Інновації щодо бронезахисту військової техніки

Володимир Жирний
начальник відділу
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
18013, вул. В. Чорновола, 164, Черкаси, Україна
e-mail: gva04041976@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1882-3008

Іван Задорожній
доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
18013, вул. В. Чорновола, 164, Черкаси, Україна
e-mail: zadorojnyis@ukr.net
ORCID: 0009-0005-7807-3239

Андрій Найко
старший науковий співробітник
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
18013, вул. В. Чорновола, 164, Черкаси, Україна
e-mail: djzrf68@ukr.net
ORCID: 0009-0009-3544-2734

Наталя Третяк
кандидат економічних наук, доцент
провідний науковий співробітник
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
18013, вул. В. Чорновола, 164, Черкаси, Україна
e-mail: natali_m2008@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9457-2645

Анотація. Війна в Україні та світові військові конфлікти доводять, що та військова техніка яка бере участь у цих конфліктах є в переважній більшості броньованою. Вагому участь у проведені військових дій беруть Сухопутні війська, основу яких складають механізовані, мотопіхотні та танкові підрозділи, на озброєні яких знаходиться броньована техніка. Застосування броньованої техніки є основною частиною військових операцій, забезпечує захист та безпеку військових, а також сприяє у вирішенні завдань щодо подолання ворожого опору. В світі продовжується швидкий розвиток процесу створення нових та вдосконалення існуючих типів снарядів, боєприпасів для ураження броньованої техніки, це в свою чергу призводить до пошуку напрямів зміцнення існуючого бронезахисту броньованої техніки. Тому, метою даного дослідження є огляд та оцінка новітніх технічних рішень в галузі бронезахисту військової техніки з метою їх систематизації та надання рекомендацій щодо їх імплементації.

Основними методами досліджень є методи аналізу й синтезу, дедукції та індукції, а також методи експертного оцінювання.

Результати проведеного авторами статті аналізу засвідчують, що країни світу постійно працюють над вдосконаленням вже існуючих та над створенням нових зразків щодо

підвищення захисту військової техніки. Огляд новітніх розробок в галузі бронезахисту доводить, що одним із основних переваг створення інноваційних бронеелементів є поліпшення їх вагових характеристик. Модернізовані матеріали та конструкції забезпечують максимальний рівень захисту при мінімальній вазі і це дозволяє знизити вагу броньованої бойової військової техніки та заощадити використання палива. Створені інноваційні бронеелементи мають покращену ергономіку, що підвищує зручність їх використання особовим складом та дозволяє зменшити втому й стресові навантаження на особовий склад і як наслідок позитивно впливає на їх бойовий дух та безпеку життя.

Запропоновані види інноваційних бронеелементів, можуть бути використанні в бронюванні військової техніки, що гарантує більш високий рівень захисту проти куль та снарядів та мін, включаючи протитанкові засоби противника. Провідною метою інновацій в бронюванні військової техніки є зростання безпеки такої техніки, що призводить до переваг у веденні бою, збереженні життя особового складу та продовження терміну використання техніки. Впровадження таких технологій унеможливлює випадки руйнування техніки в разі підриву снарядів, ураження осколками та кулями.

У статті пропонується ознайомитися з новими інноваційними рішеннями іноземних компаній та вітчизняних підприємств щодо бронезахисту військової техніки.

Матеріали статті можуть бути корисними для розробників і виробників систем та зразків озброєння, а також науковцям і дослідникам в галузі національної безпеки та розвитку оборонної сфери держави.

Ключові слова: бронезахист, броня, броньована техніка, інноваційні матеріали для бронювання, Сухопутні війська.

Вступ (Introduction)

Виклики сьогодення та нинішня війна в Україні ставлять перед розробниками військової техніки нові завдання. Пріоритетними напрямками є створення систем озброєння, що здатні за рахунок якісної переваги забезпечити успішне виконання збройними силами України бойових завдань з можливістю нав'язування противнику, під час бойових дій, вигідних для себе форм і способів воєнного протиборства. Війна в Україні та світові військові конфлікти доводять, що та військова техніка яка бере участь у цих конфліктах є в переважній більшості броньованою. Вагому участь у проведені військових дій беруть Сухопутні війська, основу яких складають мотопіхотні та танкові бригади, на озброєні яких знаходиться броньована техніка. Броньована техніка використовується для проведення бойових операцій під час військових дій. Танки і бронетранспортери можуть бути використані для прориву ліній противника, знищення ворожих позицій і техніки, а також для захисту і руху військ на полі бою. Також, броньована техніка використовується для транспортування вантажів та пересування військ, окрім того бронетранспортери використовуються для перевезення поранених і надання екстреної медичної допомоги на полі бою. Для техніки і екіпажу необхідний надійний захист від куль, осколків снарядів, мін та протитанкових засобів. Створення інноваційних бронеелементів є надзвичайно важливою задачею, оскільки вони можуть значно покращити безпеку та ефективність захисту особового складу, військової техніки в ході виконання бойових завдань.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Питання бронезахисту військової техніки досліджувалися у наукових роботах ряду вітчизняних і закордонних авторів, а саме: у [3] виконано ґрунтовне дослідження технічних рішень щодо підвищення живучості автомобільної техніки збройних сил України; авторами [4] проведено дослідження конструктивних особливостей та ТТХ бойових броньованих машин типу MRAP; [9] проведено обґрунтування принципів формування перспективних типів бойових броньованих машин; [10] провели аналіз сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин; [12] проведено аналіз і обґрунтовано

рекомендації щодо вдосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння та військової техніки на основі дослідження графічної мережевої моделі. Колективом авторів китайської школи матеріалознавства та інженерії і національної ключової науково-технічної лабораторії Китаю здійснено дослідження багатошарових виробів бронезахисту [14], які побудовані на основі металевих покривних пластин карбіду кремнію від враження великогабарітного вольфраового снаряда; в роботі [17] розглянуті теоретичні основи матеріально-технічного забезпечення військ; авторами [18] розроблені і досліджені математичні моделі напружено-деформованого стану елементів бойових машин; в роботі [6] здійснено аналіз додаткового бронезахисту що застосовується до легкоброньованої техніки Збройних Сил України та іноземних держав.

Метою статі є огляд та оцінка новітніх технічних рішень в галузі бронезахисту військової техніки з метою їх систематизації та надання рекомендацій щодо їх імплементації.

Сучасна динаміка розвитку засобів ураження особового складу та військової техніки спонукала розробників до створення нових, більш стійких до вогневих уражень матеріалів, які можуть забезпечити виживання особового складу у військовому протистоянні, це призвело до появи чисельної кількості нових технологічних рішень, від звичайних сталевих плит до комплексів активного захисту.

Відомо, що найпростішим засобом гарантії захисту особового складу та елементів конструкції бойової машини є використання металевої броні. Історія підвищення рівня захисту матеріалів вказує на два способи її реалізації: збільшення товщини використаних бронеплит або зміною хімічного складу сплавів і їх конструкцій. Так, для зміцнення сталі використовували різні технології обробки сталевих деталей, зокрема цементацію, азотування, борирування та інші. З часом додалася методика підвищення рівня захисту шляхом комбінації вище наведених способів. Широко стали використовувати нові матеріали, зокрема кераміку, кевлар, тощо, почали створювати захисні вироби з поєднанням різних типів матеріалів. Детальне опрацювання існуючих рішень щодо інноваційних матеріалів, які використовуються для захисту броні військової техніки, дозволили систематизувати цю інформацію за видами та характеристикою (табл.1)

Таблиця 1. Вид та характеристики застосованих матеріалів для бронезахисту

Вид	Характеристика
Куленепробивне скло	Сендвіч - композит з флоат - скла та міжшарової плівки PVB - багатошарове поплавкове скло скріплене полівініловою бутиральною міжшаровою плівкою
	Сендвіч - композит з ламінованого скла та органічно прозорої пластини - багатошарове скло яке складається із шару органічної прозорої пластини та шару ламінованого скла які скріплені між собою поліуретановою плівкою
Куленепробивна сталева пластина	Броньована гарячекатана сталь із сплаву Cr2Ni2Mo, яка змінює твердість броньової пластини, регулюючи вміст вуглецю
Куленепробивна кераміка	Керамічна панель з глинозему яка скріплена алюмінієм або скляним волокном. Керамічні броньовані матеріали B4C, SiC, Si3N4.
Куленепробивне високоміцне скловолокно	Високоефективний композитний матеріал зі скловолокна S-2
Куленепроникне арамідне волокно	Штучне волокно, яке виробляють з полімеру поліпаразенуїламіда. Воно відоме своєю міцністю, стійкістю до зношування і хімічних речовин, а також високою термостійкістю.
Куленепробивне поліетиленове волокно	Композиційний матеріал з поліетиленового волокна надвисокої молекулярної маси з чудовими комплексними властивостями, які характеризуються високою міцністю, низьким подовженням та легший за воду

Джерело: розроблено авторами з урахуванням: Методики розрахунку інтегральних регіональних індексів економічного розвитку. Наказ Державного комітету статистики України № 114 (2003); Методики розрахунку рівня економічної безпеки України. Наказ Міністерства економіки України № 60 (2007); Методології інтегрального оцінювання рівня економічної безпеки України. Національний інститут стратегічних досліджень (2013); Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України. Наказ № 1277 (2003).

Вчені провідних країн світу знаходяться в постійному пошуку стосовно удосконалення існуючих матеріалів, які б задовольнили потреби у надійному захисті особового складу й техніки та мали оптимальну ціну і вагові показники. Фактично, на кожній виставці оборонної продукції демонструються нові технологічні досягнення у цій сфері. Так, на виставці в Стамбулі, турецька компанія Menatek Defense Technologies, яка вже близько 25 років займається питаннями бронювання техніки, представила нову багатошарову броню, призначену для підвищення ступеню захисту особового складу та військової техніки. Такий результат було досягнуто за рахунок впровадження нової технології ламінування, яка призводить до появи більш еластичного полімеру та напівжорсткої пластини, яка на 25% перевершує вимоги [2]. Створений на цій основі інноваційний продукт, а саме волокнистий бронематеріал забезпечує розсіювання ударної хвилі у тривимірній полімерній матриці. Новий полімер збільшує витягування волокна, яке відбувається через кумулятивний ефект, що дозволяє ефективно поглинати всі небезпечні фрагменти. Результати випробувань довели, що бронепластини здатні витримувати багаторазовий удар кулями різноманітного калібру, під різним кутом та швидкостями польоту.

Роботи з вдосконалення броні тривають і надалі, компанія - виробник перейшла до роботи над створенням нової броні з вищими вимогами до бронезахисту, Приміром, народжена нова технологія виробництва полотна, яке за своєю конструкцією нагадує бджолині соти, тобто купність елементів площею у кілька сантиметрів з комбінації різних матеріалів, які зменшують проникаючу силу боєприпасу перед потраплянням на базову броню, наприклад, військового транспортного засобу. Структура такого полотна складається з передньої броні, виконаної за принципом "бджолиних сот", опорної панелі, порожнього простору та базової броні транспортного засобу. Розроблене інноваційне полотно має більшу балістичну ефективність у порівнянні зі звичайними рішеннями, притаманна йому модульність дозволяє легко їх змінювати після атаки, адже вплив енергії у 100 кДж (типовий для загроз у рамках стандарту НАТО 4569) здатна елементарно зруйнувати цілісність пластин та вивести їх з ладу. Конструкція нових броньованих пластин на основі такої конструкції елементів дозволяє поглинати значну частину атакуючої енергії, решту енергії може поглинути кузов бронетехніки без фізичного руйнування. За попередніми оцінками компанії – виробника Menatek, запропонована технологія дозволяє зупинити вольфрамову кулю калібром 25 мм.

Оригінальний інноваційний продукт розробила німецька компанія Havel Metal Foam. Фахівцями підприємства у співпраці з Інститутом Фраунгофера (Берлін) (Fraunhofer Institute for machine tools and forming technology IWU) була розроблена унікальна технологія промислового виробництва композитної багатошарової броні, яка отримала назву Havel Lite®SAS. Це своєрідне поєднання, де зовнішні листи виготовлені зі сталі, а внутрішні наповнювачі зі спеціальної алюмінієвої піни. Така структура дозволяє поглинати енергію зовнішнього вибуху і забезпечувати захист особового складу, при цьому, замість сталі різної товщини та особливостей їх поєднання, можуть використовуватися й інші композитні матеріали. Ключовим елементом броні є спеціальна алюмінієва піна, яка формується при високій температурі шляхом роздування з маленького шматка матеріалу до потрібних розмірів. При цьому, технологія виробництва дозволяє поєднувати алюміній та сталь без використання додаткових склеючих речовин.

Ключовими перевагами створеної броні з використанням піни є зменшення ваги бронепластин на 25-30%, збільшення механічної міцності та підвищення ступеню захисту від впливу вибухової хвилі. Окремо слід акцентувати, що підвищується захист від осколків гранат, мін та снарядів. Однак, в поєднанні з високоміцною сталлю або керамічно-арамідним волокном, алюмінієва піна може бути використана для балістичного захисту. Потенційними сферами для застосування алюмінієвої піни є зміцнення захисту командних пунктів, казарм, бункерів та ангарів, військових контейнерів, а також протимінного захисту військової техніки та броньованих машин.

Компанією - виробником було проведено низку випробувань на міцність плити із застосуванням підриву гранати HG85 (155 г вибухової речовини), у результаті відбулась деформація плити на глибину 23 мм, при цьому всі уламки були затримані внутрішнім наповнювачем, на зворотній стороні плити не було виявлено жодних розривів. Схожі результати були отримані при випробуваннях з вибуху ручною гранатою DM51 (59 г вибухової речовини), відбулася деформація всієї панелі на глибину 15 мм, а на зворотній стороні не було також жодних ушкоджень. За даними компанії, алюмінієва піна відповідає протипожежним стандартам (DIN EN 45545-2) та стандартам вогнестійкості (E30 – DIN EN 13501-2, DIN EN 1363-1). Заявлена алюмінієва піна на 100% піддається переробленню й стримує вібрації, також можлива її подальша переробка: розпилювання, фрезеруванню та зварюванню.

У Швеції, в системі бронезахисту техніки, розроблена м'яка (шведська) броня (Saab Barracuda Soft Armor System). Конфігурація м'якої броні являє собою контейнер з листової сталі, в якій перебувають керамічні гранули у формі кульок, в якості кульок може використовуватися будь-який твердий матеріал. Внаслідок розльоту ударної хвилі по всьому простору контейнера, масив кульок здатний поглинати енергію вражаючого елемента, така конструкція може складатися з декількох контейнерів, з'єднаних між собою, і мати будь-яку форму. Однак, недоліками цієї системи можна відзначити вагому масу й габарити.

У сучасних бойових умовах, одним з результативних засобів враження броньованих машини є бронебійні кулі калібру 7,62–14,5 мм. Забезпечення захисту броньованих машини від бронебійних куль вимагає значного збільшення товщини броні, з метою зменшення маси застосовують різні конструктивні рішення, одним із яких є застосування перфорованого та рознесеного бронювання.

Над рішенням цієї проблеми працюють вітчизняні розробники та конструктори, так науковцями Національного наукового центру "Харківський фізико-технічний інститут" та Національної академії Національної гвардії України разом з конструкторами ДП "ХКБМ ім. О. О. Морозова" розроблені зразки перфорованих елементів бронезахисту, які встановлюються на корпус бронетехніки. В якості додаткового захисту використовуються біметалічні перфоровані листи, які встановлюються на броню у визначеній відстані від корпусу технічного засобу.

У 2018 році представлено нову керамо-полімерну композитну броню, яку винайшло Українське підприємство ДП "СЗТФ ПРОГРЕС" і яка вже реалізується для потреб Збройних Сил України та експортується за кордон. Система бронезахисту на основі керамічних бронепанелей є модульною, тому за потребою є можливість проведення як повного, так і часткового бронювання бойової машини, без внесення змін у її конструкцію.

Бронепанелі мають макропрошарове компонування і складаються з дискретного керамічного прошарку, який розміщується у високоміцній полімерній матриці та текстильно-полімерного затримуючого прошарку. Додатково бронепанелі забезпечуються підкладкою з надвисокомолекулярного поліетилену, такий вид броні легко замінити на нові в польових умовах, тобто екіпаж бронемашини спроможний власними силами та за короткий термін замінити пошкоджені бронепанелі на нові. Розробники бронепанелей впевнені, що запропонований інноваційний продукт здатний забезпечити надійний захист легкоброньованої техніки від високоенергетичних динамічних навантажень.

Компанія IBD Deisenroth Engineering розробила прозору керамічну броню, яку можна зіставити за характеристиками з непрозорими зразками. Вага новітньої керамічної броні у порівнянні з бронесклом є меншою на 70% та має властивості витримувати множинні проникнення куль в одну ціль. Така розробка є побічним продуктом створення ряду бронекераміки IBD NANOTech. У процесі розроблювання компанія створила технології, що дозволяють склеювати мозаїку великої площі з дрібних бронеелементів (технологія Mosaic Transparent Armour), а також ламінувати склеювання зміцнюючими підкладками із фірмових нановолокон Natural NANO-Fibre, такий підхід дає можливість виготовляти міцні прозорі бронепанелі, які значно легші за традиційні, зокрема із загартованого скла.

Новий тип бронезахисту розробила компанія Ceradyne Inc, що має назву “рідка броня”. Цей продукт дозволяє захищати будь-які ділянки тіла та може приймати форму тіла, не втрачаючи при цьому своїх захисних властивостей. Ефект підвищеного захисту досягається завдяки спеціальному пакету з кевлару, наповненому розчином надтвердих наночастинок в рідині, що не випаровується. В разі здійснення механічного тиску високої енергії на кевларову оболонку, наночастинки збираються в кластери, змінюючи при цьому структуру розчину рідини, який перетворюється на твердий композит. Цей фазовий перехід відбувається менш ніж за мілісекунду, що дозволяє захистити бійця не тільки від ножового удару, але і від кулі або осколків. При звичайній експлуатації (в області низьких енергій) броня поводиться як звичайна рідина, що дозволяє наповнити нею кевларову оболонку захисної “сорочки” або “жилетки”. Розробкою захисту на основі такої рідини проводили різні компанії та у різний час. Британське відділення BAE Systems представило працюючий зразок: пакети зі спеціальним гелем Shear Thickening Liquid, або кулестійким кремом, які мали приблизно такі ж показники захисту, що і 30-прошарковий кевларовий бронежилет.

Результати і обговорення (Results and Discussions)

Реєстр інноваційних розробок в галузі бронезахисту наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.Інноваційні розробки в галузі бронезахисту

Інноваційний продукт	Розробник	Основні характеристики
Багатошарова броня на основі ламінування	Menatek Defense Technologies Туреччина	Створений волокнистий бронематеріал, що забезпечує розсіювання ударної хвилі у тривимірній полімерній матриці
Композитна багатошарова броня	Havel Metal Foam, Німеччина	Ключовим елементом броні є спеціальна алюмінієва піна, яка формується при високій температурі шляхом роздування з маленького шматка до потрібних розмірів
М’яка (шведська) броня	Saab Barracuda Soft Armor System, Швеція	Конфігурація м’якої броні являє собою контейнер з листової сталі, в якій перебувають керамічні гранули у формі кульок
Перфоровані елементи бронезахисту	Національного наукового центру “Харківський фізико-технічний інститут”, Україна	В якості додаткового захисту використовуються біметалічні перфоровані листи, які встановлюються на броню у визначеній відстані від основного корпусу броні
Керамо-полімерна композитна броня	ДП “СЗТФ ПРОГРЕС”, Україна	Бронепанелі мають макропрошарове компонування і складаються з дискретного керамічного прошарку, який розміщується у високоміцній полімерній матриці та текстильно-полімерного затримуючого прошарку
Прозора керамічна броня	IBD Deisenroth Engineering, Німеччина	Вага новітньої керамічної броні у порівнянні з бронесклом є меншою на 70% та має властивості витримувати множинні попадання куль в одну ціль
Рідка броня	Ceradyne Inc, США	Створений спеціальний пакет з кевлару, наповнений розчином надтвердих наночастинок в рідині, що не випаровується. В разі здійснення механічного тиску високої енергії на кевларову оболонку, наночастинки збираються в кластери, змінюючи при цьому структуру розчину рідини, який перетворюється на твердий композит менше ніж за 1 мілісекунду.

Джерело: власна розробка авторів.

Колективом авторів китайської школи матеріалознавства та інженерії і національної ключової науково-технічної лабораторії Китаю [14] проведені дослідження багатошарових виробів бронезахисту, які побудовані на основі металевих покривних пластин карбіду кремнію від враження снаряду з вольфрамовим осердям (рис. 1).

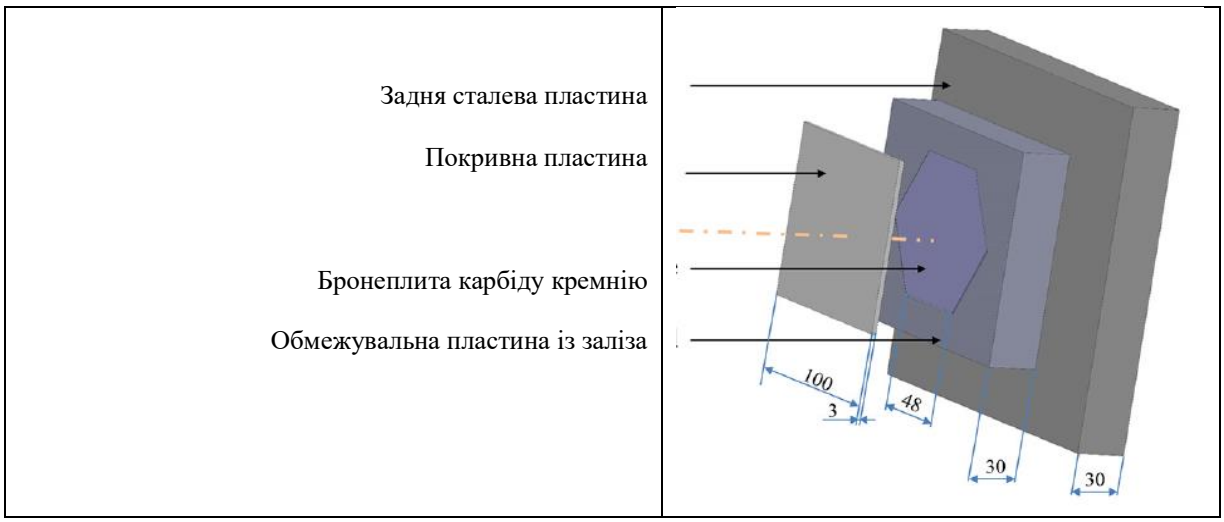


Рисунок 1. Структурна схема бронезахисту зразків військової техніки і людей.

Джерело: опрацьовано авторами на основі [14].

Представлена схема бронезахисту складається з чотирьох товщ захисту, зокрема: задня сталева пластина, покривна пластина, бронеплита карбіду кремнію та обмежувальна залізна плита.

Структура бронезахисту конструктивно включає багатошарову конструкцію з різних матеріалів, а саме: сталевих пластин (вуглецевих, високолегованих, м´яких), алюмінієвих сплавів, мідних сплавів, титанових сплавів, композиційних матеріалів типу W, SiC, RHH, кевлар, UHMPE , карбонату, капрону та ін. Результати експерименту наведені у таблиці 3.

Таблиця 3. Результати експерименту стрільб снарядів по керамічній мішені з різними варіантами її покриття

Матеріали	Швидкість вольфрамового снаряда, м/с	Залишкова DOP, мм	Середнє значення, мм	Залишкова маса, g
Без обкладинки	1234	8	9,3	-
Алюмінієвий сплав	1266	8	1,4	42,6
М´яка сталь	1261	2	4,8	40,9
Мідний сплав	1247	8,32	3,5	38,0

Джерело: створено авторами на основі даних [14], [15].

Експерименти проводилися з різними варіантами мішеней, а саме: без покриття і з покриттям мішені різними пластинами виготовленими з алюмінієвого сплаву , з м'якої сталі і з мідного сплаву. Порівняльні результати показали, що балістичні характеристики зі зміною покриття перед керамічною пластиною різні. З використанням пластин з алюмінієвими сплавами залишкова глибина не перевищувала 1,4 мм. Результати практичних випробувань багатошарових виробів приведено на рисунку 2.

Випробування проводилися з використанням різних матеріалів, їх результатами є: а) без додаткової пластини (покриття) - діаметр руйнування 30 мм, б) з пластиною з алюмінієвого сплаву - діаметр руйнування 17 мм, в) з пластиною з м´якої сталі - діаметр руйнування 25 мм , с) з пластиною з мідного сплаву - діаметр руйнування 23 мм.

Аналіз літературних джерел щодо проектування виробів і систем захисту броньованої техніки дозволив згрупувати основні матеріали, які використовуються при конструюванні виробів бронезахисту броньованих машин за їх властивостями та характеристиками (табл.4).

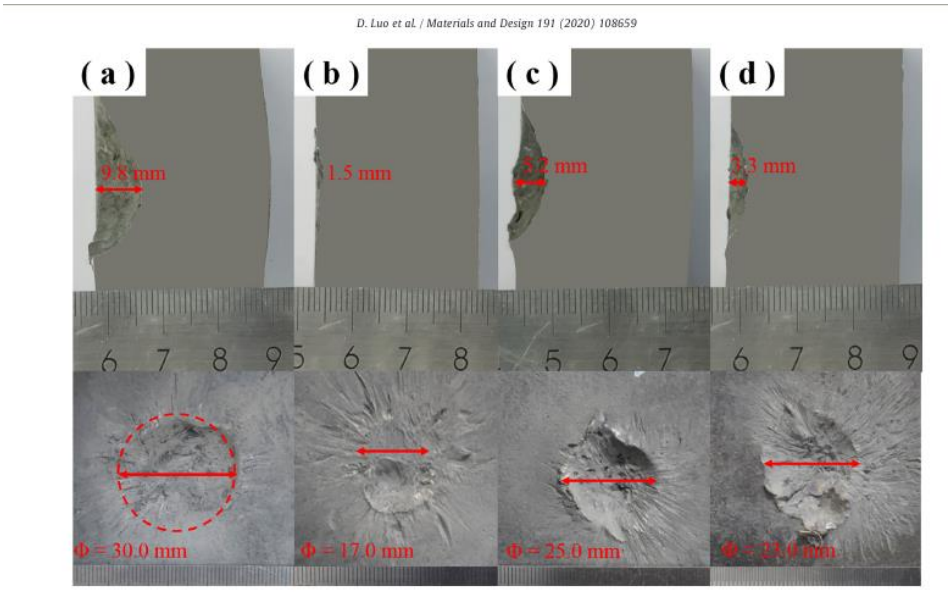


Рисунок 2. Результати випробувань бронеплити з використанням додаткових пластин з різних матеріалів.

Таблиця 4. Механічні властивості і технічні характеристики матеріалів для конструювання бронезахисних виробів

Вид матеріалу	Модуль подовжної напруги Е-кгс/см^2	Модуль зсуву G- кгс/см^2	Коефіцієнт Пуассона μ	Щільність Р-г/см^2	Гранична міцність σ/ГПа	Твердість за Брінелю НВ-кгс/мм^2	Питома вага Г /см^2
1. Сталь вуглецева	(2,0-2,1)*10^6	8,1*10^5	0,24-0,28	-	-	-	
2.Сталь легирована	2,1*10^6	8,1*10^5	0,25-0,30				
3.Алюмінієвий сплав	(0,7-0,77)*10^6	2,7*10^4	0,32	2,7	235	72	
4.М'яка сталь	0,77*10^6			7,83	420 ГПа	136	
5 Мідний сплав	1,15				384 ГПа	120	
6.Титан ВТ1-ВТ5			0,3	4,52-4,40			
7. Капрон	(1,4-2,0)*10^4						
Материал W	383	160	0,2	17.8 кг*м^3			
SiC	441	183.8	0,18	316 кг*м^3			
RHH	203	77	0,32	783 кг*м^3			
Вуглець SYT495-3	169,49		0,28				1,8
Кевлар 49	90,4		0,36			0,47	1,44
UHMPE SK75, DSM	87,72		0,2	8,56			0,97

Джерело: власна розробка авторів.

Аналіз розвитку систем захисту броньованих машин проходить постійно і у високій залежності від рівня розробки видів ураження бронетехніки на полі бою, оскільки кожна сторона намагається знищити один одного. В ході дослідження з'ясовано, що розробники та

користувачі броньованих машин, окрім основних елементів захисту застосовують додаткові елементи захисту. Додатковими елементами захисту є:

Покращена броня: перші танки були захищені від вогнепальної зброї в основному за допомогою сталевої броні. Проте, з часом, ця броня вдосконалювалася, щоб стати більш стійкою проти нових типів снарядів. Вдосконаленням були бронепластини з покращеними характеристиками проникнення, які здатні краще витримувати уражувальну дію пострілу.

Реактивні бронепанелі: ця технологія використовується для захисту проти кумулятивних снарядів, які вибухають від влучення снаряду, руйнуючи його кумулятивний струмінь та зменшуючи його ефективність.

Складні багатошарові бронепанелі: сучасна броня часто складається з декількох шарів різних матеріалів, таких як кераміка, сталь та композитні матеріали. Це дозволяє забезпечити більш ефективний захист від різних типів куль та снарядів і підвищує загальну міцність броні.

Активний захист: сучасні танки використовують системи активного захисту, які включають в себе датчики та реактивні системи. Ці системи виявляють наближення протитанкових снарядів та за допомогою ударної хвилі зменшують їх уражувальну дію на броню танку.

Інфрачервоні захисні системи: являють собою комплекс електронно-оптичного активного захисту від високоточної зброї, що попереджає екіпаж танку про наведення та застосування лазерних прицілів – дальномірів, атакуючих ПТС, ПТКР ворога. Цей комплекс розроблений для збою роботи системи лазерного наведення противника шляхом автоматичної постановки маскуючої завіси та оповіщення членів екіпажу (світлової та звукової індикації).

Розвиток пасивного захисту бронетехніки є постійним процесом, який відбувається відповідно до еволюції військових технологій та загроз. Військові розробники постійно шукають нові способи покращення броні, щоб забезпечити максимальний рівень захисту для танків та інших бронетехніки.

Висновок (Conclusion)

Дослідження сучасних інноваційних розробок в галузі бронезахисту, дозволяють зробити висновок, що країни світу постійно працюють над вдосконаленням вже існуючих та над створенням нових зразків щодо підвищення захисту особового складу та військової техніки. Здійснено огляд новітніх розробок в галузі бронезахисту, який доводить, що одним із основних переваг створення інноваційних бронеелементів є підвищення їх захисних (непробивних) та зменшення вагових характеристик за рахунок інноваційних матеріалів і пошуку нових конструкцій. Модернізовані матеріали та конструкції забезпечують максимальний рівень захисту при мінімальній вазі, що дозволяє знизити вагу броньованої бойової військової техніки, що в свою чергу призведе до економії споживання палива. Крім того, інноваційні бронеелементи мають покращену ергономіку, яка підвищує зручність їх використання особовим складом та дозволяє зменшити втому й стресові навантаження на особовий склад, і як наслідок позитивно впливає на їх бойовий дух та безпеку життя. Таким чином, інновації в створенні бронеелементів мають дуже вагому значимість у поліпшенні безпеки та ефективності захисту особового складу та військової техніки.

Запропоновані види інноваційних бронеелементів, можуть бути використанні в бронюванні військової техніки, що гарантує більш високий рівень захисту проти куль та снарядів противника. Провідною метою інновацій в бронюванні військової техніки є підвищення безпеки такої техніки, що призводить до переваг у веденні бою, збереженні життя особового складу та продовження терміну використання техніки. Впровадження таких технологій унеможливлює випадки руйнування техніки в разі її підриву, ураження снарядом, осколками та кулями.

Рекомендації (Recommendations)

Імплементація інновацій стосовно бронювання військової техніки сприятиме скороченню безповоротних бойових втрат військових і техніки та сприятиме підвищенню ефективності бойових спроможностей підрозділів Збройних Сил України.

Використані джерела (References)

1. Andrei (n.d.). Materialy ta tekhnolohii bronezakhystu nadiahaiut bronetransportery dlia viiskovoi tekhniky. [Armor protection materials and technologies worn by military equipment armoured personnel carriers]. *Defense Express*. http://btvt.info/4ourarticles/armor_future/edz.htm.
2. NATO Standardization Agency. (2014). Armament and military equipment protection and support. The procedures of the armoured vehicles protection level assessment. Kinetic and conventional artillery munitions attack threat. *STANAG 4546*, 138.
3. Kovba, R.M., Rii, V.B. (2020). Obgruntuvannia tekhnichnykh rishen shchodo pidvyshchennia zhyvuchosti avtomobilnoi tekhniky zbroinykh syl Ukrainy [Justification of technical solutions for increasing the survivability of the military vehicle equipment of the Armed Forces of Ukraine]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. *Zbirnyk naukovykh prats*. National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.054.
4. Hrubel, M.H., Kraynyk, L.V., Khomenko, V.P. (2018). Doslidzhennia konstruktyvnykh osoblyvostei ta TTKh boiovykh bronovanykh mashyn typu MRAP [The study of the design features and technical specifications (TTS) of MRAP-type armored fighting vehicles]. *Ukrainian Military Pages*. https://www.ukrmilitary.com/2018/05/mrap.html.
5. Bronia mitsna: evoliutsiia vyrobnytstva bronovoi stali [Hard Armour: The evolution of the armoured steel production]. (2021). Metinvest. https://metinvestholding.com/ua/media/news/bronya-krepka-evolyuciya-proizvodstva-bronevoj-stali.
6. Podryhalo M. A. (2022). Analiz dodatkovoho bronezakhystu lehkobronovanoi tekhniky Zbroinykh Syl Ukrainy ta inozemnykh derzhav [The additional armour analysis of analysis of the light armoured vehicles of the Armed Forces of Ukraine and foreign countries]. *Journal of Mechanical Engineering and Transport, 14*(2). https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-89-96.
7. Rosiia postachaie na Donbas novitniu zbroiu, shcho probyvaie bud-yaki bronezhylety [Russia supplies Donbas with new weapons that penetrates any bulletproof vests] (n.d.). Ukrinform.
8. Defence IQ (2016, January 25-28). *Global armoured vehicles market report 2016* [Conference report]. International Armoured Vehicles. http://cdn.base.parameter1.com/files/base/acbm/ooh/document/2015/11/Global_Armoured_Vehicles_Market_Report_2016.pdf.
9. Kuprinenko, O. M. (2012). Obgruntuvannia pryntsypiv formuvannia perspektyvnykh typiv boiovykh bronovanykh mashyn [Formation principles justification of the perspective armoured combat vehicles types]. *Systemy Ozbroiennia i Viiskova Tekhnika, 4*(32).
10. Bisyk, S. P., Boiko, H. O. (2014). Deiaki dani suchasnoho stanu y tendentsii rozvytku kolisnykh boiovykh bronovanykh mashyn [Some data about the armoured combat vehicles current state and development trends]. *Ozbroiennia ta Viiskova Tekhnika: Quarterly scientific and technical journal, 3*(3). The Central Research Institute of the Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine.
11. Zeleniah, O. (2020). Obgruntuvannia napriamkiv pidvyshchennia tekhnichnykh kharakterystyk boiovykh bronovanykh mashyn [Justification of the increase directions of armoured combat vehicles characteristics]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats*. National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic».
12. Kopashynskyi, S. (2020). Obgruntuvannia rekomendatsii shchodo vdoskonalennia funktsionuvannia systemy vidnovlennia bronetankovoho ozbroiennia y viiskovoi tekhniky na

osnovi doslidzhennia hrafichnoi merezhevoi modeli. [Justification of the recommendations on the renewal system functional advancement of the armoured and tank armament and military equipment based on the graphical network model research]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats*. National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic».

13. Anuryyev, V.I. (1980). Spravochnik konstruktora mashinostroityelya [Mechanic Engineer's Handbook]. *Mashinostroeniya*, 728.
14. Luo, D., Wang, Y., Wang, F., Cheng, H., Zhang, B., & Zhu, Y. (2023). The influence of metal cover plates on ballistic performance of silicon carbide subjected to large-scale tungsten projectile. *Materials and Design, 191*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127520301933?via%3Dihub.
15. Li, Zh., Xue, Y., Sun, B., & Gu, B. (2023). Ballistic penetration damages of hybrid plain-woven laminates with carbon, Kevlar and UHMWPE fibers in different stacking sequences. *Defence Technology, 26*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914722001507?via%3Dihub.
16. Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution of Jul 26, 2018, #591 "Pro vnesennia zmin do Poriadku vidnovlennia, remontu, modernizatsii, zbilshennia ustanovlenoho resursu ta prodovzhennia stroku sluzhby (zberihannia) ozbroiennia, viiskovoi i spetsialnoi tekhniky [On Amendments to the Procedure for the Restoration, Repair, Modernization, Increase of the Established Resource, and Extension of the Service Life (Storage) of Armament, Military and Special Equipment]." https://ips.ligazakon.net/document/view/KP180591.
17. Shuienkin, V.O., Zakusylo, P.S., & Khazanovych, O.I. (2010) Teoretychni osnovy materialno-tekhnichnoho zabezpechennia viisk (syl) [The theorethical foundations of the troops'(Forces') material and technical support]. *Learning handbook.* The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine.
18. Tkachuk, M.A., Khlan, O.V., Hrabovskyi, A.V., Zavorotnii, A.V., Vetelnyk, O.V., Holovin, A.M., & Cherkashyn, A.O. (2018). Matematychni modeli napruzheno-deformovanoho stanu elementiv boiovykh mashyn ta tekhnolohichnykh system dlia yikh vyhotovlennia. [Mathematical models of the stressed-deformed state of elements of combat vehicles and technological systems for their production]. The bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute." http://library.kpi.harkov.ua.
19. Poliakov, A. P., Khazanovych, O. I., Chepak, O. H. (2004). Metodyka planuvannia tekhnichnoho obsluhovuvannia bronetankovoho ozbroiennia i tekhniky [Methodology for Planning the Maintenance of Armored and Tank Armament and Equipment]. Trudy akademii [Works of the academy]: Kyiv.
20. Abtew MA, Boussu F, Bruniaux P, Loghin, K., Cristian, I., Chen, Y., & Wang, L. (2021). Ballistic impact performance and surface failure mechanisms of two-dimensional and three-dimensional woven p-aramid multi-layer fabrics for lightweight women ballistic vest applications. *Journal of Industrial Textiles, 50*(9):1351-1383. doi:10.1177/1528083719862883.
21. Safri, S., Sultan, M., Jawaid, M., & Jayakrishna, K. (2018). Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review. *Composites Part B: Engineering, 133*. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.008.
22. Zukas, J., & Scheffler, D. (2001). Impact effects in multilayered plates. *International Journal of Solids and Structures, 38*(19). https://doi.org/10.1016/S0020-7683(00)00260-2.
23. Palta, E., Gutowski, M., & Fang, H. (2018). A numerical study of steel and hybrid armor plates under ballistic impacts. *International Journal of Solids and Structures, 136-137*. https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2017.12.021.
24. Karthikeyan, K., Russel, B., Fleck, N., Wadley, H., & Deshpande, V. (2013). The effect of shear strength on the ballistic response of laminated composite plates. *European Journal of Mechanics - A/Solids, 42*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0997753813000454.

25. Chu, T., Minh, C., & Imad, A. (2016). A numerical investigation of the influence of yarn mechanical and physical properties on the ballistic impact behavior of a Kevlar KM2® woven fabric. *Composites Part B Engineering, 95*. DOI:10.1016/j.compositesb.2016.03.018.
26. Bandaru, A., Vetiyatil, L., & Ahmad, S. (2015). The effect of hybridization on the ballistic impact behavior of hybrid composite armors. *Composites Part B: Engineering, 76*. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.012.
27. Mousavi, M., & Khoramishad, H. (2020). Investigation of energy absorption in hybridized fiber-reinforced polymer composites under high-velocity impact loading. *International Journal of Impact Engineering, 146*. https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103692.