

УДК 623.5:623.093

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ БАЛІСТИЧНОГО ЗАХИСТУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ**

**©Лаппо І. М.<sup>1</sup>, Гордєєв А. С.<sup>2</sup>, Аркушенко П. Л.<sup>1</sup>**

*Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України<sup>1</sup>*

*Українська інженерно-педагогічна академія<sup>2</sup>*

### **Інформація про авторів:**

**Лаппо Ірина Миколаївна:** ORCID: 0000-0001-9243-9763; spinnex@i.ua; кандидат технічних наук; старший науковий співробітник відділення наукових досліджень і випробувань вимірювальних систем, метрологічної експертизи відділу наукових досліджень і випробувань вимірювальних систем та метрологічного забезпечення управління наукових досліджень і випробувань інформаційно-вимірювальних систем та метрологічного забезпечення випробувань; Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна.

**Гордєєв Андрій Сергійович:** ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри поліграфічного виробництва і комп'ютерної графіки; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Аркушенко Павло Леонідович:** ORCID 0000-0002-1902-696X; apl1981@ukr.net, начальник відділення наукових досліджень і випробувань вимірювальних систем, метрологічної експертизи відділу наукових досліджень і випробувань вимірювальних систем та метрологічного забезпечення управління наукових досліджень і випробувань інформаційно-вимірювальних систем та метрологічного забезпечення випробувань Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна.

Метою роботи є дослідження стану та вітчизняного й міжнародного досвіду захисту авіаційної техніки із застосуванням передових інноваційних технологій під час виготовлення прозорої броні.

Досвід застосування вертольотів типу Ми-8 в антитерористичній операції на території України показав, що виникла нагальна потреба захисту екіпажу вертольота Ми-8 шляхом бронювання його кабіни за рахунок встановлення кулетривкого скління. При вирішенні цього питання однією з найважливіших задач є створення оптимізованої системи диференційованого локального захисту, яка здатна витримати вплив стрілецької зброї калібром до 7,62 мм та забезпечити захист від удару уламками мін і снарядів.

Розробка багатошарової світлопроникної броні для диференційованого бронювання кабіни вертольота Ми-8 є актуальною та важливою проблемою, вирішення якої дозволить істотно підвищити живучість екіпажу під час виконання завдань за призначенням.

Встановлено, що прямих аналогів систем диференційованого прозорого захисту авіаційного скління кабін пілотів на основі базових броньованих склоелементів немає. Оскільки найбільш ймовірним і масовим в сучасних умовах військових дій є ураження осколками мін і снарядів, захист яких не потребує високого рівня ударної стійкості, це дає можливість застосовувати ламіновані багатошарові структури з полікарбонату та органічного скла для зменшення питомої ваги системи локального бронювання літальних апаратів.

**Ключові слова:** прозора броня; багатошарове скло; кулетривкість; балістичні характеристики; керамічна броня.

*Лаппо И. М., Гордеев А. С., Аркушенко П. Л. «Исследования современного состояния баллистической защиты авиационной техники».*

Целью работы является исследование состояния и отечественного и международного опыта защиты авиационной техники с применением передовых инновационных технологий при изготовлении прозрачной брони.

Опыт применения вертолетов типа Ми-8 в антитеррористической операции на территории Украины показал, что возникла насущная необходимость защиты экипажа вертолета Ми-8 путем бронирования его кабины за счет установки Пулестойкие остекления. При решении этого вопроса одной из важнейших задач является создание оптимизированной системы дифференцированного локальной защиты, которая способна выдержать воздействие стрелкового оружия калибром до 7,62 мм и обеспечить защиту от удара обломками мин и снарядов.

Разработка многослойной светопропускающей брони для дифференцированного бронирования кабины вертолета Ми-8 является актуальной и важной проблемой, решение которой позволит существенно повысить живучесть экипажа при выполнении задач по назначению.

Установлено, что прямых аналогов систем дифференцированного прозрачного защиты авиационного остекления кабин пилотов на основе базовых бронированных склоэлементив нет. Поскольку наиболее вероятным и массовым в современных условиях военных действий является поражение осколками мин и снарядов, защита которых не требует высокого уровня ударной устойчивости, это дает возможность применять ламинированные многослойные структуры из поликарбоната и органического стекла для уменьшения удельного веса системы локального бронирования летательных аппаратов.

**Ключевые слова:** прозрачная броня; многослойное стекло; кулетривкисть; баллистические характеристики; керамическая броня.

*Lappo I., Gordeyev A., Arkushenko P.* “Research of the modern state of the ballistic protection of aircraft engineering”.

The purpose of the work is to study the state and domestic and international experience in the protection of aircraft technology with the use of advanced innovative technologies in the production of transparent armor.

The experience of using Mi-8 helicopters in the anti-terrorist operation on the territory of Ukraine has shown that there was an urgent need to protect the crew of the Mi-8 helicopter by booking his booth through the installation of tempered glass. In solving this issue, one of the most important tasks is to create an optimized system of differentiated local protection that can withstand the impact of small arms with a caliber of 7.62 mm and provide protection against impact by debris of mines and shells.

The development of multilayer light-penetrating armor for differentiated booking of the Mi-8 helicopter cabin is a relevant and important problem, the solution of which will significantly increase the survivability of the crew when performing assignments.

It is established that there are no direct analogues of systems of differentiated transparent protection of aviation glazing of pilot cabins on the basis of basic armored glass elements. As the most probable and massive in modern conditions of warfare is damage by fragments of mines and shells, the protection of which does not require a high level of impact resistance, it allows the use of laminated multilayer structures of polycarbonate and organic glass to reduce the proportion of the system of local aircraft reservation.

**Key words:** transparent armor; multilayer glass; durability; ballistic characteristics; ceramic armor.

## 1. Вступ

Необхідною умовою забезпечення живучості військової техніки та підвищення її боєздатності є удосконалення броньованого захисту, що супроводжується створенням новітніх

**Технологія машинобудування**

захисних матеріалів з поліпшеними властивостями та розширеною сферою застосування. Вибір та застосування визначених видів броньованих матеріалів значною мірою визначається об'єктами, які потрібно бронювати, класом захисту захисного елемента, функціональністю захисного покриття (вага, вартість, живучість). Так для захисту вікон літаків, вертольотів, автомобілів використовують прозоре кулетривке скло, що уявляє собою багатошарову конструкцію, в якій використовуються шари із ударостійкого скла, пластиків та полімерних адгезійних матеріалів з різними механічними та фізичними властивостями. За рахунок багатошарової будови цих композитів забезпечуються необхідні експлуатаційні характеристики конструкції при найменшій вазі та вартості. Класичний кулетривкий склопакет складається із шарів зміцненого силікатного скла та полікарбонату, з'єднаних клейовими шарами. Полімери у вигляді плівки, встановлені між стекол, можуть бути як прозорими, так і будь-якого кольору. Така форма конструкцій називається «триплекс», що з латині означає «потрійний» (рис. 1). Високий рівень якості броньованого триплекса гарантований цілою серією тестів, проведених ще на етапі виготовлення скла. Саме за їх допомогою визначається ступінь відповідності матеріалу всім вимогам державних стандартів якості [1, 2].

Скло
Клей
Поліестер
Клей
Ламінуючий шар та поліестер
Шар від подряпин

**Рис. 1** – Броньований триплекс багатошарової конструкції

Основними характеристиками прозорого захисту, які враховуються під час розробки та виготовлення, є балістична міцність, балістична стійкість (здатність витримувати декілька влучень ударника), прозорість, оптичні характеристики, вага захисту, вартість виробництва.

## 2. Постановка проблеми

На даний час бронювання кабіни вертольотів виконується шляхом встановлення броньованих пластин з високоякісної сталі (рис. 2), що не завжди відповідає зазначеним вище характеристикам прозорого захисту. У зв'язку з проведенням бойових дій в зоні АТО виникла нагальна потреба захисту екіпажу вертольота Ми-8 шляхом бронювання його кабіни за рахунок встановлення кулетривкого скління із забезпеченням його механічної міцності при ударі твердим тілом (уламками). При вирішенні цього питання однією з найважливіших задач є створення оптимізованої системи диференційованого локального захисту, яка здатна витримати вплив стрілецької зброї калібром до 7,62 мм та забезпечити захист від удару уламками мін і снарядів.



**Рис. 2** – Встановлення броньованих плит в кабіні вертольота

Розробка багатошарової світлопроникної броні для диференційованого бронювання кабіни вертольота Ми-8 є актуальною та важливою проблемою, вирішення якої дозволить істотно підвищити живучість екіпажу під час виконання завдань за призначенням.

Наразі проблема розробки багатошарової світлопрозорої броні для диференційованого бронювання вертольота типу Ми-8 викликає зацікавлення не тільки військових фахівців, а й провідних науковців, зокрема фахівців інституту проблем машинобудування ім.

А. М. Підгорного НАН України та інституту проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, перспективним напрямком роботи яких є створення нових та вдосконалення існуючих методик аналізу кулетривкості та міцності при ударі уламками прозорих шаруватих скло-полімерних та полімерних броньованих елементів на базі сучасних моделей і методів механіки деформуємого твердого тіла й механіки руйнування з використанням аналітичних і чисельних методів, експериментальної механіки й положень конструкційної міцності композиційних ламінованих матеріалів.

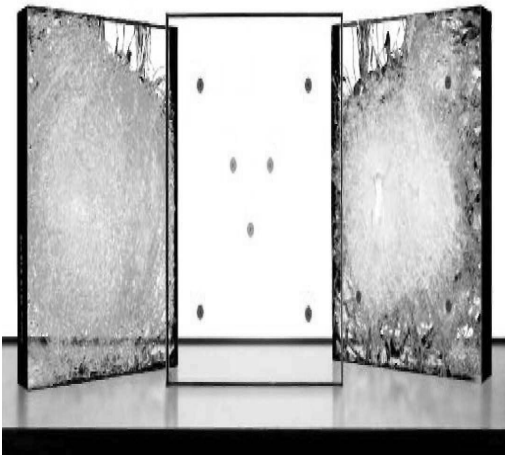
Проблема кулетривкості скління, наприклад, для вертольоту Ми-24 вирішувалася переважно за рахунок збільшення товщини багатошарових блоків. Для великогабаритної кабіни машини Ми-8 це може привести до неприпустимого збільшення загальної ваги й погіршення оптичних характеристик конструкції. Такий підхід не є перспективним для вдосконалення захисту екіпажу вертольота Ми-8. Так, для протистояння кулі з пістолета Макарова достатньо склопакета товщиною 20 мм [3]. У разі збільшення калібру, твердості та швидкості кулі відповідно збільшується товщина броньованого скла, що в свою чергу збільшує загальну вагу. Проте проблема може бути вирішена шляхом створення прозорих захисних елементів з різними рівнями ударної стійкості та мінімальної питомої ваги із застосуванням сучасної технології виготовлення багатошарових структур.

### **3. Проблема кулетривкості скління**

Оскільки проблема створення локального захисту кабіни вертольота типу Ми-8 є комплексною й містить в собі вирішення декількох актуальних задач, в даній роботі буде розглянуто лише питання, пов'язане з вибором матеріалу прозорого броньованого захисту, перспективних напрямків його застосування, дослідження вітчизняного й закордонного досвіду захисту авіаційної техніки.

З підвищенням рівня захисту літальних апаратів, пов'язаного з бронюванням скління, виникає проблема збільшення ваги транспортного засобу, прозорості склопакету та рівня спотворення видимості. Традиційним і найбільш поширеним матеріалом бронювання вікон транспортних засобів є загартоване скло, кулетривкість якого залежить від ряду чинників, серед яких калібр, тип, швидкість кулі, кут зустрічі з поверхнею тощо, товщину такого скла приймають зазвичай з подвійним запасом, в той же час його вага також збільшується вдвічі. Аналіз фахової літератури показав, що останнім часом в якості ідеального захисту використовується прозора броня або броньоване скло – це броня, яка отримується з'єднанням шарів силікатного скла з шарами поліуретанів, метилметакрилатів і полікарбонатів.

Так, наприклад, німецька компанія Schott, яка виробляє броньоване скло у відповідності зі стандартами STANAG 4569, з метою покращення характеристик і зниження ваги прозорої броні використовує патентоване боросилікатне скло Borofloat (рис. 3), яке дозволяє знизити вагу на 12–15 % зі збереженням оптимальних оптичних характеристик. Стосовно 4 рівня захисту STANAG 4569, дана компанія пропонує два сорти скла з матеріалу Resistan: NY135 щільністю 284 кг/м<sup>2</sup> і NY194 щільністю 398 кг/м<sup>2</sup>, які витримують 20-мм снаряд FSP на швидкості 1550 м/с і патрон 14,5x114 API, хоча більш тонке скло перевірене тільки на одне влучання, тоді як більш товсте має багатоударні характеристики. За даними Schott сорт скла NY194 є єдиним сертифікованим рішенням, що відповідає четвертому рівню захисту [6].



**Рис. 3** – Боросилікатне скло компанії Schott

Виготовленням броньованого скла для літальних апаратів на міжнародному рівні займається ізраїльська компанія Oran Safety Glass (OSG), яка пропонує власну технологію кристалічного матеріалу Crystallised Material (CM), що дозволяє знизити вагу на 30–50 % зі зменшенням товщини від 40 до 60 % (табл. 1).

Дана технологія дозволяє виготовляти прозору броню у 3 рази дешевше ніж багатошарове скло, при цьому тривкість до чисельних ударів зафіксована при швидкості 160 м/с. За відсутності військових стандартів у даній галузі компанія OSG використовувала за основу французькі залізничні стандарти, у відповідності з якими конічний предмет

діаметром 90,5 мм і вагою 20 грамів після удару на швидкості 40 м/с не повинен завдати шкоди. Ці показники для військового застосування були збільшені до 140 м/с, як наслідок скло OSG RSG показало стійкість до багатьох чисельних ударів на швидкостях до 160 м/с.

**Таблиця 1** – Порівняння ваги існуючого броньованого скла й кристалічного матеріалу від компанії OSG, кг/м<sup>2</sup>

Рівні Stanag	Існуючі технології	Технологія Crystallised Material	Різниця, %
1	96	51	46,9
2	125	71	43,2
3	190	126	33,7
4	284	146	48,6

Компанія Glas und Optic GmbH, більш відома як GuS, у 2013 році продемонструвала нове багатошарове скло на відповідність рівню 3 STANAG 4569, щільність якого була зменшена з 215 до 170 кг/м<sup>2</sup> (- 20 % ваги) і товщина з 91 до 83 мм, одночасно був збільшений діапазон робочих температур від -32 °С до +49 °С. Тестування на здатність витримувати чисельні удари проводилась на трикутнику з основою 120 мм замість 300 мм й відбиток був невеликим [6].

Серед компаній, які займаються виготовленням прозорої броні, слід відзначити IVD Deisenroth Engineering, яка розробила прозору керамічну броню, яка легше броньованого скла приблизно на 70 % і може витримувати численні потрапляння куль в одну область. Завдяки значним балістичним характеристикам керамічного матеріалу й пружному поглинанию залишкової кінетичної енергії компанія отримала панелі з прозорої броні зі значним зменшенням ваги (рис. 4). У порівнянні зі щільністю 200 кг/м<sup>2</sup> стандартного броньованого скла, яке відповідає рівню 3 STANAG 4546, нова технологія дозволила зменшити масу прозорої кераміки до 56 кг/м<sup>2</sup> для третього рівня захисту. За даними компанії IVD оптичні властивості нової прозорої кераміки не поступаються оптичним властивостям традиційного багатошарового броньованого скла, оскільки воно менш тоновано та демонструє меншу дифракцію [7, 8].



**Рис. 4** – Порівняльні зразки катаної гомогенної сталі, звичайної кераміки й нового матеріалу IBD NANOTech



**Рис. 5** – Багатошаровий прозорий захист 400 x 400 мм, виготовлений з використанням шпінелі від ArmorLine, після шести пострілів

Компанія ArmorLine розробила оптичну шпінельну кераміку, яка дозволяє виготовляти прозору броню зі значною економією маси і уявляє собою полікристалічний матеріал, який відрізняється надмірною твердістю та міцністю, при цьому, відрізняючись абразивною стійкістю, гарантує світлопроникність в діапазоні 0,2–5,5 мікрон, тобто може використовуватися не тільки в якості прозорої броні, а й для захисту сенсорів. Прозорий захист на основі шпінелі, за даними виробника, дозволила знизити вагу та товщину на 50–60 % та підвищила стійкість до численних ударів (рис. 5) [9].

Серед технологій, які використовуються для підвищення міцності прозорої броні, італійська компанія Isoclima розробила метод інкапсуляції, який гарантує максимальний термін придатності її багатошарових матеріалів, які відповідають рівню 2 STANAG 4546, товщиною 58–59 мм й поверхневою щільністю 125–130 кг/м<sup>2</sup>, й рівню 3 STANAG 4546, товщиною 79–80 мм й щільністю 157–162 кг/м<sup>2</sup> [6].

Дані розробки досить успішно впроваджуються для захисту авіаційної техніки збройних сил іноземних держав. Наприклад, на вертольотах Eurocopter Super Puma, Sikorsky MK41 Seaking, Sikorsky CH 53G/GS, Westland Bell UH-1D, Westland MK88 Lynx, Westland MK 88 A Lynx, Westland SH 14 D Lynx, Eurocopter

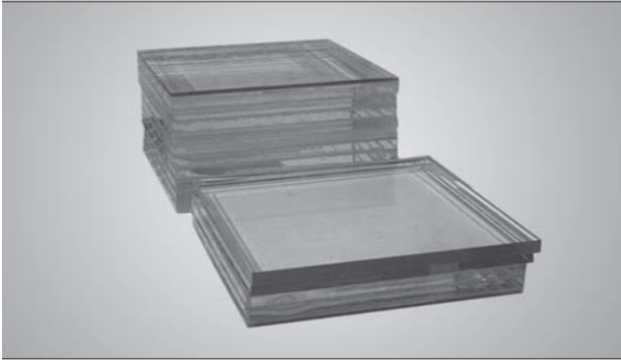
Cougar, Eurocopter TIGER, Eurocopter NH 90 тощо. Застосовується сучасний балістичний захист на основі кераміки та поліетилену, що відповідає третьому рівню захисту згідно ISO/FDIS 14876-2 та відрізняється низькою вагою, міцністю, гнучкістю, довговічністю [10].

За останні десятиліття низкою країн проводяться численні науково-дослідні роботи по розробці найбільш ефективної прозорої броні, що відрізняється, при збереженні досягнутого рівня кулетривкості, меншою вагою й товщиною, та базується на принципі побудови комбінованої броні з надтвердим лицьовим керамічним шаром. Одним з перспективних матеріалів прозорої кераміки для броні є штучний монокристалічний сапфір.

У відповідності з проектом НАТО Science for Peace and Security Programme CBP NR SFPP 981770 групою вчених з різних країн була розроблена легка прозора броня на основі зміцненого сапфіра та скла. Ще у 2009 р. були проведені завершальні демонстраційні випробовування для

**Технологія машинобудування**

експертів НАТО, які показали, що розроблений пакет прозорих матеріалів значно менший по товщині й вазі витримує обстріл бронебійними кулями та кулями із карбіду вольфраму (рис. 6). Надалі були виготовлені вікна для броньованого транспорту у відповідності зі STANAG 4569 на замовлення німецьких, чеських та голландських компаній [11].



**Рис. 6** – Порівняльна товщина склопакету та сапфіросклопакету

Останні дослідження в сфері балістичного захисту стосуються також термопластичних еластомерів – м'яких, каучукових полімерів, які твердіють під впливом фізичних, а не хімічних процесів, як наслідок отвердіння є зворотним процесом. Під час нагріву термопластику приблизно до 100°C його маленькі кристали плавляться й затягують тріщини й розриви, таким чином відбувається відновлювальна реконструкція. Цими властивостями скористалися дослідники Військово-морської лабораторії США, розробивши й запатентувавши абсолютно прозорий захисний матеріал із пружного полімеру, більш легкий, прозорий ніж куленепробивне скло, проте з кращими балістичними характеристиками [12, 13].

На даний час комбінована броня встановлена на ударних вертольотах АН-64 «Апач», АН-1G, АН-1Q, АН-1S; протитанкових вертольотах А-129 «Мангуст», багатоцільових вертольотах УН-60 «Блэк Хоук», SA-341/SA-342 «Газель», Уэстленд «Линкс»; легкому розвідувально-ударному «Белл» ОН-58D; TIGER; дослідному RAN-66 «Команч» та інших літальних апаратах.

Виготовленням захисту для великогабаритних транспортних засобів займається підрозділ Advanced Armour компанії TenCate. Її серія авіаційної броні створена, щоб забезпечити максимальний захист при мінімальній вазі, допускає її установку на літальні апарати. Це досягається застосуванням в лінійках броні TenCate Liba CX і TenCate Ceratego CX – найлегших з існуючих матеріалів. При цьому балістичний захист броні досить високий. Наприклад, для TenCate Ceratego вона досягає 4-го рівня за стандартом STANAG 4569 і витримує множинні попадання. У конструкції броньованих листів застосовуються різні комбінації металів і кераміки, армування волокнами арамідів, високомолекулярного поліетилену, а також вугле- і склопластики. Спектр літальних апаратів, що використовують бронювання від TenCate, дуже широкий: від легкого багатофункціонального турбогвинтового Embraer A-29 Super Tucano до «транспортника» Embraer KC-390 [13, 14].

Комплекти авіаційної броні LAST від компанії QinetiQ North America сповідують підхід, застосовуваний в навісній броні наземних транспортних засобів. Частина літального апарату, які потребують захисту, можуть бути посилені протягом однієї години силами екіпажу, при цьому необхідне кріплення вже входить в комплекти, що поставляються. Таким чином, можуть бути оперативно модернізовані транспортні літаки Lockheed C-130 Hercules, Lockheed C-141, McDonnell Douglas C-17, а також вертольоти Sikorsky H-60 і Bell 212, якщо умови виконання місії припускають можливість обстрілу з легкої стрілецької зброї. Броня витримує попадання бронебійної кулі калібру 7,62 мм. Захист одного квадратного метра важить всього 37 кг.

Кабіна льотчика американського штурмовика A-10 Thunderbolt має бронювання та виконана у вигляді ванни, яка зібрана з титанових броньованих плит, скріплених гвинтами. Захист у змозі захистити пілота від снарядів калібру до 23 мм. Скління кабіни виконано з куленепробивного скла.

### **Висновки**

Таким чином, можна зазначити, що за рахунок інноваційних технологій, застосування сучасних полімерних і керамічних матеріалів, а також зміцненого сапфіру можна вирішити проблему підвищення характеристик броньованого скла при одночасному зниженні ваги. Наразі прямих аналогів систем диференційованого прозорого захисту авіаційного скління кабін пілотів на основі базових броньованих склоелементів немає. Для захисту від стрілецької зброї калібрів 5,45 мм, 7,62 мм, дії ударної хвилі та осколків товщина елементів фірм Saint-Gobain, Pilkington, Gardian, НІТС (РФ) та провідного українського спеціалізованого підприємства ПАТ «Спецтехскло А» (м. Костянтинівка) згідно стандартів DIN 52290, EN 1522, EN 1063, ГОСТ Р 51136-2008, ДСТУ 4546:2006 (EN 1063:1999) становить 35–45 мм і збільшується до 80–100 мм для захисту від більш потужних видів зброї. Тому вони мають значну вагу: до 100–130 кг/м<sup>2</sup>, високу вартість: 200–1000 \$/м<sup>2</sup>. Оскільки найбільш ймовірним і масовим в сучасних умовах військових дій є ураження осколками мін і снарядів, захист яких не потребує високого рівня ударної стійкості це дає можливість застосовувати ламіновані багатошарові структури з полікарбонату та органічного скла для зменшення питомої ваги системи локального бронювання літальних апаратів, враховуючи виробничі потужності вітчизняних провідних підприємств.

Перспективним напрямком є вирішення проблеми підвищення кулетривкості багатошарового прозорого скління вертольота типу Ми-8 за рахунок диференційованого бронювання кабіни шляхом застосування елементів броньованого захисту з новими композиціями шарів, розроблених на основі математичних моделей, розрахункових методик та комплексного обґрунтування конструкційних і технологічних рішень [5].

### **Список використаних джерел:**

1. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В. А. Григорян, И. Ф. Кобылкин, В. М. Маринин, Е. Н. Чистяков. – М. : РадиоСофт, 2008. – 406 с.
2. Легкие баллистические материалы / под ред. А. Бхатнагара. – М. : Техносфера, 2011. – 392 с.
3. Шабетя О. А. Оцінка імовірності уражень елементів систем прозорого захисту / О. А. Шабетя, О. Б. Сорока // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : тези доп. 16 наук.-техн. конф. / Держ. наук.-випробувальний центр збройних сил України. – Чернігів, 2016.
4. Родічев Ю. М. Стенд для лабораторних балістичних випробувань матеріалів та елементів броне захисту / Ю. М. Родічев, В. Є. Данілюк // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : тези доп. 16 наук.-техн. конф. / Держ. наук.-випробувальний центр збройних сил України. – Чернігів, 2016.
5. Родічев Ю. М. Підвищення рівня захисту військової техніки на основі базових прозорих броне елементів / Ю. М. Родічев, О. Б. Сорока, С. П. Бісик // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : тези доп. 16 наук.-техн. конф. / Держ. наук.-випробувальний центр збройних сил України. – Чернігів, 2016.
6. Алексеев А. Пулестойкие стекла. Компромисс массы, стоимости и характеристик [Электронный ресурс] / А. Алексеев // Военное образование. – Режим доступа: <https://topwar.ru/59652-pulestoykie-stekla-kompromiss-massy-stoimosti-i-harakteristik.html>.
7. Ceramic armor and armor systems proceedings of the Ceramic Armor and Armor Systems Symposium held at the 105th Annual Meeting of the American Ceramic Society, April 27-30, 2003 in Nashville, Tennessee ed. by Eugene Medvedovski. Published 2003 by American Ceramic Society in Westerville, Ohio.
8. Ударопрочная керамика на основе карбида кремния / И. Ю. Келина, В. В. Ленский, Н. А. Голубева и др. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2010. – № 1/2. – С. 17-24.



**Технологія машинобудування**

9. Керамический бронематериал, легированный углеродными нанотрубками: получение моделирование, оптимизация / Н. А. Федосова, П. П. Файков, Н. А. Попова и др. // *Химическая технология и биотехнология новых материалов и продуктов* : тез. докл. VI междунар. конф. рос. химического общества им. Д. И. Менделеева. – М., 2014. – С. 111-114.
10. Armada [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.armada.ch](http://www.armada.ch).
11. Пузіков В. М. Прозора броня і перспективи її застосування для української бронетехніки / В. М. Пузіков, Л. А. Литвинов // *Вісник НАН України*. – 2015. – № 2. – С. 58-62.
12. Изобретена прозрачна броня с високими защитными свойствами [Електронний ресурс] Режим доступу : <https://enki.ua/izobretena-prozrachnaya-bronya-s-vysokimi-zashchitnymi-svoystvami-7525>.
13. Strassburger E. Ballistic testing of transparent armour ceramics / E. Strassburger // *Journal of the European Ceramic Society*. – Vol. 29, Iss. 2. – P. 267-273. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.03.049.
14. GuS: glass and safety [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.gus-visionsystems.com](http://www.gus-visionsystems.com).

**References**

1. Grigoryan, V, Kobytkin, I, Marinin, V & Chistyakov, E 2008, *Materialy i zashchitnyye struktury dlya lokalnogo i individualnogo bronirovaniya*, RadioSoft, Moskva.
2. Bkhatnagar, A 2011, *Legkiye ballisticheskiye materialy*, Tekhnosfera, Moskva.
3. Shabetia, O & Soroka, O 2016, 'Otsinka imovirnosti urazhen elementiv system prozoroho zakhystu', *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: tezy dopovidey 16 naukovo-tekhnichnoi konferencii, Derzh. nauk.-vyprobuvalnyi tsentr zbroinykh syl Ukrainy*, Chernyiv.
4. Rodichev, Yu & Daniliuk, M 2016, 'Stend dlia laboratornykh balistychnykh vyprobuvan materialiv ta elementiv brone zakhystu', *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: tezy dop. 16 nauk.-tekhn. konf., Derzh. nauk.-vyprobuvalnyi tsentr zbroinykh syl Ukrainy*, Chernyiv.
5. Rodichev Yu, Soroka, O & Bisyk, S 2016, 'Pidvyshchennia rivnia zakhystu viiskovoi tekhniki na osnovi bazovykh prozorykh brone elementiv', *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: tezy dop. 16 nauk.-tekhn. konf., Derzh. nauk.-vyprobuvalnyi tsentr zbroinykh syl Ukrainy*, Chernyiv.
6. Alekseyev, A 'Pulestoykiye stekla. Kompromiss massy, stoimosti i kharakteristik', *Voyennoye obrazovaniye*, viewed 2018, <<https://topwar.ru/59652-pulestoykie-stekla-kompromiss-massy-stoimosti-i-harakteristik.html>>.
7. Medvedovski, Eu 2003, 'Ceramic armor and armor systems', *proceedings of the Ceramic Armor and Armor Systems Symposium held at the 105th Annual Meeting of the American Ceramic Society, April 27-30, 2003 in Nashville, Tennessee ed*, American Ceramic Society in Westerville, Ohio.
8. Kelina, I, Lenskiy, V & Golubeva, N 2010, 'Udaroprochnaya keramika na osnove karbida kremniya', *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika*, no. 1/2, pp. 17-24.
9. Fedosova, N, Faykov, P & Popova, N 2014, 'Keramicheskiy bronematerial, legirovanny uglerodnymi nanotrubkami: polucheniye modelirovaniye, optimizatsiya', *Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya novykh materialov i produktov, tez. dokl. VI mezhdunar. konf. ros. khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva*, pp. 111-114, Moskva.
10. Armada, viewed 2018, <[www.armada.ch](http://www.armada.ch)>.
11. Puzikov, V & Lytvynov, L 2015, 'Prozora bronja i perspektyvy yii zastosuвання dlia ukrainskoi bronetekhniki', *Visnyk NAN Ukrainy*, no 2, pp. 58-62.
12. 'Izobretena prozrachnaya bronja s visokimi zashchitnymi svoystvami', viewed 2018, <<https://enki.ua/izobretena-prozrachnaya-bronya-s-vysokimi-zashchitnymi-svoystvami-7525>>.
13. Strassburger, E 2009, 'Ballistic testing of transparent armour ceramics', *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 29, iss. 2, pp. 267-273, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.03.049.
14. 'GuS: glass and safety', viewed 2018, <[www.gus-visionsystems.com](http://www.gus-visionsystems.com)>.

Стаття надійшла до редакції 16 квітня 2018 р.