

УДК 614.8

Г.В. Іванець<sup>1</sup>, Є.І. Стецюк<sup>1</sup>, М.Г. Іванець<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний університет цивільного захисту України, Харків<sup>2</sup> Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ЗАХИСТ САПЕРІВ ВІД ДІЇ ОСКОЛКІВ І КУЛЬ

Однією із основних причин отримання травм чи загибелі саперів під час виконання функціональних обов'язків з очищення місцевості від вибухонебезпечних предметів (ВНП) є дія ударної повітряної хвилі та високошвидкісного проникнення осколків гранат. У статті розглянута можливість використання бронезилетів та запропоновано їх розміри і матеріал виготовлення для захисту від куль та осколків гранат.

**Ключові слова:** вибухонебезпечні предмети, піротехнічні підрозділи, полімерна композиційна броня, рідка броня, математична модель, пробивна здатність, бронезилет.

### Вступ

**Загальна постановка проблеми.** Однією із основних причин отримання травм чи загибелі особового складу піротехнічних підрозділів оперативнорятівальної служби цивільного захисту ДСНС України під час виконання функціональних обов'язків з очищення місцевості від вибухонебезпечних предметів (ВНП) у відповідності до даних статистики є наслідком дії ударної повітряної хвилі та високошвидкісного проникнення осколків [1, 2]. Висока ймовірність спричинених травм пояснюється підвищеною небезпекою виникнення вибуху під час здійснення операцій з пошуку, підйому, завантаження, розвантаження, транспортування, знешкодження та знищення ВНП. Перелічені фактори визначають важливість розробки систем індивідуального захисту для особового складу піротехнічних підрозділів.

**Аналіз літератури.** Перед системами захисту від високошвидкісного ударного навантаження, що використовуються в рамках операцій очищення територій від ВНП, висувається низка особливих вимог, що безпосередньо пов'язані із їх основним функціональним призначенням.

Міжнародний стандарт [5] розглядає як засоби перевірки обладнання та конструкцій на предмет вибухової безпеки, так і спеціалізовані методи визначення властивостей спорядження захисту саперів. Особливо детально вимоги щодо міцних до удару матеріалів, зокрема для захисних жилетів та шоломів, розглянуто у [5, 6]. Так, захисні жилети класу захисту ПА тестуються на удар із швидкістю 340 – 365 м/с ударником радіусом 9 мм з сферичною носовою частиною [5]. Небезпечні конфігурації стосовно співвідношення мас та швидкостей уламків у відповідності до частоти відповідних пошкоджень приводяться у [6].

Згідно статистичним даним за останні 10 років відбувалася загибель особового складу піротехнічних підрозділів ДСНС України, що свідчить про

недостатній індивідуальний захист сапера від ураження осколками. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення засобів захисту від дії ударної повітряної хвилі та високошвидкісного проникнення осколків.

**Мета статті.** Метою роботи є визначення перспективних напрямків удосконалення захисних властивостей засобів індивідуального захисту піротехнічних підрозділів ДСНС України.

### Викладення матеріалів досліджень

Системи захисного бронювання повинні бути легкими, оптимально гнучкими, а також, по можливості, мати характеристики термо- та вологостійкості, стійкості до хімічного впливу та корозії [2].

Суттєвим кроком до досягнення вказаних характеристик є застосування сучасних композиційних матеріалів в системах індивідуального захисту сапера [7]. До легких композиційних матеріалів високої статичної і динамічної міцності відносяться волоконнозміцнені матеріали на основі вуглецевих, борних та ін. волокон і полімерної матриці. Їх перевагами у порівнянні із металевими та керамічними композитами є низька вага, що дозволяє їх використання у відповідних умовах при дотриманні обмежень з термічної стійкості. З точки зору економічності доцільності та технологічності виробництва оптимальним є застосування ламінатів на основі скловолокон.

Статистичні дані військових дій і конфліктів свідчать про те, що на 30% кульових поранень особового складу приходиться майже 70% осколкових поранень. Найбільш ефективно і комплексно оберігають людину від осколків засоби індивідуального захисту і амуніція, для виготовлення яких широко використовуються тканини із аромідних волокон, що збираються в пакет в складі шолома, бронезилету і комбінезону. Погашення енергії осколку чи кулі забезпечується за рахунок витягування і розриву волокон. Кращими захисними властивостями воло-

діють бронезилети з мікрофіламентних ниток («Русар», «Армом»), які мають в своїй структурі від 200 до 500 волокон діаметром 12-17 мкм. Різниця цих цифр дає 25% підвищення осколкової стійкості. Головний недолік всіх матеріалів на основі тканин полягає у викривленні ниток у вузлах сплетення і скрутки ниток. Зменшення кількості скруток на 1 м.п. із 100 до 50 забезпечує підвищення стійкості проти осколків на 10-15%. Кращим результатом володіють тканини саржевого сплетіння, оскільки мають найменше викривлення ниток або мати з довжиною волокон 10-12 мм. При цьому рекомендується розташовувати куски тканин з накладкою на манер луски риби, що забезпечує, наприклад, поворот кулі на  $90^0$ . Такі бронезилети майже на 25-40% легші, ніж аналогічні з металевими вставками.

Хороші результати одержали трьохшарові конструкції, які мають зовнішні шари із затверділого композиту і внутрішній пакет з дискретнотканевого матеріалу. При цьому зовнішній затверділий шар захищає від ріжучих пошкоджень, внутрішній шар розподіляє енергію удару і розвертає або зупиняє кулю чи осколок. В якості матриці в цих випадках застосовують «рихлі» епоксидні зв'язуючі.

Самі високі показники захисту має полімерна композиційна броня із органопластиків, в яких волокна мають однакову хімічну природу з матрицею.

Подальше вдосконалення захисних засобів пов'язане з так називаємою «рідкою бронею», в яких середній шар уявляє собою аерогель з наночастинками кварцу в поліетеленгліколі.

Так наприклад, в 2004 – 2005 р. розроблено захисний шлем, який уявляє собою трьохшарову оболонку з внутрішнім шаром із дискретно-тканевих матеріалів, що має захисні властивості майже на 20% вище раніше розроблених. На гелікоптері ІН-60А (США) із органопластику на основі волокон «Кевлар-49» виготовлена кабіна екіпажу, панель приборів, пульт управління. Це дало можливість захистити пілота від осколків снарядів. Крім того, застосування органопластику замість сталевих листів дозволило знизити вагу захисту гелікоптера майже на 953 кг.

Захисні комплекти обмундирування, які включають шлем, бронезилет, проти осколково накладку і комбінезон, дозволяють знизити рівень бойових втрат в 2-2,5 рази.

В теперішній час проблема індивідуального захисту саперів від впливу високошвидкісних часток (осколків ВВП під час вибуху), масою від декількох грам до десятків та сотень грам, що летять в бік сапера зі швидкістю від 0,3 до 10 км/с, набула особливої актуальності.

Для дослідження й створення ефективного індивідуального захисту сапера необхідні експериментальні дослідження взаємодії різних захисних ма-

теріалів з високошвидкісними частками на полігоні або в лабораторних умовах.

Через високу вартість експериментальних досліджень вибухового метання ударника та проникнення його в перешкоду широко використовується математичне моделювання процесу функціонування таких пристроїв.

Математична модель — це абстракція реальної дійсності (світу), в якій відношення між реальними елементами, а саме ті, що цікавлять дослідника, замінені відношеннями між математичними категоріями. Ці відношення зазвичай подаються у формі рівнянь та (або) нерівностей, відношеннями формальної логіки між показниками (змінними), які характеризують функціонування реальної системи чи протікання процесу, що моделюється [3, 4].

Це дозволяє за допомогою розрахунків на комп'ютері знаходити раціональні схеми й визначати їхні параметри, що є необхідним етапом розробки пристроїв для метання часток заданої маси із заданою швидкістю.

При влученні осколка в перешкоду товщиною  $h$ , він може її пробити або застрягти в ній. Для наближеної оцінки пробивної здатності осколка (короткий циліндр: висота до діаметра 1:1) до швидкостей  $U < 2$  км/с можна використати формулу  $h = 4,7U \times M^{1/3}$  (осколки і пластина - середньо вуглецева сталь);  $h = 9,7U \times M^{1/3}$  (осколок - сталь, перешкода — дюраль), де  $h$  - товщина пробиваємої пластини ( $[h] = \text{мм}$ ,  $[M] = \text{гр}$ ,  $[U] = \text{км/с}$ ) [5,6]. Швидкість  $U$  біля перешкоди визначається за формулою (1), залежно від початкової швидкості  $U_0$  і відстані  $x$ , яка вимірюється від заряду з оболонкою до перешкоди [6]:

$$U = U_0 \exp\{-Ax\} . \quad (1)$$

Параметр  $A$  обчислюється таким чином:

$$A = \rho_0^{2/3} c_x \Phi / \left( 2\rho_M^{2/3} M^{1/3} \right), \quad (2)$$

де  $\rho_0$  - щільність повітря;  $\rho_M$  - щільність осколка (кулі);  $\Phi$  - параметр форми осколка (кулі).

Для кулі  $\Phi = 1,21$ , для короткого циліндра — 1,38, для куба — 1,5, для осколків — 2. Коефіцієнт лобового опору істотно залежить від форми осколка (кулі). Так  $C_x = 0,47$  для кулі;  $C_x = 1,05$  для куба, грань якого перпендикулярна вектору швидкості;  $C_x = 0,8$  для куба, якщо швидкість спрямована по діагоналі куба;  $C_x = 0,82-1,2$  для циліндра з урахуванням різного положення циліндра в потоці повітря;  $C_x = 2$  для пластини, площина якої перпендикулярна вектору швидкості; для осколків у середньому  $C_x = 1,21$ .

Для подальшого дослідження виберемо такі гранати і стрілецьку зброю.

**Ручна осколкова граната Ф-1** – граната дистанційної дії, яка призначена для враження живої сили противника переважно в оборонному бою. Корпус гранати чугунний. Маса гранати 600 грам. Корпус гранати при розриві дає 290 крупних тяжких осколків з початковою швидкістю розлітання близько 730 м/с. Маса осколків в середньому 1 – 2 грами. На утворення забійних осколків іде 38% маси корпусу, решта осколків просто розпиляється. Площа розльоту осколків – 75-82 м<sup>2</sup>. Маса гранати 600 грам.

**Ручна осколкова граната РГН** призначена для враження живої сили супротивника в наступі і обороні. Корпус гранати уявляє собою дві на півсфери з алюмінієвого сплаву із внутрішніми насічками. Маса гранати 310 грам, кількість осколків 220 – 300 штук, середня маса осколків 0,42 грама, початкова швидкість польоту осколків 700 м/с, площа розлітання осколків 95-96 м<sup>2</sup>. **Ручна осколкова граната РГО** призначена для ураження живої сили супротивника переважно в оборонному бою. Корпус гранати для збільшення кількості осколків крім двох зовнішніх напівсфер має дві внутрішні. Всі чотири напівсфери виготовлені із сталі. Маса гранати 530 грам, кількість осколків 670 – 700 штук, середня маса осколків 0,46 грама, початкова швидкість розлітання осколків 1200 м/с, площа розлітання осколків 213 – 286 м<sup>2</sup>.

**Автомат Калашникова АКМ:** початкова швидкість кулі 715 м/с, вага кулі 7,9 грама, забійна сила кулі до 1400 метрів. **Кулемет РПК:** початкова швидкість кулі 745 м/с, вага кулі 7,9 грама, забійна сила кулі до 1500 метрів. **Кулемет ПКТ:** початкова швидкість кулі 855 м/с, вага кулі 7,9 грама, забійна сила кулі до 3800 метрів.

Оскільки початкові швидкості  $U < 2$  км/с, то для розрахунку пробивної здатності осколка чи кулі будемо використовувати приблизну формулу:

$h = 4,7U \times M^{1/3}$  - для осколків (куль) і пластини з середньо вуглецева сталі;

$h = 9,7U \times M^{1/3}$  - для осколків (куль) із сталі, а перешкод з інших матеріалів і сплавів.

Спочатку розрахуємо у відповідності з виразом (1) швидкість кулі (осколка) перед перешкодою, яка розташована на відстані 1 або 25 метрів (табл. 1).

Таблиця 1

Швидкість кулі (осколка) перед перешкодою

Найменування зброї (гранати)	Швидкість кулі (осколка), м/с		
	початкова	перед перешкодою на відстані	
		1 метр	25 метрів
Ручна осколкова граната Ф-1	730	727,7	675,4
Ручна осколкова граната РГН	700	696,4	614,2
Ручна осколкова граната РГО	1200	1193,7	1052,9
Автомат Калашникова АКМ	715	713,6	680,7
Кулемет РПК	745	743,5	709,3
Кулемет ПКТ	855	853,3	814

Тепер розрахуємо пробивну здатність осколків чи кулі на відстанях 1 і 25 метрів (табл. 2).

Таблиця 2

Пробивна здатність осколків чи кулі

Найменування зброї (гранати)	Матеріал перешкоди	Пробивна здатність кулі (осколка) перешкоди, м, на відстані	
		1 метр, м	25 метрів
Ручна осколкова граната Ф-1	Алюміній	8,9	8,3
	Чугун	4,3	4,1
	Свинець	8,9	8,3
	Латунь	8,9	8,3
	Сталь	4,3	4,1
Ручна осколкова граната РГН	Алюміній	5,1	4,5
	Чугун	2,5	2,2
	Свинець	5,1	4,5
	Латунь	5,1	4,5
	Сталь	2,5	2,2
Ручна осколкова граната РГО	Алюміній	8,91	7,86
	Чугун	4,32	3,8
	Свинець	8,91	7,86
	Латунь	8,91	7,86
	Сталь	4,32	3,8
Автомат Калашникова АКМ	Алюміній	13,7	13,2
	Чугун	6,65	6,37
	Свинець	13,7	13,2
	Латунь	13,7	13,2
	Сталь	6,65	6,37
Кулемет РПК	Алюміній	14,4	13,71
	Чугун	6,97	6,65
	Свинець	14,4	13,71
	Латунь	14,4	13,71
	Сталь	6,97	6,65
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62
Кулемет ПКТ	Алюміній	16,5	15,73
	Чугун	7,995	7,62
	Свинець	16,5	15,73
	Латунь	16,5	15,73
	Сталь	7,995	7,62

Аналізуючи отримані дані (табл. 2) можна зробити висновок, що найбільшою пробивною здатністю володіє куля кулемету ПКТ.

В табл. 3 представлені розрахунки ваги бронезилетів, які виготовлені з різних матеріалів розміром захисних плит 25 на 30 сантиметрів, для захисту від кулі кулемету ПКТ. Для надійності захисту товщину захисних плит вибираємо на 2 мм більшими за пробивну здатність.

Таблиця 3

Розрахунок ваги бронезилетів

Матеріал захисної плити	Захисна здатність плити на відстані 1 метр, мм	Вага бронезилету, кг
Алюміній	18,5	10,2
Чугун	9,995	10,5
Свинець	18,5	42,4
Латунь	18,5	31,9
Сталь	9,995	11,7
Цинк	18,5	26,63

Якщо бронезилет буде виготовлений із армідного волокна і тканин на їх основі (щільність  $\rho = 1500 \text{ кг} / \text{м}^3$ ), який буде мати ті ж розміри, що виготовлений із сталевих плит, і володіє тією ж захисною здатністю, то його вага буде 2,5 кг.

В останнє десятиліття все більше уваги приділяється можливості забезпечити піротехнікам захист не тільки від осколків, але й від куль, що є більш складною задачею. Маса протикульного бронезилету в середньому досягає до 12 кг, а зменшення маси зв'язано з захищеністю його. Виходом із ситуації може бути використання «рідинної броні». Дослідження в цій області направлені на створення нового виду захисного покриття, яке при ударі перетворюється на непробивну броню. Ефект захисту досягається дякуючи застосуванню розчинів з надтвердими наночастинками в невиспаровуючій рідині [8]. При механічному тиску високої енергії наночастини збираються у кластери, змінюючи при цьому структуру розчину рідини, яка перетворюється в твердий композит. Цей фазовий перехід здійснюється менше чим за мілісекунду, що дозволяє створити захист від різних механічних дій. Сьогодні актуальним стає заміна бронепластин і захисних тканин рідиною або гелієм, які миттєво твердіють при попаданні кулі. По суті, нова броня – рідина із розтвореним в ній великої кількості твердих наночастинок (розчин колоїдний). При попаданні в нього кулі або при іншому різкому ударі енергія імпульсу передається гелію і він загусає. При цьому швидкість затвердіння буде залежати від сили одержаного удару. Перевага «рідинної броні» є менша в порівнянні з «стандартними» вага, а також розподіл сили удару по всій площі предмету спорядження. Це досягається за рахунок вихідного рідинного стану гелію. Удар, що приймається твердою бронепластиною, зосереджений в одній точці і часто наносить воїну серйозні травми: від гематом до переломів.

Якщо б бронезилет був виготовлений із «рідинної броні», і мав би ті ж розміри, що виготовлений із сталевих плит, і володів тією ж захисною здатністю,

то його вага була б близько 1,8 кг. Але такими технологіями на теперішній час Україна не володіє.

## Висновки

Проведені дослідження і розрахунки показали, що для захисту саперів від осколків і куль таких видів зброї та гранат, як автомат Калашникова АКМ, кулемети РПК і ПКТ, гранат Ф-1, РГН і РГО, необхідно оснастити саперів сталевими бронезилетами розміром захисних плит  $25 \times 30 \times 0,8$  см, при цьому вага його буде близько 11,7 кг, або бронезилетом із армідного волокна і тканин на їх основі, який буде мати ті ж розміри, що виготовлений із сталевих плит, і мати вагу приблизно 2,5 кг. Слід зазначити, що вартість такого бронезилету буде значно вищою за аналогічний сталевий.

## Список літератури

1. Кодекс цивільного захисту України / Відомості Верховної Ради, 2013, № 34-35, ст. 458.
2. Емельянов В.М. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях / В.М. Емельянов. – М., 2002. – 289 с.
3. Буланов Г.С. Математичні методи дослідження операцій. Навчальний посібник / Г.С. Буланов, В.О. Паламарчук. – ДДМА, 2005. – 84 с.
4. Колодяжний В.М. Математическое программирование и элементы теории "Исследования операций" / В.М. Колодяжний. – Х. : Нац. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2001. – 229 с.
5. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – 3-е изд, испр. – М.: Физматлит, 2004. – 1488 с.
6. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара / Л.П. Орленко. – М.: Физматлит, 2006. – 304 с. – ISBN 5-9221-0638-4.
7. Композиційні волоконнозміцнені захисні конструкції в умовах ударної взаємодії / В.В. Астанін, О.І. Олефір, Г.О. Щегель, В.В. Шаповал, А.О. Олефір // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2012. – № 2 (26). – С. 12-21.
8. Разработки XXI века: «жидкая» броня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mf.mail.ru/news/407640.html>.

Надійшла до редколегії 24.10.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук співр. О.М. Соболев, Національний університет цивільного захисту України, Харків.

## ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЗАЩИТА САПЕРОВ ОТ ДЕЙСТВИЯ ОСКОЛКОВ И ПУЛЬ

Г.В. Иванец, Е.И. Стецюк, М.Г. Иванец

Одной из основных причин получения травм или гибели саперов во время выполнения функциональных обязанностей по очищению местности от взрывоопасных предметов (ВОП) является действие ударной воздушной волны и высокоскоростное проникновение осколков гранат. В статье рассмотрена возможность использования бронезилетов и предложены их размеры и материал изготовления для защиты от пуль и осколков гранат для некоторых видов вооружения и гранат.

**Ключевые слова:** взрывоопасные предметы, пиротехнические подразделения, полимерная композиционная броня, жидкая броня, математическая модель, пробивная способность, бронезилет.

## INDIVIDUAL PROTECTION OF SAPPERS FROM THE ACTION OF THE FRAGMENTS AND BULLETS

G.M. Ivanets, E.I. Stetsyuk, M.G. Ivanets

One of the main causes of injury or death to the sappers during functional responsibilities to rid the area of explosive ordnance (EO) is the action of the shock waves and high-speed air penetration by a grenade. The article discusses the possibility of the use of body armor, and offer them to the size and material of manufacture for protection from bullets and shrapnel grenades for certain types of weapons and grenades.

**Keywords:** explosives, pyrotechnic units, polymer composite armor, liquid armor, mathematical model, penetration, flak jacket.