

DOI 10.33099/2618-1614-2022-20-3-4-47-52

УДК 623.445.1

В. В. Саковець,*ад'юнкт науково-методичного центру організації наукової та науково-технічної діяльності, Національний університет оборони України, полковник,***А. А. Ревуцький,***старший науковий співробітник науково-дослідного центру випробувань, експертизи та сертифікації персональних броньованих засобів захисту, Національний університет оборони України, підполковник*

Перспективи використання гібридних м'яких бронееlementів для виготовлення індивідуальних засобів бронезахисту військовослужбовців Збройних Сил України

Метою проведеного дослідження є аналіз перспектив використання гібридних м'яких бронееlementів, виготовлених шляхом комбінації шарів тканих і нетканих параарамідних матеріалів, для виготовлення індивідуальних засобів бронезахисту військовослужбовців Збройних Сил України. Практична значущість дослідження полягає у відпрацюванні практичних рекомендацій за варіантами комбінації шарів тканих і нетканих параарамідних матеріалів, що дало би змогу здешевити виробництво м'яких бронееlementів, зменшити кількість сировини, яка використовується для їхнього виготовлення, а також зменшити їхні вагові характеристики за збереження характеристик балістичної стійкості. Результатом дослідження є відпрацювання практичних пропозицій для використання національними виробниками засобів індивідуального захисту для розгортання дослідного виробництва гібридних м'яких бронееlementів з покращеними експлуатаційними і тактико-технічними характеристиками.

Ключові слова: ткані параарамідні матеріали, неткани параарамідні матеріали, комбінація шарів, тактико-технічні характеристики, балістична стійкість, заперешкодна деформація.

© В. В. Саковець, А. А. Ревуцький, 2022

Згідно з відкритими аналітичними даними американсько-індійської компанії з консалтингу та дослідження ринку Grand View Research, станом на 2019 р. у першій трійці глобального ринку матеріалів, які використовуються для виготовлення індивідуальних засобів бронезахисту від балістичних загроз, перебувають: композитна кераміка (перше місце), арамідні (друге місце), надвисокомолекулярні поліетилену (третє місце) [1]. За даними [2] тієї самої компанії, станом на 2021 р. арамідні волокна, що застосовуються в сегменті безпеки та захисту, займають загалом 36,5% глобального ринку арамідів і посідають першу сходинку рейтингу. Слід зауважити, що ринок арамідів, представлений в аналітичних звітах компанії Grand View Research, до 2030 р. прогнозовано зростатиме на 5,3% щороку. При цьому для виготовлення засобів індивідуального бронезахисту здебільшого використовуються два види параарамідних матеріалів, зокрема ткани та неткани [3].

Аналіз даних відкритих наукометричних баз Google Scholar, Scopus, Web of Science тощо свідчить про те, що науковою спільнотою по всьому світу активно досліджувалися ткани параарамідні матеріали (англ. para-aramid fabrics, скорочено PA fabrics). Крім того, в наукових працях третього тисячоліття поступово зростала роль дослідження матеріалів на основі надвисокомолекулярного поліетилену. Здебільшого матеріали з надвисокомолекулярного поліетилену, що використовується для виготовлення засобів індивідуального бронезахисту, виготовляються методом ламінації шарів однонаправлених нетканих матеріалів з надвисокомолекулярного поліетилену (англ. uni-directional ultra-high-molecular-weight polyethylene laminates, скорочено – UD UHMWPE laminates). При цьому сучасний ринок індивідуальних засобів бронезахисту активно споживає як сировину для виробництва м'яких бронееlementів матеріали, виготовлені методом ламінації параарамідних нетканих матеріалів (англ. uni-directional para-aramid laminates, скорочено – UD aramid laminates) [4–6]. Також варто зауважити, що згадані вище наукометричні бази містять інформацію про дослідження гібридних м'яких бронееlementів, виготовлених шляхом комбінації тканих параарамідних матеріалів (далі – параарамідні тканини) та ламінатів на основі однонаправлених нетканих матеріалів з надвисокомолекулярного поліетилену [7].

Поштовхом до проведення досліджень був здобутий упродовж 2022 р. практичний досвід проведення науково-випробувальним відділом Національного університету оборони України (далі – відділ) низки досліджень та випробувань матеріалів для виготовлення засобів індивідуального бронезахисту. Так, зважаючи на збройну агресію РФ проти України, значно зросла кількість балістичних випробувань, проведених відділом в інтересах Сил оборони, комерційних та благодійних організацій у 2022 р. (у шість разів порівняно з 2021 р.). Не менш важливим фактором, що спонукав авторів до пошуку

нових рішень, стало бажання поліпшити характеристики індивідуальних засобів бронезахисту, які перебувають на забезпеченні військовослужбовців Збройних Сил України.

Тож автори, базуючись на знанні фізико-механічних показників тканих і нетканих параарамідних матеріалів, висунули гіпотезу про можливість застосування гібридних м'яких бронееlementів, вироблених шляхом комбінації параарамідних тканин, та матеріалів, виготовлених методом ламінації параарамідних нетканих матеріалів (далі – UD параарамідні ламінати), у засобах індивідуального захисту військового призначення.

Варто зауважити, що гіпотеза авторів дослідження мала не лише теоретичне підґрунтя, а базувалася також на частковому підтвердженні, одержаному під час аналізу згаданих раніше наукометричних баз, зокрема публікації [8] про проведення схожих досліджень щодо використання гібридних параарамідних м'яких бронееlementів та інших публікацій за цією темою.

Згадана наукова праця [8] містить інформацію про дослідження кульової стійкості гібридних м'яких бронееlementів, виготовлених шляхом комбінації параарамідних тканин та UD параарамідних ламінатів, проте під час досліджень було застосовано методика й засоби ураження, визначені національним стандартом США для правоохоронних органів, а саме стандарт Національного інституту юстиції США – NIJ Standard 0101.06 [9], та засоби ураження, передбачені II рівнем згідно із цим стандартом, а саме кулі калібру 9 мм¹ FMJ RN заданою масою 8,0 г і швидкістю 398 м/с ± 9,1 м/с. Слід також зауважити, що засоби ураження, застосовані в дослідженні, мають м'яке свинцеве осердя і високий зупиняючий ефект, що більше актуально для працівників правоохоронних органів, тоді як засоби ураження військового призначення мають вищу проникаючу здатність і здебільшого виготовляються з твердим осердям. Крім того, допустима заперешкодна деформація, передбачена NIJ Standard 0101.06, на 19 мм перевищує величини заперешкодної деформації, передбачені військовим стандартом Міністерства оборони України ВСТ 01.301.010 [10]. Таким чином, дані наведених вище досліджень мають практичну значущість для науковців і виробників, які працюють за напрямом розробки й виготовлення індивідуальних засобів бронезахисту для правоохоронних органів, тоді як аналогічні засоби військового призначення мають низку специфічних вимог до балістичної стійкості.

До вимог балістичної стійкості індивідуальних засобів бронезахисту військового призначення слід віднести здатність м'яких бронееlementів зупинити кулі зі сталевим осердям, випущеної зі штатної короткоствольної вогнепальної зброї, при величині заперешкодної деформації до 25 мм, а також відповідно до вимог стандарту НАТО AEP 2920 [11] зупинити осколковий імітатор, що

запускається з піддону класу F5 вагою 1,102 г і швидкістю не менше 450 м/с.

Постановка завдання. Виходячи з відсутності досліджень поведінки гібридних м'яких бронееlementів, виготовлених шляхом комбінації параарамідних тканин та UD параарамідних ламінатів, під час ураження їх кулями зі сталевим осердям, а також осколками ручних гранат, мін та снарядів існувала потреба в проведенні таких наукових досліджень з метою аналізу перспектив їх застосування під час виготовлення індивідуальних засобів бронезахисту військовослужбовців Збройних Сил України, що дало би змогу знизити витрати на виробництво, нівелювати дефіцит параарамідних тканин і знизити вагові характеристики м'яких бронееlementів у системах індивідуальних засобів бронезахисту. Похідним завданням дослідження є надання практичних рекомендацій вітчизняним виробникам індивідуального бронезахисту.

Об'єктом дослідження визначено балістичну стійкість гібридних бронееlementів, виготовлених шляхом комбінації параарамідних тканин та UD параарамідних ламінатів, а предметом – залежність балістичної стійкості таких бронееlementів від комбінування шарів параарамідних тканин та UD параарамідних ламінатів під час влучання засобів ураження військового призначення.

В основу гіпотези про можливість використання параарамідних тканин та UD параарамідних ламінатів було покладено їхню будову та механіку взаємодії із засобом ураження (кулею та/або осколком). Відмінності будови параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату зображені на *рисунках 1 та 2*.

Параарамідна тканина, що використовується для виготовлення м'яких бронееlementів, виготовляється з пряжі основи (повздовжний напрямок) та утку (поперечний напрямок), що певним чином переплітаються, утворюючи єдину ткану структуру. Пряжа, у свою чергу, виготовляється з мультифіламентних параарамідних ниток.

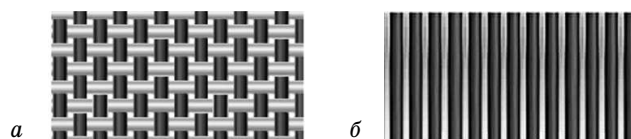


Рис. 1. Схема будова одного шару параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату: а) параарамідна тканина; б) UD параарамідний ламінат

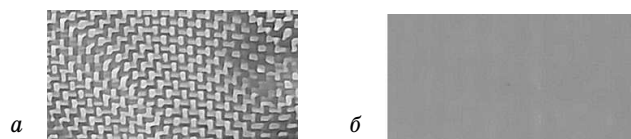


Рис. 2. Зовнішній вигляд одного шару параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату: а) параарамідна тканина; б) UD параарамідний ламінат

¹ Згідно з класифікацією С.І.Р. (Постійної міжнародної комісії з випробування стрілецької зброї).

UD параарамідний ламінат виготовляється шляхом нанесення на ламінат (тонку полімерну плівку) тонкого шару філаментів, котрий потім фіксується новим шаром ламінату, утворюючи однорідну тонку площину матеріалу, на який аналогічним методом наноситься під кутом (як правило 90°) новий тонкий шар філаментів. Таким чином здійснюється почергове ламінування шарів параарамідних філаментів до моменту досягнення необхідної щільності матеріалу.

Як зрозуміло з опису будови параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату, механіка взаємодії високоенергійного ударника із цими текстильними матеріалами відрізнятиметься. Науковцями достатньо широко розкриті питання аналізу розподілу енергії ударника під час зустрічі з тканинами та однонаправленими нетканими матеріалами, зокрема в працях науковців Університету штату Канзас [12], Університету Манчестера [13–14] тощо.

На підставі викладеного вище автори прийняли рішення про проведення досліджень у три етапи, що передбачали:

1. Визначення залежності кульової стійкості та величини заперешкодної деформації від комбінації шарів параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату.

2. Аналіз, узагальнення пропозицій з виготовлення, а також виготовлення дослідного м'якого пакета (не м'якого бронеелемента в готовому вигляді, а пакета матеріалів) з оптимальною комбінацією шарів параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату.

3. Визначення рівня стійкості дослідного м'якого пакета до дії осколків.

Методи дослідження. Для проведення досліджень були обрані матеріали (рис. 3):

а) тканина параарамідна виробництва Teijin®, поверхневою щільністю 200 г/м², артикул виробника СТ709;

б) UD параарамідний ламінат виробництва Teijin®, поверхневою щільністю 112 г/м², артикул виробника UD25.

Дослідження проводилися на базі науково-випробувального відділу Національного університету оборони України (атестат про акредитацію № 201470, виданий Національним агентством з акредитації України 26 травня 2022 р.).

Для дослідження на етапі 1 (дослідження кульової стійкості) були виготовлені дослідні зразки шириною 300 мм та довжиною 600 мм. Дослідні зразки тканин пакетів виготовлені шляхом формування окремих пакетів з 10 шарів тканини параарамідної, прострочених по периметру човниковим стібком, оброблених косою бейкою та прострочаних ромбовидно по площині пакета. Дослідні зразки ламінованих пакетів були виготовлені шляхом формування окремих пакетів по 8 шарів UD ламінату, прострочених по периметру човниковим стібком та оброблених косою бейкою.

Перед проведенням досліджень зразки витримувалися за середньої температури повітря 22°C, середньої

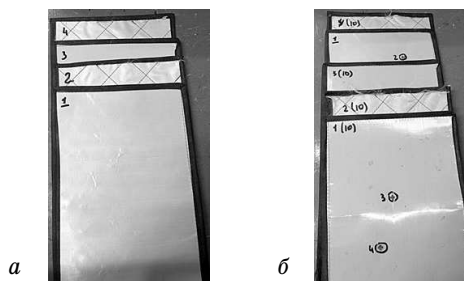


Рис. 3. Зовнішній вигляд пакетів параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату: а) до випробувань; б) у процесі випробувань

відносної вологості 67% та середнього атмосферного тиску 746 мм рт. ст. протягом 24 годин.

Дистанція обстрілу пакетів матеріалів становила 5 м, при цьому вимірювач швидкості польоту кулі розташовувався на відстані 2,5 м відносно зрізу балістичного ствола.

Під час досліджень використовувалися балістичні стволи калібрів 9x18 мм (П2004) та 9x19 мм (Л2004).

Як засоби ураження використовувалися набі 9x18 з кулею Пст, вироблені у 2002 р. Луганським патронним заводом, та кулі 9x19 FMJ RN SC, вироблені у 2019 р. Metallwerk Elisenhütte GmbH (MEN).

Вимірювання заперешкодної деформації здійснювалося з використанням коробки з підтримувальним матеріалом відповідно до пункту А.8 ДСТУ 8788 [15].

Для дослідження на етапі 2 (визначення рівня стійкості дослідного м'якого пакета до дії осколків) були виготовлені дослідні м'які балістичні пакети шириною 200 мм та довжиною 300 мм. Дослідні пакети матеріалів виготовлялися за технологією, аналогічною до технології, вказаної в етапі 1.

Перед проведенням досліджень осколкової стійкості дослідні зразки витримувалися за середньої температури повітря 21°C, середньої відносної вологості 68% та середнього атмосферного тиску 746 мм рт. ст. протягом 24 годин.

Дистанція обстрілу пакетів матеріалів становила 5 м, при цьому вимірювач швидкості польоту кулі розташовувався на відстані 2,5 м відносно зрізу балістичного ствола.

Для досліджень використовувалися балістичний ствол калібру 7,62x39 мм (КО000003).

Як засоби ураження використовувалися загальноприйняті снаряди типу «осколковий імітатор» форми зубила (FPS), що запускається з піддону класу F5 вагою 1,102 г, креслення С1.1 згідно з Додатком С АЕР 2920 (військового стандарту Міністерства оборони України ВСТ 01.301.003) [16].

Кожен із загальноприйнятих снарядів типу «осколковий імітатор» поміщався в піддон з термопластичного матеріалу, який монтувався замість кулі ПС у дульце гільзи набію 7,62x39 (індекс ЦРАУ 57-Н-231), виготовленої в 1952 р. Фрунзеньським машинобудівним заводом.

При цьому маса порохового заряду набою підбиралася відповідно до швидкості польоту

Для вимірювання V_{50} був використаний піноматеріал за розмірними ознаками та характеристиками, визначеними в пункті 4.6 АЕР 2920 (військового стандарту Міністерства оборони України ВСТ 01.301.003).

Визначення рівня осколкової стійкості здійснювалося відповідно до вимог пунктів 5.4.1, 5.6.1, 5.7.1, 5.8.1, 5.9, 5.10.1, 7.2 АЕР 2920 (військового стандарту Міністерства оборони України ВСТ 01.301.003).

Результати досліджень

На етапі 1 (дослідження кульової стійкості) кожен з варіантів комбінування шарів параарамідної тканини та UD параарамідного ламінату піддавався обстрілу з трьома заліковими влучаннями. Номер пострілу, характеристики засобу ураження, швидкість засобу ураження, кількість шарів текстильних матеріалів та їхня комбінація, величина заперешкодної деформації та наявність пробою наведені в таблиці 1.

У таблиці 1 у стовпчику «кількість шарів текстильних матеріалів та їхня комбінація» літера U позначає

однонаправлений параарамідний ламінат, літера W – тканину параарамідну, а цифра за дільником – кількість шарів відповідного матеріалу. Наприклад: «U/10» – пакет матеріалу з однонаправленого параарамідного ламінату в десяти шарах, або «W/8» – пакет матеріалу з тканини параарамідної у восьми шарах. «+» – графічний символ операції додавання наступного пакета матеріалу. Позначення пакетів матеріалів за формулою зліва направо відповідає їхньому розташуванню з фронтальної площини (лінія атаки) до тильної площини.

На етапі 2 на підставі наведених у таблиці 1 даних досліджень автори дійшли висновку, що оптимальною слід вважати конструкцію м'якого балістичного пакета, який складається із 16 шарів параарамідної тканини та 20 шарів UD параарамідного ламінату (див. постріли з 22 по 24 та їхню формулу). При цьому слід звернути увагу на розмірні ознаки досліджених зразків та на фактор того, що згідно із чинною національною системою вимог до засобів індивідуального захисту бронеелементи підлягають перевірці на балістичну стійкість у складі індивідуального засобу бронезахисту.

Таблиця 1

Дані, одержані під час дослідження

Постріл	Засіб ураження	Швидкість засобу ураження, м/с	Кількість шарів текстильних матеріалів та їхня комбінація, шт.	Величина заперешкодної деформації, мм	Наявність пробою	
№ 1	Балістичний ствол 9x18, набій 9x18 мм 57-N-181с з кулею Пст	328	U/10+U/10+W/8+W8	23	відсутній	
№ 2		333		24	відсутній	
№ 3		330		24	відсутній	
№ 4			338	W/8+U/10+U/10+W/8	35	відсутній
№ 5		336	34		відсутній	
№ 6		332	33		відсутній	
№ 7			335	W/8+U/10+W/8+U/10	15	відсутній
№ 8		332	14		відсутній	
№ 9		337	16		відсутній	
№ 10			333	W/8+W/8+U/10+U/10	11	відсутній
№ 11		335	11		відсутній	
№ 12		338	13		відсутній	
№ 13	Балістичний ствол 9x19, набій 9x19 мм, Luger з кулею FMJ RN SC	392	U/10+U/10+W/8+W8	39	відсутній	
№ 14		394		40	відсутній	
№ 15		398		44	відсутній	
№ 16			397	W/8+U/10+U/10+W/8	37	відсутній
№ 17		401	38		відсутній	
№ 18		402	38		відсутній	
№ 19			398	W/8+U/10+W/8+U/10	24	відсутній
№ 20		400	26		відсутній	
№ 21		403	27		відсутній	
№ 22			402	W/8+W/8+U/10+U/10	25	відсутній
№ 23		405	25		відсутній	
№ 24		407	26		відсутній	

Досвід балістичних випробувань, здобутий авторами свідчить, що величина заперешкодної деформації може суттєво залежати від конструкції індивідуального засобу бронезахисту, зокрема найбільше від наявності кліматико-амортизаційного підпору. Наявність кліматико-амортизаційного підпору здатна зменшити заперешкодну деформацію м'яких балістичних пакетів не менше ніж на 5 мм.

Таким чином для подальшого дослідження була сформована нова формула кількості шарів текстильних матеріалів та їхньої комбінації, яка попередньо допускала перевищення норми заперешкодної деформації у 25 мм на м'якому пакеті та яку в подальшому планується знизити шляхом опрацювання оптимальної конструкції кліматико-амортизаційного підпору потенційного індивідуального засобу бронезахисту.

У результаті для проведення етапу 3 досліджень запропоновано сформулювати м'який балістичний пакет на основі 15 шарів тканини параарамідної та 20 шарів UD параарамідного ламінату за такою формулою: $W/5+W/5+W/5+U/5+U/5+U/5+U/5$.

Дані, одержані під час проведення оцінювання V_{50} для м'якого балістичного пакету на основі 15 шарів тканини параарамідної та 20 шарів UD параарамідного ламінату формулою $W/5+W/5+W/5+U/5+U/5+U/5+U/5$, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Дані, одержані під час проведення оцінювання V_{50}

Постріл	Швидкість засобу ураження, м/с	Наявність пробій
№ 1	612	пробій
№ 2	582	не пробій
№ 3	613	пробій
№ 4	589	не пробій
№ 5	622	пробій
№ 6	588	не пробій

У подальшому проведено розрахунок V_{50} таким чином:

$$V_{50} = \frac{612 + 613 + 622 + 582 + 589 + 588}{6} = 601 \text{ м/с} .$$

Тобто для дослідного м'якого балістичного пакета шириною 200 мм та довжиною 300 мм V_{50} склала 601 м/с.

Базуючись на даних, одержаних у рамках цього дослідження, та даних аналогічних випробувань засобів індивідуального захисту і м'яких балістичних пакетів, раніше проведених науково-випробувальним відділом Національного університету оборони України, простежується, зокрема, середня залежність кульової та осколкової стійкості від типу матеріалів, а також кількості шарів таких матеріалів, наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Середня залежність кульової та осколкової стійкості від типу матеріалів, а також від кількості шарів

Матеріал	Тип матеріалу	Середня поверхнева щільність одного шару матеріалу, г/м ²	Кількість шарів матеріалу, шт.	Вага 1 м ² пакету, г	Клас кульової стійкості 8782	V_{50} , м/с
Параарамід	W	200	28	5600	1	610
НВПЕ	U	159	32	5088	1	580
Параарамід	W/ U	200/112	15/20	5240	1	601

Висновки

Отримані під час дослідження дані дають підстави стверджувати, що технологія використання гібридних м'яких бронеелементів, виготовлених шляхом комбінації шарів тканих і нетканих параарамідних матеріалів, для виготовлення індивідуальних засобів бронезахисту військовослужбовців Збройних Сил України може в подальшому розглядатись як перспективна.

З наведених вище даних оцінювання V_{50} для гібридного м'якого балістичного пакета на основі 15 шарів тканини параарамідної та 20 шарів UD параарамідного ламінату за формулою $W/5+W/5+W/5+U/5+U/5+U/5+U/5$ спостерігається значне, на 150 м/с, перевищення рівня протиосколкової стійкості відповідно до вимог до штатних бронежилетів військовослужбовців Збройних Сил України типу Корсар МЗс-1-4.

Співвідношення V_{50} до ваги 1 м² пакетів виготовлених традиційними та гібридною технологіями, становлять, відповідно, для м'яких балістичних пакетів на основі:

- 28 шарів параараміду тканого – 0,109;
- 32 шарів однонаправленого надвисокомолекулярного поліетилену ламінату – 0,114;
- гібридного м'якого балістичного пакета на основі 15 шарів тканини параарамідної та 20 шарів однонаправленого параарамідного ламінату – 0,115.

Таким чином, можна дійти висновку, що гібридний м'який балістичний пакет на основі 15 шарів тканини параарамідної та 20 шарів однонаправленого параарамідного ламінату має найвищу ефективну осколкову стійкість відносно маси за збереження рівня кульової стійкості в межах вимог національних документів зі стандартизації індивідуальних засобів бронезахисту.

Надалі існує необхідність у короткостроковій перспективі продовжити дослідження запропонованої технології виготовлення м'яких балістичних бронеелементів на основі 15 шарів тканини параарамідної та 20 шарів однонаправленого параарамідного ламінату (формула $W/5+W/5+W/5+U/5+U/5+U/5+U/5$) у частині їхньої кульової стійкості, уламкової стійкості, вагових характеристик та гнучкості як самостійного бронеелемента, так і у складі перспективних індивідуальних засобів захисту військовослужбовців Збройних Сил України.

Перелік літератури

1. Body Armor Plates Market Size, Share & Trends Analysis Report By Level, By Application (Defense, Law Enforcement Protection, Civilians), By Material (Steel, Aramid, Composite Ceramic), By Region, And Segment Forecasts, 2020–2027 [Електронний ресурс] // Grand View Research. – Режим доступу : <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/body-armor-plates-market>.
2. Aramid Fiber Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Para-, Meta-Aramid), By Application (Security & Protection, Optical Fibers, Aerospace), By Region (APAC, North America), And Segment Forecasts, 2022 – 2030 [Електронний ресурс] // Grand View Research. – Режим доступу : <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/aramid-fiber-market>.
3. Ballistic materials handbook [Електронний ресурс] // Teijin Aramid. – Режим доступу : <https://www.teijinaramid.com/wp-content/uploads/2018/10/Teijin-Aramid-Ballistic-handbook.pdf>.
4. What is AkiroUD? [Електронний ресурс] // AkiroProtech. – Режим доступу : <https://www.akiroprotech.com/index.php/markets/body-armor>.
5. Aramid XP™ [Електронний ресурс] // BHP Armor. – Режим доступу : <https://bhparmor.com/aramid-xp>.
6. UD Aramid [Електронний ресурс] // FMS. – Режим доступу : <https://www.fms.co.il/ud-technology/ud-aramid>.
7. Lightweight Ballistic Composites. Military and Law-Enforcement Applications / Ed. by A. Bhatnagar. – 2nd ed. – [Duxford] : Woodhead Publishing, 2016. – xxii, 459 p. – (Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering ; Number 71).
8. Effect of structural hybridization on ballistic performance of aramid fabrics [Електронний ресурс] / M. Karahan, N. Karahan, M. Ali Nasir, and Y. Nawab. – Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2019. – Volume 32, Issue 6. – С. 795–814. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1177/0892705718780197>.
9. Ballistic Resistance of Body Armor : NIJ Standard-0101.06 [Електронний ресурс] / National Institute of Standards and Technology. – [Gaithersburg, MD] : NIST, 2008. – xii, 75 p. – Режим доступу : <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/223054.pdf>.
10. Речове забезпечення. Військові бронезилети. Загальні технічні вимоги та методи випробувань балістичної стійкості : ВСТ 01.301.010 – 2021 (02) / Центральний НДІ озброєння та військ. техніки ЗС України. – К. : ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2021. – 39 с.
11. Procedures for the evaluation and classification of personal armour – Bullet and fragmentation threats : AEP-2920 / Nato Standardization Office. – Edition A Ver. 2. – Brussels : NSO, 2016. – 108 p.
12. Dippolito M. M. Real scale simulation of ballistic test for soft armor [Електронний ресурс] : a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / Mario Michael Dippolito ; Kansas State University, College of Engineering. – Manhattan, KS, 2017. – xv, 118 p. – Режим доступу : <http://hdl.handle.net/2097/36199>.
13. Yang Y. Influence of material selection on hybrid design of soft body armour [Електронний ресурс] / Y. Yang, X. Chen // Proceedings of the 8th world conference on 3D fabrics and their applications, 28–29 March 2018, Manchester / University of Manchester. – Режим доступу : https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/67687311/Yanfei_Yang.pdf.
14. Chu Y. Surface Modification to Aramid and UHMWPE Fabrics to Increase Inter-Yarn Friction for Improved Ballistic Performance [Електронний ресурс] : a thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical Sciences / Yanyan Chu; University of Manchester, School of Materials. – Manchester, 2015. – 247 p. – Режим доступу : <https://research.manchester.ac.uk/en/studentTheses/surface-modification-to-aramid-and-uhmwpe-fabrics-to-increase-int>.
15. Засоби індивідуального захисту. Бронезилети. Методи контролювання захисних властивостей : ДСТУ 8788:2018 / Укр. н.-д. і навч. центр проблем стандартизації, сертифікації та якості. – К. : УкрНДНЦ, 2018. – 22 с.
16. Визначення класу захисту та процедура оцінювання індивідуальних засобів бронезахисту. Протикульний та протиосколковий захист (STANAG 2920 (Ed. 3) / AEP-2920 (Ed. A), CLASSIFICATION OF PERSONAL ARMOUR. PROCEDURES FOR THE EVALUATION AND CLASSIFICATION OF PERSONAL ARMOUR. BULLET AND FRAGMENTATION THREATS, IDT) : ВСТ 01.301.003 – 2020 (02) / Головне упр. розвитку та супров. матер. забезп. ЗС України. – К. : ГУРЦМЗ ЗСУ, 2020. – 117 с.