



ЧЕПКОВ

Ігор Борисович – доктор технічних наук, професор, генерал-майор, начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

РОЛЬ ТА МІСЦЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА У СТВОРЕННІ НОВІТНЬОГО ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті обгрунтовано важливість досліджень з вивчення фізико-хімічних, технологічних, експлуатаційних та інших характеристик різноманітних матеріалів з метою створення науково-технічного й технологічного доробку для виробництва, модернізації та подальшого розвитку інноваційного високотехнологічного озброєння та військової техніки. Проаналізовано сучасні світові тенденції в галузі матеріалознавства. Визначено пріоритетні напрями досліджень, які можуть сприяти розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

Ключові слова: новітні матеріали, 3D-виробництво, багатифункціональні конструкційні матеріали, енергетичні матеріали, електронні й фотонні матеріали, біоматеріали, органічні й гібридні матеріали, нанотехнології.

Нинішня російсько-українська війна актуалізувала нагальну необхідність підтримання високого науково-технічного й технологічного рівня озброєння та військової техніки (ОВТ), що застосовується у збройній боротьбі. Вона засвідчила, що сучасні війни характеризуються повсюдним використанням інноваційного високотехнологічного ОВТ.

Російська Федерація, як агресор, з метою досягнення в найкоротший термін своїх стратегічних воєнних цілей, задіяла весь арсенал наявного високоточного озброєння для знищення в Україні військових об'єктів, руйнування критичної інфраструктури і житлового фонду. Так, з початку війни РФ з великої відстані (з власної території або з території Республіки Білорусь) завдала прицільні удари за допомогою ракетних комплексів «Іскандер-М» та «Іскандер-К» (наземного базування), «Калібр» (морського базування), крилатих ракет Х-101 та гіперзвукових ракет «Кинджал», розміщених на авіаційних носіях (стратегічні бомбардувальники ТУ-95МС та винищувачі-перехоплювачі дальньої дії МІГ-31К відповідно).

Пошук методів захисту і протидії цим та іншим вискоефективним видам озброєння потребує поглибленого аналізу науково-технічних, технологічних, конструктивних та експлуатацій-

них особливостей сучасної військової техніки. Тому сьогодні перед Національною академією наук України постає одне з пріоритетних завдань — визначення і вивчення фізико-хімічних, технологічних, експлуатаційних та інших характеристик різноманітних матеріалів, які застосовують у зразках ОВТ провідних країн світу. Ці дослідження є важливим елементом створення спеціалізованого науково-технічного й технологічного доробку для розвитку, виробництва та модернізації інноваційного високотехнологічного ОВТ для Збройних Сил України. Результати цих досліджень дозволять здобути нові знання, отримати високотехнологічні інноваційні розробки для їх подальшого використання (опрацювання) фахівцями підприємств оборонно-промислового комплексу України при створенні перспективного новітнього озброєння для Збройних Сил України, інших силових структур сектору безпеки і оборони України та розроблення ефективних способів та засобів протидії ворожому озброєнню.

Для узагальнення на державному рівні можна виокремити такі спрямовані на зміцнення безпеки й обороноздатності держави напрями наукових досліджень установ НАН України:

1. Дослідження оборонних технологій щодо деструктивного впливу на військові об'єкти (системи, комплекси) з метою їх функціонального ураження (руйнування).

2. Дослідження фізичних полів об'єктів (зокрема, високошвидкісних засобів ураження) з метою їх виявлення, ідентифікації, відстеження та захисту від їх влучання (ураження).

3. Розроблення композитних матеріалів з маскувальними властивостями в інфрачервоному, радіолокаційному та видимому діапазонах спектра.

4. Створення високоенергетичних матеріалів для виробництва різних видів палива та вибухових речовин з низькою чутливістю до зовнішніх впливів різноманітного походження.

5. Створення технологій функціонального захисту об'єктів, у тому числі критичної інфраструктури, важливих військових об'єктів, та підвищення їх живучості, автономності, керованості, захищеності й завадостійкості.

6. Дослідження технологій передачі, обробки, накопичення великих масивів даних та способів їх захисту при керуванні об'єктами і системами.

7. Дослідження технологій, спрямованих на підвищення автономності об'єктів (систем).

8. Створення матеріалів (біоматеріалів) для лікування опіків, ранових поверхонь тощо.

Слід зазначити, що майже всі перелічені напрями ґрунтуються на технологіях створення новітніх матеріалів, що підкреслює нагальність і важливість досліджень у галузі матеріалознавства.

Сучасні наукові знання про матеріали — це результат теоретичних та експериментальних досліджень, інженерних розробок, винаходів і технологій виробництва різноманітних виробів з них.

У світовій науковій спільноті визнано, що протягом наступних 20 років три основні напрями науково-дослідної діяльності вважатимуться проривними: 1) новітні матеріали; 2) 3D-виробництво; 3) енергія.

За експертними оцінками, в найближчі 20 років 90 % наявних матеріалів буде замінено принципово новими, що приведе до революції в різних галузях техніки. Про перспективність робіт у цій галузі свідчить і той факт, що майже 22 % світових патентів видаються на винаходи нових речовин і матеріалів [1]. Тому всі промислово розвинені країни світу особливо велику увагу приділяють розвитку матеріалознавства.

Прогрес у матеріалознавстві і виробництві оборонної продукції матиме значний вплив на оборону та національну безпеку протягом найближчих десятиліть. Використання новітніх матеріалів у поєднанні з адитивними технологіями (3D-друк) та технологіями гібридного виробництва уможливить створення більш раціональних продуктів, менш матеріаломістких, з меншою кількістю відходів, продуктів, розроблених та виготовлених за індивідуальними технічними вимогами замовника, а вбудована електроніка і датчики забезпечать швидке розроблення та виготовлення запчастин до зброї, бойових машин та іншого обладнання [2].

До основних наукових напрямів, що визначають прогрес матеріалознавства у XXI ст., слід віднести такі:

- квантова теорія твердого тіла, теорія реальних кристалів і фізика дефектів у твердому тілі;
- теорія та експериментальні дослідження з квантової електроніки;
- теорія надпровідності й надпровідні матеріали;
- металургія тугоплавких, легких, жароміцних, прецизійних електротехнічних сплавів;
- порошкова металургія;
- фізикохімія і технологія радіоактивних матеріалів;
- матеріалознавство напівпровідників, діелектриків, магнетиків;
- фізикохімія і технологія оптичних матеріалів;
- матеріалознавство композитів;
- хімія і матеріалознавство полімерів;
- фізикохімія і технологія з'єднання різних матеріалів (зварювання, склеювання тощо);
- хімія твердого тіла, хімія і фізика поверхні, теорія і практика гетерогенного каталізу;
- фізикохімія і технологія надчистих матеріалів, монокристалів, тонких плівок, аморфних, аморфно-кристалічних, квазікристалічних, градієнтних і направлено кристалічних матеріалів та покриттів;
- екстремальні технології в матеріалознавстві (високі тиски, лазерне випромінювання, електронне й плазмово-дугове нагрівання та перегрів, іонна імплантація тощо);
- нанотехнології в матеріалознавстві;
- комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві [3].

Сьогодні розвиток матеріалознавства та інженерії в Україні відбувається в руслі світових трендів завдяки появі вдосконалених інструментів для дослідження, обробки, структурування, комбінування й визначення характеристик матеріалів новітніми методами та в дедалі менших масштабах. Це має важливе значення для створення ОВТ для Збройних Сил України. Тому Міністерство оборони України

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України та Секція з оборонних проблем Міністерства оборони України при Президії НАН України) тісно співпрацює з науковими установами НАН України та здійснює науково-технічний супровід цільових науково-технічних програм НАН України з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави.

Установи Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України за роки незалежності дослідили фундаментальні проблеми, пов'язані зі збереженням і розвитком науково-технічного потенціалу держави, розробленням і впровадженням новітніх матеріалів і технологій, гарантуванням техногенної безпеки. Остаточо сформувався пріоритетний напрям розвитку науки і техніки України — «нові речовини і матеріали», в якому Відділення є національним лідером і має результати, що відповідають світовому рівню. Серед них — створення конструкційних та функціональних матеріалів із заданими властивостями, методів їх з'єднання та оброблення, досягнення в галузі фізико-хімічної механіки, міцності та діагностики матеріалів, корозії і захисту металів. Значно розширено роботи зі створення матеріалів і технологій медичного призначення, наноматеріалів і нанотехнологій, матеріалів для «зеленої» енергетики, комп'ютерної інженерії, пов'язаних з подовженням ресурсу придатності матеріалів та виробів [4].

Технічні вимоги до майбутніх матеріалів, призначених для створення ОВТ, на наш погляд, мають ґрунтуватися на таких міркуваннях.

Очікується, що основні й допоміжні засоби збройної боротьби (бойові транспортні платформи, літаки, кораблі, підводні човни, ракети, боеприпаси тощо) перебуватимуть в експлуатації протягом тривалого часу, що висуває нові вимоги до базових технологій відносно довговічності, ремонтпридатності та простоти модернізації.

Сухопутні війська будуть, як і раніше, необхідні для атакування супротивника, армія потребуватиме високомобільних легких машин,

що надійно захищені бронею і мають властивості прихованості для протистояння загрозам високої інтенсивності. Піхотинці зіштовхуються з дедалі могутнішою зброєю й потребують високого ступеня інформаційного зв'язку на полі бою. Зараз кожний солдат несе на собі досить велику вагу: озброєння, особисте спорядження, джерела живлення для засобів зв'язку тощо. У майбутньому армія планує зменшити навантаження на кожного бійця завдяки використанню більш легкого обладнання, малопотужної електроніки, а також застосуванню робототехніки та екзоскелетів.

Повітряні Сили висувають вимоги щодо оснащення літаками з надвисокими швидкостями з надлегких матеріалів з тривалим терміном служби і можливістю обслуговування та модернізації зі значно меншими витратами. Завдання Повітряних Сил зумовлюють посилення уваги до космічних засобів розвідки, зв'язку та навігації.

Військово-Морські Сили прагнуть мати приховані системи, здатні діяти в прибережних районах, новітні засоби протичовнової і проти-мінної боротьби, щоб забезпечити виконання флотом своїх завдань у прибережних водах.

Враховуючи вищезазначені основні тренди розвитку матеріалознавства та нагальні потреби Збройних Сил України у сучасних ОВТ, а промисловості — в новітніх матеріалах для їх створення, можна виокремити найбільш перспективні з цих матеріалів. Це багатофункціональні конструкційні матеріали; енергетичні (аккумуляторні) і силові матеріали; електронні й фотонні матеріали; біоінспіровані та біодеривовані матеріали; органічні й гібридні матеріали; графен та інші нові 2D-матеріали.

Новітні матеріали можна виготовляти з використанням методів, розроблених на основі нанотехнологій або синтетичної біології. Застосування таких матеріалів приведе до появи нових характеристик та можливостей: покриття з надзвичайною жаростійкістю, високоміцні броньовані платформи, стелс-покриття, надпровідність, вдосконалені датчики та дезактивація, збирання і зберігання енергії та багато іншого [5].

Багатофункціональні конструкційні матеріали. Міністерство оборони України надає великого значення оптимізації загальної вартості життєвого циклу всіх типів ОВТ. Для виконання цього завдання потрібні легші, міцніші, жорсткіші матеріали, придатні для використання за більш високих температур, що дозволить підвищити мобільність, маневреність, транспортабельність ОВТ і збільшити термін їх експлуатації. Особливу увагу слід приділяти багатофункціональності, яка має бути закладена в матеріал.

Найбільш актуальними для створення ОВТ є «розумні» матеріали, композитні матеріали, клеї та покриття.

Значний інтерес викликають «розумні» матеріали, які можуть контролювати власний стан і повідомляти про нього. «Розумні», або інтелектуальні, матеріали, завдяки яким можна досягти революційного вдосконалення конструкції, — це насамперед п'єзоелектричні матеріали, сплави з пам'яттю форми (SMA), активні полімери.

Композитні матеріали відкривають широкі можливості для значного прогресу в галузі дизайну та функціональності. Завдяки своїй багатофазній природі й методам виготовлення ці матеріали пропонують прості шляхи для вирішення проблеми вбудовування датчиків, приводів та інших елементів, що забезпечують багатофункціональність. Концептуально можна розробити практично необмежену кількість композитів з різним ступенем багатофункціональності (три-, тетра-, пентафункціональність тощо), використовуючи як багатофункціональні матриці, так і багатофункціональні посилюючі армувальні елементи.

Наведемо деякі приклади:

- композит з матрицею, що містить мікрокапсули, чутливі до теплового, електричного або механічного впливу, які при руйнуванні вказують на область пошкодження матеріалу в процесі експлуатації. Самовідновлення в пошкодженій області може здійснювати інше сімейство мікрокапсул. Зміцнювальними фазами можуть бути дві різні нитки, які в провідній полімерній матриці здатні функціонувати як батарея;

- мікроніздрювата структурна піна, що застосовується у матриці. Деякі з цих матеріалів можуть бути радіопоглинальними або світлопровідними чи світловипромінювальними. При їх використанні зміцнювальні нитки можуть мати здатність звукового зондування;

- поліпшене стелс-покриття. Сьогодні стелс-покриття мають кілька шарів, їхня шорсткість і зношування є критичною проблемою. Композитна технологія, зокрема нанорозмірне структурування, має потенціал для створення макромасштабних монолітних стелс-матеріалів, усуваючи величезний тягар обслуговування багатошарових структур;

- фотоелектрична тканина для військової форми, що містить кевларові елементи, вплетені в уразливі місця. Отриману в періоди сонячного світла електроенергію можна використовувати для підтримання або заміни заряду в батареях, необхідних для живлення багатьох пристроїв, які носитимуть піхотинці майбутнього.

Клеї, герметики та покриття використовують у військових системах майже повсюдно, найчастіше для з'єднання компонентів, герметизації, захисту або ізоляції, виготовлення деталей за допомогою фотолітографії та загалом для поліпшення функціонування й виробництва ОВТ. Клеї використовують також як матричні матеріали для всіх типів композитів, зокрема твердого палива, вибухових речовин, а також високоефективних конструкційних матеріалів.

За цим напрямом в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України було створено і досліджено принципово новий клас функціональних матеріалів — багатокомпонентні (високоентропійні) інтерметаліди з ефектом пам'яті форми [6]. Необхідність розроблення таких матеріалів зумовлена нестабільністю функціональних характеристик відомих сплавів з пам'яттю форми, які обмежені певними температурними діапазонами використання.

Новітні високоентропійні інтерметаліди з пам'яттю форми можна використовувати в сучасних сенсорах, системах гасіння вібрацій і силових приводах в авіакосмічному й автомо-

білебудівному секторах, енергетиці (в системах захисту ядерних реакторів від перегріву), видобувній галузі, приладобудуванні та медицині. Наприклад, розроблені матеріали, придатні для використання в інтервалі температур 77–900 К, є перспективними для близько десятих позицій конструкцій газотурбінних двигунів.

Науковці Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України вперше синтезували, систематично дослідили й охарактеризували понад 40 полікомпонентних (високоентропійних) карбідів, нітридів, боридів та оксидів.

Отримані результати виводять на новий рівень науковий напрям «матеріалознавство тугоплавких сполук» і започатковують новий перспективний науковий напрям — «матеріалознавство полікомпонентних (високоентропійних) тугоплавких сполук». Фактично закладено основи створення нового класу невідомих раніше матеріалів. Майже необмежені можливості варіювання складів, електронної будови, розмірної невідповідності атомів, ентропії та ентальпії відкривають надзвичайно широкий простір для наукового пошуку. Завдяки незвичайним властивостям ці сполуки можуть знайти (і вже знаходять) широке застосування, зокрема для розроблення нового покоління композиційних матеріалів, новітніх полікомпонентних 2D-матеріалів, а також як покриття з унікально високим рівнем характеристик.

Революція в дослідженні двовимірних матеріалів сталася після визначення первинних характеристик графену.

Графен — це новий матеріал на основі вуглецю з широким спектром надзвичайних механічних, фізичних, хімічних та електричних властивостей, яких не має жоден інший відомий матеріал. Він хімічно стійкий, нетоксичний, легкий і порівняно простий у виробництві, оскільки його можна отримати з широкодоступної сировини. Індивідуальні властивості графену перевершують властивості звичайних матеріалів, а поєднання цих властивостей є унікальним. Очікується, що за-

стосування графену приведе до значного вдосконалення матеріалів, які використовують в аерокосмічній галузі (композитні конструкції), високочастотній електроніці (терагерцові частоти, радіолокатори, охолодження), для виготовлення функціональних покриттів (проти обмерзання, для захисту від корозії), у накопиченні енергії (батареї, ультраконденсатори), для маскування (радіолокаційні поглиначі), захисту (броя, текстиль), а також для виготовлення датчиків (фотодетектори, детектори тиск/деформація, визначення хімічних речовин) та портативних пристроїв (дисплеї).

Новітні 2D-матеріали, такі як фосфорен [7], гексагональний нітрид бору [8], дихалькогеніди перехідних металів [9], також продемонстрували унікальні й навіть дивовижні характеристики. Властивості цих 2D-матеріалів можуть стати вирішальним фактором для майбутніх технологій. Досягнень, ймовірно, слід очікувати у площині комбінування 2D-матеріалів для створення нових класів багат шарових гетероструктурних матеріалів поряд з використанням традиційних сипких матеріалів. Ранні експерименти з двошаровими, тришаровими та скрученими графеновими листами [10] виявили ефект надпровідності [11] та продемонстрували перспективні результати у створенні біосенсорів [12].

Загалом очікується, що з використанням графену буде досягнуто підвищення надійності, збільшення терміну експлуатації та зменшення ваги й розмірів техніки. Дослідження цього матеріалу приведуть до створення нових поліпшених пристроїв у таких сферах застосування:

- інтегровані зі звичайними напівпровідниковими пристроями удосконалені інфрачервоні приймачі для розпізнавання тепловізійних зображень або для досягнення більш швидкої оптичної модуляції для ширококутового зв'язку;
- біологічні та хімічні військові детектори;
- мембрани для конкретних біохімічних молекул;
- електропровідні мембрани для гнучкої або друкованої електроніки [13];

- високошвидкісна електроніка для розвитку візуалізації та підтримки діапазону (радіолокації), а також терагерцової частоти зв'язку [13];

- охолодження електроніки завдяки високій теплопровідності графену [13];

- розвиток оптоелектроніки та фотоніки графену для сонячних батарей, сенсорних екранів, фотодетекторів та надшвидких лазерів [14, 15].

Енергетичні (акумуляторні) і силові матеріали. Практично будь-яка складна система ОВТ для функціонування потребує енергії і потужності. Досягнення вищих рівнів енергії та потужності в більш компактному корпусі є постійною метою.

Міністерство оборони України зацікавлене в енергетичних і силових матеріалах для застосування в різних сферах, таких як:

- акумулятори для зберігання енергії — від невеликих портативних до великих корабельних установок;

- конденсатори для зберігання й вивільнення імпульсної енергії;

- паливні елементи для ефективного прямого перетворення хімічної енергії на електричну для живлення платформи;

- фотогальваніка для одержання енергії з навколишнього середовища;

- вибухові речовини — малочутливі, але з більшою щільністю енергії;

- мікротурбіни для живлення невеликих безпілотних літальних апаратів.

На основі цих потреб можна визначити такі пріоритетні напрями досліджень:

- наука та інженерія наноматеріалів для контролю за структурою і властивостями на нанорівні;

- інженерія інтерфейсів і поверхонь у матеріалах з адаптацією структури матеріалу для оптимізації швидкості та масштабів реакційних процесів;

- передові матеріали для зберігання й перетворення енергії;

- інструменти, як аналітичні, так і експериментальні, для прискореного систематичного створення матеріалів, наприклад методами

обчислювального матеріалознавства, комбіна-
торного матеріалознавства.

Нові енергетичні і силові матеріали забезпе-
чать поліпшення властивостей ОВТ завдяки:

- збільшенню щільності енергії в пристроях зберігання з відповідним зменшенням їхньої маси;
- підвищенню летальності боєприпасів, зокрема збільшенню дальності й корисного навантаження;
- створенню ефективних пристроїв для збирання енергії, які дозволять уловлювати й накопичувати енергію сонячного випромінювання в зоні бойових дій;
- зменшенню ваги енергетичних і силових систем, що знизить корисне навантаження на солдата та зразки ОВТ.

За цим напрямом в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України було створено технологію виготовлення трансформаторів та дроселів з використанням нанокристалічних магнітопроводів для імпульсних блоків живлення та систем керування спеціального призначення. Отримані результати дозволяють розраховувати на ефективне використання нових магнітопроводів зі сплаву $\text{Fe}_{73}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{B}_7\text{Si}_{16}$ в потужних реакторах та лінійних дроселях фільтрів імпульсних джерел живлення.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України розробляє нові перспективні види сумішевого твердого ракетного палива з використанням у його складі полімерного нітрилу, вдосконалює кріогенну технологію виготовлення безоксидних ультрадисперсних порошків на основі алюмінію, бору, боргїдриду натрію та ін. як компонентів твердого сумішевого ракетного палива.

Електронні й фотонні матеріали. Такі матеріали необхідні для майбутніх систем (зразків) озброєння, які мають у своєму складі елементи електроніки, оптоелектроніки й фотоніки, а також мікросистеми (зокрема, сенсорні системи). Досягнення в галузі електронних і фотонних матеріалів дозволять поліпшити:

- виявлення, ідентифікацію та захист від загроз або запобігання ним;

- високоточні сигнали візуалізації;
- системи зв'язку;
- компактні системи для передачі сигналу дуже високої потужності і з високою частотою;
- ідентифікацію і спостереження за супротивником;
- динамічний камуфляж/невидимість;
- моніторинг технічного стану обладнання і здоров'я персоналу.

Для досягнення цієї мети актуальними є такі напрями досліджень:

- пошук нових матеріалів з екстремальними властивостями;
- нові способи комбінування матеріалів, особливо на нанорівні, для одержання нової функціональності, з особливою увагою до способів комбінації неорганічних і органічних або навіть біологічних матеріалів;
- пошук матеріалів для пакування й терморегулювання паралельно з дослідженнями матеріалів для самих пристроїв;
- розроблення технологічних процесів для успішного впровадження нових матеріалів, а також оптимізації та підвищення технологічності вже наявних матеріалів (низькотемпературні процеси загалом бажані, а іноді й необхідні, особливо зі зменшенням розмірів пристроїв і використанням усе більш різномірних матеріалів у безпосередній близькості один від одного).

За цим напрямом в Інституті фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України розроблено технологію виготовлення дводіапазонних багатоелементних фотоприймальних інфрачервоних пристроїв спеціального призначення на основі антимоніду індію. Виготовлено дослідну партію багатоелементних фотоприймальних інфрачервоних пристроїв, визначено їхні основні характеристики.

Біоінспіровані й біодеривовані матеріали. Інтеграція біологічних і фізичних наук може сприяти появі значно поліпшених, легких, багатофункціональних матеріалів для створення ОВТ. Біологічні системи наочно свідчать, що велика кількість молекул, структур і систем у живих організмах мають унікальні властивості, недоступні для нинішніх небіологічних

синтетичних матеріалів. Багато з цих біологічних молекул, структур, систем і природних процесів можуть стати основою для створення синтетичних матеріалів з поліпшеними властивостями. Підхід до використання живих організмів як моделі для розроблення матеріалів для оборонних потреб полягає у з'ясуванні механізмів їх дії та подальшому маніпулюванні біологічними системами з метою застосування їхніх властивостей у визначених системах (зразках) озброєння. Однак інтеграція біології і матеріалознавства ускладнюється традиційною відокремленістю біологічних та матеріалознавчих дисциплін в академічних, промислових і військових лабораторіях та галузевої відмінності в освіті фахівців.

У найближчому майбутньому передбачається, що:

- застосування біологічних механізмів зміцнення приведе до створення наступного покоління легких та міцних матеріалів;
- збереження біологічної функції біологічних молекул при їх вмонтуванні в обладнання буде ключовим чинником для наступного покоління пристроїв з біологічною підтримкою;
- для виявлення токсинів і патогенів, зокрема замаскованих агентів, достатньо буде лише однієї молекули.

Перспективними в цій галузі є такі напрями досліджень:

- фундаментальне розуміння взаємозв'язків між біологічною структурою, властивостями, еволюцією, розробленням і синтезом матеріалів;
- створення та виробництво біосумісних матеріалів для пристроїв, що імплантуються;
- розроблення пакувальних технологій для збереження біологічних функцій у пристроях.

Слід зазначити, що в найближчі кілька десятиліть біологія може багато чого запропонувати для задоволення потреб Міністерства оборони України. У деяких сферах, таких як медицина поля бою, ідентифікація або нейтралізація біологічних бойових агентів тощо, рішення можуть бути знайдені в конкретних біологічних молекулах, клітинах або системах. В інших випадках (розумні матеріали, легкі

конструкційні матеріали) біологія на прикладі конкретних молекул, клітин або систем може вказати шлях до розроблення ефективних стратегій створення й синтезу матеріалів. Якщо біологічні молекули або клітини розглядати як активний компонент обладнання, то завдання матеріалознавців полягає в тому, щоб не лише вмонтувати чутливий об'єкт, а й, що найбільш важливо, зберегти його біологічні функції в небіологічному середовищі. Спільним для всіх цих досліджень є використання біологічних парадигм для вирішення проблем проектування матеріалів, їх синтезу та збирання систем.

За цим напрямом в Інституті хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України досліджено особливості взаємодії біомолекул з поверхнею нанорозмірних оксидів металів для пошуку перспективних шляхів до розроблення нових гібридних біоорганічно-мінеральних матеріалів. Імобілізація молекули ДНК на поверхні наноматеріалів завдяки електростатичній взаємодії з поверхнею оксидів металів відіграє вирішальну роль у створенні біоелектронних пристроїв. Діоксиди титану і церію вже мають реальні перспективи біомедичного застосування для лікування та діагностики низки соціально значущих захворювань. Дослідження взаємодії нанорозмірних діоксидів титану і церію з біополімерами на молекулярному рівні допомагає наблизитися до розуміння їх впливу на клітини організму. Такі знання необхідні для подальшого успішного використання гібридних біоорганічних наноматеріалів на основі оксидів металів у різних галузях біомедицини та біотехнологій.

Органічні й гібридні матеріали. Проривні результати наукових досліджень у цій сфері очікуються в найближчі два десятиліття, їх поява докорінно змінить науку та інженерію органічних і гібридних матеріалів. Деякі з цих змін будуть без перебільшення революційними. За прогнозами вчених, органічні матеріали з низькою й високою молярною масою дедалі більше застосовуватимуть у матеріалах військового призначення. Вже у недалекому майбутньому очевидні переваги таких матері-

алів, пов'язані з їх функціональною гнучкістю, меншою масою, легкістю обробки, зумовлять розширення їх використання завдяки економічному виграшу протягом усього життєвого циклу виробу. Цей прогноз ґрунтується на екстраполяції розвитку матеріалів за останні 50 років.

Перспективними в цій галузі є такі напрями досліджень:

- процеси конвергенції та інтеграції органічної і кремнієвої електроніки та інших напівпровідникових елементів у гібридні архітектури;

- нові синтетичні стратегії для одержання великої кількості обраних полімерів з повністю визначеними хімічними структурами, підвищеною однорідністю та більшою чистотою;

- більша доступність для експериментаторів комп'ютерного моделювання та симуляції для оптимізації хімічного і структурного складу; особливо корисними для військового застосування є органічні матеріали, насамперед макромолекулярні, з високими фото- і термоелектричними властивостями;

- використання органічних матеріалів для забезпечення надійного захисту персоналу та обладнання від лазерних загроз;

- нові системи каталізаторів для забезпечення захисту безпосередньо на місці завдяки нейтралізації хімічної та біологічної загрози.

У разі отримання вагомих результатів цих робіт очікується, що:

- моделювання стане звичайною практикою, першим кроком у розробленні органічних матеріалів;

- синтез і обробка органічних матеріалів матимуть тенденцію до зближення;

- полімери високої чистоти з повністю контрольованою мікроструктурою стануть доступними, що уможливить їх практичне використання;

- агрегати органічних матеріалів у нанометровому масштабі зумовлять більшу функціональність матеріалів;

- завдяки своїм унікальним функціональним властивостям комбінації органічних молекул з низькою й високою молярною масою

з неорганічними матеріалами отримують можливості для широкого практичного застосування.

Висновки. У XXI ст. матеріалознавство стає однією з провідних фундаментальних і прикладних наук, на яку спирається технічний прогрес і подальший розвиток суспільства. Виконання завдань з підвищення безпеки, зміцнення обороноздатності держави, нарощування спроможностей давати дієву відсіч агресору, напрацювання науково-технологічного добробуту для запобігання загрозам у майбутньому зумовлює необхідність розвитку оборонних технологій, спрямованих на здійснення деструктивного впливу на ворожі об'єкти, досліджень фізичних полів об'єктів, розроблення композитних матеріалів з маскувальними властивостями, створення високоенергетичних матеріалів, розроблення технологій функціонального захисту об'єктів, накопичення й передачі інформації, підвищення автономності об'єктів, створення матеріалів (біоматеріалів) для лікування ранових поверхонь тощо. Всі ці напрями ґрунтуються на технологіях створення новітніх матеріалів, що підкреслює актуальність та важливість досліджень у галузі матеріалознавства.

За прогнозами фахівців, у найближчі 20 років 90 % використовуваних нині матеріалів замінять принципово нові матеріали. Вже сьогодні майже 22 % світових патентів видаються на винаходи нових речовин і матеріалів.

В Україні провідну роль у дослідженнях зі створення нових матеріалів, технологій їх виробництва та обробки відіграють установи НАН України. Наукові дослідження останніх років в Академії перебувають у тренді світового поступу матеріалознавства, і їх результати здатні значною мірою сприяти розвитку ОВТ Збройних Сил України.

Однак потужний потенціал наукових досягнень НАН України в галузі матеріалознавства може бути реалізований у практичній площині лише в тому разі, якщо результати, отримані в лабораторних умовах, вдасться перенести на великомасштабні виробничі процеси. Виконання цього завдання потребує наполегливих

спільних та узгоджених зусиль з боку Міністерства оборони України, керівників проєктів зі створення ОБТ, підприємств оборонно-про-

мислового комплексу і, безумовно, постійної і достатньої фінансової підтримки як держави, так і приватного сектору.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Science, education, technology, innovation: global trends and regional aspect: Proc. Int. Sci. Conf. Odesa, 2018. (in Ukrainian). https://novaosvita.com/wp-content/uploads/2018/10/ScTechInn-Odesa-Sept2018_v2.pdf [Наука, технології, інновації: світові тенденції та регіональний аспект. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса: Інститут інноваційної освіти, 2018.]
2. Burnett M. et al. Advanced Materials and Manufacturing – Implications for Defence to 2040. Tech. Rep. DST-Group-GD-1022. Defense Science and Technology Group. 2018. https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/publications/documents/DST-Group-GD-1022_0.pdf
3. Getman A.A. Main directions of development of materials science for creating new equipment. *Foundry Production and Metallurgy (Litiyo i Metallurgiya)*. 2022. (1): 142–146. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-142-146> [Гетьман А.А. Основные направления развития материаловедения для создания новой техники. *Литье и металлургия*. 2022. № 1. С. 142–158.]
4. Zagorodniy A.G. et al. (eds) *National Academy of Sciences of Ukraine in 1991–2021. To the 30th Anniversary of Independence of Ukraine*. Kyiv: Akadempriodyka, 2021. <https://doi.org/10.15407/academpriodyka.441.228> [Національна академія наук України в 1991–2021 роках. До 30-річчя Незалежності України. Редкол.: А.Г. Загородній (голова) та ін. Київ: Академперіодика, 2021.]
5. Reding D.F., Eaton J. Science & Technology Trends 2020–2040. NATO Science & Technology Organization. March 2020. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
6. Firstov G.S. *Vysokotemperaturni splavy z pamiattiu formy (High-temperature alloys with shape memory)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2019. P. 5–8 (in Ukrainian). [Фірстов Г.С. *Високотемпературні сплави з пам'яттю форми*. Київ: Наукова думка, 2019. С. 5–8.]
7. Akhtar M., Anderson G., Zhao R., Alruqi A., Mroczkowska J.E., Sumanasekera G., Jasinski J.B. Recent advances in synthesis, properties, and applications of phosphorene. *npj 2D Mater. Appl.* 2017. **1**: 5. <https://doi.org/10.1038/s41699-017-0007-5>
8. Park H.J., Cha J., Choi M., Kim J.H., Tay R.Y., Teo E.H., Park N., Hong S., Lee Z. One-dimensional hexagonal boron nitride conducting channel. *Science Advances*. 2020. **6**(10): eaay4958. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay4958>
9. van Bremen R. PhD Defence. Nanoscale Properties of 2D Materials. Science and Technology Faculty (TNW). 2020. <https://www.utwente.nl/en/tnw/events/2020/1/142446/phd-defence-rik-van-bremen-nanoscale-properties-of-2d-materials>
10. Mutalik P. When Magic Is Seen in Twisted Graphene, That's a Moiré. <https://www.quantamagazine.org/when-magic-is-seen-in-twisted-graphene-thats-a-moire-20190620/>
11. Wogan T. Squeezed graphene becomes a superconductor. *Physics World*. 28 Jan. 2019. <https://physicsworld.com/a/squeezed-graphene-becomes-a-superconductor/>
12. Crumpled graphene makes ultra-sensitive cancer DNA detector. *ScienceDaily*. 24 March 2020. <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/03/200324090014.htm>
13. Zirath H., Li J., Nilsson T., Sandberg M., Hammersberg J., Dahlet C. Graphene Roadmap. Tech. Rep. Swedish Electronics. 2019. https://siografen.se/app/uploads/2019/06/SIO-Grafen-Roadmap-Swedish-Electronics_v1.3.pdf
14. Bonaccorso F., Sun Z., Hasan T., Ferrari A.C. Graphene photonics and optoelectronics. *Nature Photonics*. 2010. **4**: 611–622. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2010.186>
15. A faster future: Graphene based optoelectronics. *Science Daily*. 6 July 2016. <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/07/160706114900.htm>

Igor B. Chepkov

*Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

THE ROLE AND PLACE OF MATERIALS SCIENCE IN THE CREATION
OF THE MODERN ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT
OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

The article substantiates the importance of research on the study of physico-chemical, technological, operational and other characteristics of various materials with the aim of creating scientific, technical and technological groundwork for the production, modernization and further development of innovative high-tech armament and military equipment. Current world trends in the field of materials science are analyzed. The priority areas of research that can contribute to the development of armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine have been determined.

Keywords: new materials, 3D manufacturing, multifunctional construction materials, energy materials, electronic and photonic materials, biomaterials, organic and hybrid materials, nanotechnologies.

Cite this article: Chepkov I.B. The role and place of materials science in the creation of the modern armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (6): 73–83. <https://doi.org/10.15407/visn2023.06.073>