокрема будівельного призначення. Такі матеріали можна застосовувати для захисту спеціальних постійних великогабаритних і тимчасових мобільних споруд, у будівництві житлових та службових приміщень з поліпшеною електромагнітною екологічністю. Прикладом

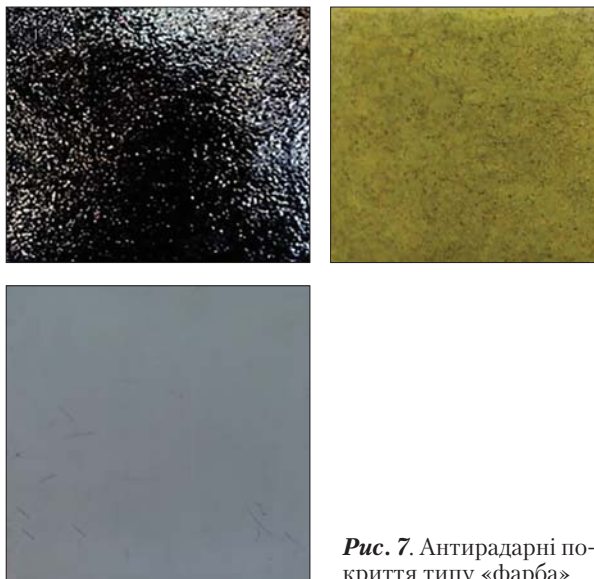


Рис. 7. Антирадарні покриття типу «фарба»

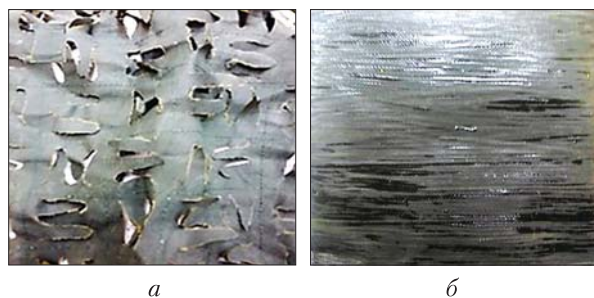


Рис. 8. Тканинні антирадарні покриття: *а* – легкі накидки; *б* – гнучкі покриття на основі базальтової тканини

можуть бути блочні матеріали, виготовлені на основі газонаповненого бетону, що мають рівень відбивання $-(10-15)$ дБ в діапазоні від 3 до 70 ГГц.

Іншим прикладом є покриття типу «облицювальна плитка» (рис. 6). Вони нетоксичні, стійкі до кислих та лужних середовищ, розчинників, морської води, не підтримують горіння.

Температурний діапазон експлуатації – від -40 до $+100$ °С, відносна вологість повітря від 0 до 98 %. Основні характеристики таких покриттів наведено в табл. 3.

Перевагами блочних та плиткових матеріалів є широка спектральна смуга поглинан-

ня НВЧ-випромінювання, невисока вартість, можливість використання на похилих та вертикальних металевих, бетонних і дерев'яних поверхнях, керування параметрами при виготовленні, екологічність технології виробництва, можливість декорування.

На рис. 7 наведено фотографії поверхонь зразків розроблених антирадарних покриттів типу «фарба» різного функціонального призначення, які можуть мати чорний, темно-сірий, зелений кольори, а також колір «морська хвиля». Їхня структура складається з 3–5 шарів. Основні характеристики покриттів типу «фарба» наведено в табл. 4.

Крім того, виготовлено легкі тканинні антирадарні накидки кольору хакі з відбиванням у НВЧ- та ГЧ-діапазоні $-(12-20)$ дБ і поверхневою густиною $400-600$ г/м², а також гнучкі покриття на основі базальтової тканини (рис. 8). Основні властивості покриттів на основі базальтової тканини наведено в табл. 5.

Такі модифіковані тканини і гнучкі матеріали можна використовувати для виготовлення захисних накидок на тимчасово розміщену техніку, укріплення, для пошиття спецодягу тощо.

Таблиця 4. Основні властивості матеріалів типу «фарба»

Властивість, характеристика	Значення
Діапазон робочих частот, ГГц	6–80
Відбивання в НВЧ-діапазоні, дБ	$-(10-14)$
Відбивання в ГЧ-діапазоні, дБ	$-(8-10)$
Водопоглинання, %	1–2
Товщина, см	0,15–0,3
Поверхнева густина, кг/м ²	< 4,1

Таблиця 5. Основні властивості гнучких покриттів на основі базальтової тканини

Властивість, характеристика	Значення
Діапазон робочих частот, ГГц	3–60
Відбивання в НВЧ-діапазоні, дБ	10–20
Поверхнева густина, кг/м ²	1,65
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,031–0,048

Необхідним етапом підготовки розроблених матеріалів і покриттів до практичного використання є проведення кліматичних випробувань, які визначають стійкість зразків до впливу кліматичних факторів. Умови моделювання експлуатації зразків було вибрано для всіх макрокліматичних районів суші, крім районів з дуже холодним кліматом (ГОСТ 15150-69).

Випробування здійснювали в камері циклічної корозії (Cycle Corrosion, Auto Technology, США). Проміжні інспекції стану зразків проводили через 250 годин, фінальну інспекцію з повною оцінкою результатів — через 2000 годин. Згідно з вимогами ГОСТ 9.401-91, було виконано 20 циклів по 24 години. У камері вологості зразки витримували 8 годин за температури 40 ± 2 °С і відносної вологості повітря 97 ± 3 %, 8 годин сушили у повітрі за температури 60 °С, впродовж 4 годин щогодини поливали сольовим розчином (360 г хлориду натрію, 40 г хлориду кальцію, 30 г гідрокарбонату натрію на 40 л води) і 4 години витримували в камері холоду за температури -30 ± 2 °С.

Усі зразки типів «плитка» і «фарба» успішно витримали ці випробування — зразки мали незначні видимі ознаки впливу середовища на поверхню, однак зберегли форму, колір, фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики.

Перед випробуваннями на деяких зразках у центрі робили подряпину. Для прикладу на рис. 9 наведено фотографії таких зразків типу «фарба» після кліматичних досліджень. Як можна бачити, в місцях суцільного покриття зразки мають незначні видимі зміни, тоді як у місцях попередньо нанесеного механічного пошкодження покриття спостерігаються видимі прояви корозії металічної підкладки.

Для полігонних випробувань було виготовлено великогабаритні зразки антирадарних фарбових покриттів. Випробування проводили на полігоні Житомирського бронетанкового заводу з використанням станції наземної розвідки ПСНР-5 «Кредо» та лазерного далекоміра командирських і розвідувальних машин ДКРМ-1. Випробування за участю фахівців Військової академії (м. Одеса) та Державного науково-дослідного інституту випробувань і

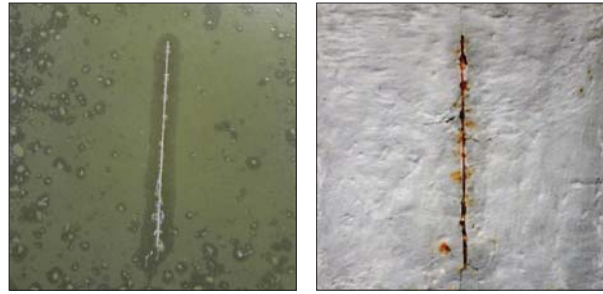


Рис. 9. Антирадарні покриття типу «фарба» різного складу та кольору після кліматичних випробувань (перед випробуванням на них було зроблено подряпину)



Рис. 10. Розвідувально-дозорна машина БРДМ-2 з нанесеним антирадарним покриттям на полігонних випробуваннях

сертифікації озброєння та військової техніки пройшли також на полігоні Чабанка Одеської області з використанням радіолокаційної станції ближньої розвідки СБР-3, наземного радіолокатора ближньої зони 112L1 «Борсук», лазерного приладу розвідки ЛПР-1. Встановлено відповідність розроблених покриттів параметрам, заявленим виробником.

Для обґрунтування доцільності застосування розроблених покриттів для зниження помітності зразків озброєння і військової техніки Сухопутних військ Збройних Сил України в разі використання радіолокаційних та оптико-електронних засобів антирадарне покриття було нанесено на броньовану розвідувально-дозорну машину БРДМ-2 (рис. 10). Фахівці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та вій-

ської техніки провели його випробування на полігоні Гончарівське Чернігівської області. В результаті було узгоджено напрями подальших досліджень та випробувань.

Крім того, дослідний зразок покриття було встановлено на кораблі «Гідробіолог» НАН України (тип «ріка—море») з метою його випробувань в умовах тривалого впливу природних факторів.

Зазначимо, що результати досліджень у рамках цієї тематики було покладено в основу докторської дисертації співробітника ІХП ім. О.О. Чуйка НАН України [26], захищеної в 2021 р.

Висновки. Розробки ІХП ім. О.О. Чуйка НАН України в галузі створення спеціальних захисних покриттів у рамках цільової науково-технічної програми НАН України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави» проходять випробування у співпраці з Воєнно-науковим управлінням Генерального штабу Збройних Сил України, Центральним науково-дослід-

ним інститутом озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Державним науково-дослідним інститутом випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Експлуатаційні параметри створених захисних покриттів дозволяють досягти зменшення радіолокаційної помітності сухопутних ОВТ, будівель, споруд тощо. Функція захисту в ІЧ-діапазоні та відповідність покриттів вимогам до застосування в авіаційно-ракетній та військово-морській галузях потребують подальших досліджень.

Автор висловлює щире подяку за плідну творчу співпрацю всім співробітникам ІХП ім. О.О. Чуйка НАН України та колегам з інших організацій, які брали участь у виконанні цих досліджень, а також дякує Президії НАН України за надану підтримку, зокрема за організацію цільової науково-технічної програми «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави», в рамках якої вдалося продовжити цей цикл досліджень.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Shpak A.P., Gorbyk P.P. *Nanomaterials and Supramolecular Structures: Physics, Chemistry, and Applications*. Netherlands: Springer, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2309-4>
2. Patent of Ukraine No. 99211. Horbyk P.P., Petranovska A.L., Turelyk M.P., Turanska S.P., Vasylieva O.A., Chekhun V.F., Lukianova N.Yu., Shpak A.P., Korduban O.M. Nanocapsules with functions of nanorobot. Publ. 25.07.2012. [Патент України № 99211. Горбик П.П., Петрановська А.Л., Турелик М.П., Туранська С.П., Васильєва О.А., Чехун В.Ф., Лук'янова Н.Ю., Шпак А.П., Кордубан О.М. Нанокapsула з функціями наноробота. Опубл. 25.07.2012.]
3. Patent of Ukraine No. 78473. Paton B.E., Horbyk P.P., Petranovska A.L., Turelyk M.P., Abramov M.V., Vasylieva O.A., Chekhun V.F., Lukianova N.Yu. Magnetic antitumor liquid. Publ. 25.03.2013. [Патент України № 78473. Патон Б.Є., Горбик П.П., Петрановська А.Л., Турелик М.П., Абрамов М.В., Васильєва О.А., Чехун В.Ф., Лук'янова Н.Ю. Магнітна протипухлинна рідина. Опубл. 25.03.2013.]
4. Horbyk P.P. Nanocomposites with the functions of medical and biological nanorobots: synthesis, properties, applications. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. 2013. **11**(2): 323–436. [Горбик П.П. Нанокomпозити з функціями медико-біологічних нанороботів: синтез, властивості, застосування. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2013. Т. 11, № 2. С. 323–436.]
5. Gorbyk P.P., Lerman L.B., Petranovska A.L., Turanska S.P., Pylypchuk I.V. Magnetosensitive Nanocomposites with Hierarchical Nanoarchitecture as Biomedical Nanorobots: Synthesis, Properties, and Application. In: *Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials, Applications of Nanobiomaterials*. Elsevier, 2016. P. 289–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41533-0.00010-6>
6. Abramov M.V., Turanska S.P., Gorbyk P.P. Magnetic Properties of Nanocomposites of a Superparamagnetic Core–Shell Type. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2018. **40**(4): 423–500. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.04.0423> [Абрамов М.В., Туранська С.П., Горбик П.П. Магнетні властивості нанокomпозитів типу суперпарамагнетне ядро-оболонка. *Металлофізика і новітні технології*. 2018. Т. 40, № 4. С. 423–500.]

7. Abramov M.V., Turanska S.P., Gorbyk P.P. Magnetic Properties of Fluids Based on Polyfunctional Nanocomposites of Superparamagnetic Core–Multilevel Shell Type. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2018. **40**(10): 1283–1348. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.10.1283>
[Абрамов М.В., Туранська С.П., Горбик П.П. Магнетні властивості рідин на основі поліфункціональних нанокмпозитів типу суперпарамагнетне ядро–багаторівнева оболонка. *Металофізика і новітні технології*. 2018. Т. 40, № 10. С. 1283–1348.]
8. Abramov M.V., Turanska S.P., Gorbyk P.P. Specific surface area optimization of nanoarchitecture of magnetosensitive nanocomposites of superparamagnetic core–multilevel shell type for application in oncology. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. 2020. **18**(3): 505–528.
[Абрамов М.В., Туранська С.П., Горбик П.П. Оптимізація за питомою площею поверхні наноархітектури магнеточувливих нанокмпозитів типу суперпарамагнетне ядро–багаторівнева оболонка для застосування в онкології. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2020. Т. 18, № 3. С. 505–528.]
9. Gorbyk P.P. Biomedical nanocomposites with nanorobot functions: state of research, development, and prospects of practical introduction. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2020. **11**(1): 128–143. <https://doi.org/10.15407/hftp11.01.128>
[Горбик П.П. Медико-біологічні нанокмпозити з функціями нанороботів: стан досліджень, розробок та перспективи практичного впровадження. *Хімія, фізика та технологія поверхні*. 2020. Т. 11. № 1. С. 128–143.]
10. Uvarova I.V., Horbyk P.P., Horobets S.V. et al. *Nanomaterialy medychnoho pryznachennia (Nanomaterials for medical purposes)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2014 (in Ukrainian).
[Уварова І.В., Горбик П.П., Горобець С.В. та ін. *Наноматеріали медичного призначення*. Київ: Наукова думка, 2014.]
11. Horobets S.V., Horobets O.Yu., Horbyk P.P., Uvarova I.V. *Funktsionalni bio- ta nanomaterialy medychnoho pryznachennia (Functional bio- and nanomaterials for medical purposes)*. Kyiv: Kondor, 2018 (in Ukrainian).
[Горобець С.В., Горобець О.Ю., Горбик П.П., Уварова І.В. *Функціональні біо- та наноматеріали медичного призначення*. Київ: Кондор, 2018.]
12. Shpak A.P., Chekhun V.F., Gorbik P.P., Turov V.V. *Nanomaterialy i nanokompozity v meditsine, biologii, ekologii (Nanomaterials and nanocomposites in medicine, biology, ecology)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2011 (in Russian).
[Шпак А.П., Чехун В.Ф., Горбик П.П., Туров В.В. *Наноматеріали і нанокмпозити в медицині, біології, екології*. Київ: Наукова думка, 2011.]
13. Horbyk P.P., Makhno S.M., Dubrovin I.V. Synthesis and properties of nanostructures absorbing ultra-high-frequency electromagnetic and neutron radiation. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. 2017. **15**(1): 47–82.
[Горбик П.П., Махно С.М., Дубровін І.В. та ін. Синтез і властивості наноструктур, поглинаючих надвисокочастотне електромагнітне та нейтронне випромінювання. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2017. Т. 15, № 1. С. 47–82.]
14. Vodopianov D.L., Gozhenko V.V., Goncharuk Yu.S., Grechko L.G., Shkoda N.G. Electrodynamic properties of small spherical particles near flat surface. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2006. (11-12): 53–61.
[Водопьянов Д.Л., Гоженко В.В., Гончарук Ю.С., Гречко Л.Г., Шкода Н.Г. Электродинамические свойства малых сферических частиц вблизи плоской поверхности. *Химия, физика и технология поверхности*. 2006. Вып. 11-12. С. 53–61.]
15. Vodopianov D.L., Grechko L.G., Gorbyk P.P., Lerman L.B., Lyuschenko M.A. Effect of multipole interaction on the absorption spectra of small spherical particles near solid surfaces. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2007. (13): 48–63.
[Водопьянов Д.Л., Гречко Л.Г., Горбик П.П., Лерман Л.Б., Лющенко М.А. Влияние мультипольного взаимодействия на спектры поглощения малых сферических частиц вблизи поверхности твердых тел. *Химия, физика и технология поверхности*. 2007. Вып. 13. С. 48–63.]
16. Gantsevich S.V. Plasma oscillations in a system of large quantum dots. *Phys. Solid State*. 2009. **51**: 381–387. <https://doi.org/10.1134/S1063783409020292>
[Ганцевич С.В. Плазменные колебания в системе больших квантовых точек. *Физика твердого тела*. 2009. Т. 51, № 2. С. 352–364.]
17. Gorbik P.P., Chuiko A.A., Bakuntseva M.V. *Sistemy s razvitoj poverkhnost'yu i fazovymi perekhodami provodnikovysokotemperaturnyju sverkhprovodnik, poluprovodnik-metall, dielektrik-superionik*. Kyiv: Naukova Dumka, 2003 (in Russian).
[Горбик П.П., Чуйко А.А., Бакунцева М.В. *Системы с развитой поверхностью и фазовыми переходами проводник-высокотемпературный сверхпроводник, полупроводник-металл, диэлектрик-суперионик*. Киев: Наукова думка, 2003.]

18. Sedov O.M., Holod V.V., Makhno S.M., Lisova O.M., Abramov M.V., Turanska S.P., Gorbyk P.P. Electrophysical and Magnetic Properties of Arrays of Fibrous Iron-Containing Carbon Nanocomposites. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2019. **41**(9): 1153–1169. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.09.1153>
[Сєдов О.М., Холод В.В., Махно С.М., Лісова О.М., Абрамов М.В., Туранська С.П., Горбик П.П. Електрофізичні та магнітні властивості масивів залізовмісних волокнистих вуглецевих наноконкомпозитів. *Металофізика та новітні технології*. 2019. Т. 41. № 9. С. 1153–1169.]
19. Lisova O.M., Makhno S.M., Gunya G.M., Gorbyk P.P. Electrophysical Properties of Carbon Nanotubes/NiCo Composites. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2018. **8**(4): 362–367. <https://doi.org/10.15407/hftp08.04.393>
20. Lisova O.M., Makhno S.M., Gunya G.M., Gorbyk P.P. Synthesis of the composites of graphene nanoplatelets/(Ni-Co) and their properties. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2017. **8**(4): 393–399. <https://doi.org/10.15407/hftp08.04.393>
21. Abramov N.V., Gorbyk P.P., Bogatyrev V.M. Magnetic properties of carbon-nickel nanocomposites. *Surface*. **8**: 223–235. <https://doi.org/10.15407/Surface.2016.08.223>
[Абрамов М.В., Горбик П.П., Богатирьев В.М. Магнітні характеристики наноконкомпозитів складу вуглець-нікель. *Поверхність*. 2016. Вып. 8(23). С. 223–235.]
22. Prokopenko S.L., Mazurenko R.V., Gunja G.M., Abramov N.V., Makhno S.M., Gorbyk P.P. Electrophysical properties of polymeric nanocomposites based on cobalt and nickel ferrites modified with copper iodide. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2020. **494**: 165824. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165824>
23. Lisova O.M., Makhno S.M., Gunya H.M., Gorbyk P.P. Electrophysical properties of NiCo-nanostructured composite materials. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*. 2020. **18**(3): 755–766.
[Лісова О.М., Махно С.М., Гуня Г.М., Горбик П.П. Електрофізичні властивості NiCo-наноструктурних композиційних матеріалів. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*. 2020. Т. 18, № 3. С. 755–766.]
24. Prokopenko S.L., Gunja G.M., Makhno S.N., Gorbyk P.P. Synthesis and electrophysical properties of composite materials based on heterostructures CuS/CdS, Cu₂S/CdS, Ag₂S/CdS. *J. Nanostruct. Chem.* 2014. (4): 103–108. <https://doi.org/10.1007/s40097-014-0120-3>
25. Dzubenko L.S., Gorbyk P.P., Sapyanenko A.A., Rezanova N.M. The influence of carbon-containing, magnetic and nano-dispersed additions on structure and electrophysical properties of polypropylene-based composite monofibers. *Surface*. 2021. **13**: 197–205. <https://doi.org/10.15407/Surface.2021.13.197>
[Дзюбенко Л.С., Горбик П.П., Сап'яненко О.О., Резанова Н.М. Вплив вуглецьвмісної магнітної нанодисперсної добавки на структуру та електрофізичні властивості композитних монониток на основі поліпропілену. *Поверхня*. 2021. № 13. С. 197–205.]
26. Makhno S.M. Electrophysical properties of polymer composite nanostructured materials in the microwave range of the electromagnetic spectrum. Dr. (Phys. & Math.) thesis. Kyiv, 2021.
[Махно С.М. Електрофізичні властивості полімерних композиційних наноструктурованих матеріалів в НВЧ-діапазоні електромагнітного спектра. Дис. ... доктора фізико-математичних наук. Київ: Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, 2021.]

Petro P. Gorbyk

*Chuiko Institute of Surface Chemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0533-4427>

NEW SPECIAL MATERIALS AND COATINGS THAT EFFECTIVELY ABSORB ELECTROMAGNETIC INFRARED AND OTHER RADIATION

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine,
November 2, 2022

The report presents the most important results of fundamental and applied research conducted at the Chuiko Institute of Surface Chemistry of the NAS of Ukraine and aimed at the development of new promising special materials and coatings that effectively absorb electromagnetic ultra-high-frequency and infrared radiation, as well as meet certain requirements regarding mass, size and climatic characteristics. The scope of application of such coatings covers a wide range of objects for various purposes used on land, water, in the air and even in space, and their development is a relevant problem that has a great scientific, technical and defense significance.