

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 623.445

ОЦІНКА ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ БРОНЕЖИЛЕТІВ В УМОВАХ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Куриляк В.В.

Український гуманітарний інститут

Хорошилов О.М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Досліджуються захисні властивості бронезилетів «Оберіг-5» та «Панцир 3-95М» в умовах ударних навантажень. Проведені численні експериментальні випробовування по дослідженню захисних властивостей бронезилетів та встановлені їх ударні характеристики. Запропоновано формулу залежності швидкості кулі від дистанції пострілу, яка дозволяє розрахувати безпечну відстань для бійця та глибину деформації бронезилету після влучення кулі.

Ключові слова: бронезилет, ударні навантаження, безпечна відстань, глибина деформації.

Постановка проблеми. Головною задачею при проектуванні бронезилетів є створення ефективного захисного елемента за допомогою якого людина зможе захистити себе від дії холодної та вогнепальної зброї, а також від уламків снарядів, мін та гранат [1]. Перевірка якості захисного шару (бронепластин) бронезилету проводиться на етапі проектування і передбачає експериментальне застосування багатофакторного балістичного випробовування. Основний зміст якого включає дослідження трьох ударних характеристик, таких як: швидкість, деформація та відкольна міцність. У випадку якщо бронезилет контактує з тілом людини існує спеціальний критерій визначення допустимої глибини деформації, яка не повинна перевищувати товщину захисного шару бронезилету [2-3]. Під час проведення експериментальних випробовувань в якості тіла людини використовують технічний пластилін або спеціальні експериментальні моделі грудної клітини. Проблема полягає в тому, що при використанні пластиліну складно оцінити ступінь травмування людського тіла, а багатофункціональні експериментальні моделі не відображають весь спектр негативних впливів (постріли під різними кутами, різні відстані під час розриву бойових снарядів і т.д.) на бронезилет, оскільки випробовування проводяться в виробничих умовах [4-6]. Для перевірки захисних властивостей бронезилетів використовують експериментально-аналітичний шлях оптимізації конструкцій бронепластин (захисних перешкод), який дозволяє швидко визначити оптимальне співвідношення параметрів фіксованого впливу (відстань, швидкість, деформація, маса кулі), але даний метод є витратним і дає приблизні результати, оскільки дані, які отримані в ході експерименту математично та статистичного не обробляються. Це в свою чергу створює проблему не повної достовірності щодо безпечних для життя захисних властивостей бронезилету на конкретній відстані в зоні обстрілу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та експериментальні аспекти щодо захисних властивостей бронезилетів в умовах ударних навантажень висвітлені у наукових роз-

робках вітчизняних та зарубіжних науковців, зокрема таких як: Долганіна Ю.В., Григорян В.А., Буланова М.Е., Дашевська О.Б., Марінін В.М., Хромушин В.А. Broos H., Herlaar K., Sapozhnikov S.B., Forental M.V., Dolganina N.Yu. і багато інших.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Подальшого статистично-математичного обґрунтування потребують експериментальні дослідження щодо уточнення даних при балістичному випробуванні захисних бронепластин (бронезилетів), оскільки ДСТУ В 4103-2002 передбачає вказання на маркуванні бронезилетів достовірних даних, які повинні забезпечити власнику необхідні захисні властивості в залежності від класу бронезилету.

Метою статті є обґрунтування теоретико-методологічних засад при проведенні експериментальних випробовувань бронезилетів в умовах ударних навантажень з врахуванням існуючого державного стандарту України (ДСТУ В 4103-2002), а також визначення теоретичних закономірностей за допомогою яких можливо визначити якісні характеристики матеріалу бронезилету та безпечну відстань для бійця який використовує в якості броні «Оберіг-5» та «Панцир 3-95М».

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день воєнно-промислові комплекси багатьох країн світу розробляють вогнепальну зброю паралельно модернізуючи бронезилети, котрі повинні захищати від неї солдата. Цей процес має перманентний характер. У вогнепальної зброї постійно підвищують кінетичну енергію, яка вкладається в кулю за рахунок підвищення її швидкості і ваги. Не стоїть на місці і процес удосконалення матеріалів бронезилетів. Наприклад, в Україні за останні роки з'явилися розробки нових зразків бронезилетів таких як: «Оберіг-5», «Панцир 3-95М» та інші. Відомо, що захисну якість бронезилетів характеризує в першу чергу матеріал бронепластин, які використані в основі захисної конструкції. Якісні властивості повинні бути зв'язані з механічними характеристиками бронезилету, глибиною його деформації, а також з такими характеристиками стрілкової зброї як вага кулі і швидкість її руху до моменту зіткнення

з поверхнею бронезилету. Крім того друга частина дослідницької роботи передбачає отримання експериментальних даних залежності швидкості руху кулі від відстані і визначення дистанції на якій матеріал бронезилету руйнується.

Кінетична енергія, урахуванням інерційної сили визначається за формулою:

$$P = A = m \cdot V^2 \quad (1)$$

де P – кінетична енергія тіла, що рухається (Дж);
 m – маса тіла, що рухається (кг);
 V – швидкість тіла, що рухається (м/с).

Робота виникнення деформації у будь якого матеріалі або тілі згідно закону Гука визначається за формулою:

$$A = \frac{D \cdot \varepsilon}{2} \quad (2)$$

де A – робота (Дж);
 D – жорсткість матеріалу мішені (МПа*м²);
 ε – деформація матеріалу мішені (м).

Таким чином прирівнюючи роботу у формулах (1) та (2) отримуємо наступне рівняння:

$$\frac{D \cdot \varepsilon}{2} = m \cdot V^2 \quad (3)$$

Відомо [1], що швидкість кулі залежить від дистанції на який був виконаний постріл. В нашому випадку постріли по мішені були здійснені з автомата Калашникова АКС74У. Експериментальні дані дослідження представлені в таблиці 1.

Таблиця 1
Відстань та швидкість кулі АКС74У

Дистанція пострілу, S (м)	0	100	200	300	400	500
Швидкість кулі, V (м/с)	735	646	563	486	417	357

Крім того наведені [2], експериментальні дані, що автомат АКС74У при куті зустрічі 90° пробиває сталений лист товщиною 3,0 мм з дистанції 500 м, а лист товщиною 5,0 мм з дистанції 210 м.

Таким чином використовуючи числові дані таблиці 1 виведемо формулу залежності швидкості кулі від дистанції пострілу з автомата Калашникова АКС74У.

$$V_i = V_0 (1 - k \cdot S) \quad (4)$$

де V_0 – початкова швидкість кулі (м/с);
 V_s – швидкість кулі на дистанції (м/с);
 S – задана відстань пострілу (м);
 k – емпіричний коефіцієнт, який дорівнює $k = 1,029 \cdot 10^{-3}$.

На основі застосування формули (4) складена таблиця 2 в якій представлені результати порівняння експериментальних та розрахункових даних з визначенням величини похибки.

Таблиця 2
Порівняння експериментальних та розрахункових даних та визначення швидкості кулі на різній відстані

Дистанція пострілу, S, м	0	100	200	300	400	500
Експериментальна швидкість кулі, V, м/с	735	646	563	486	417	357
Розрахована швидкість кулі, м/с	-	659	584	508	432	357
Похибка у розрахунках, %	-	2,07	3,7	4,57	3,7	0%

Результати, які наведені в таблиці 2, свідчать про те, що розраховані значення швидкості кулі відрізняються від експериментальних не більш ніж на 5-7%. Таким чином, формула (4) є придатною для проведених розрахунків. Крім того за допомогою формули (3) було випробувано та розраховано жорсткість матеріалу бронезилету «Оберіг-5» та сталюого листа, який пробивав кулею.

В результаті виконаних розрахунків отримано жорсткість (D) сталюого листа товщиною 3,0 та 5,0 мм, яка становить 0,248 МПа*м², а D матеріалу бронезилету «Оберіг-5» відповідно дорівнює 0,255 МПа*м². В результаті встановлено, що матеріал бронезилету має не значну перевагу по показнику жорсткості. Варто зазначити, що бронезилет «Оберіг-5» діє на підставі ДСТУ В 4103-2002. Таким чином в формулі (3) відомі всі співмножники, тому за допомогою формули (3) можливо перевірити похибки вимірювань глибини деформації, які були отримані в результаті виконаних пострілів на різних відстанях.

Таблиця 3
Визначення глибини деформації металевих пластин бронезилету «Оберіг 5»

№	Швидкість, V, м/с	Швидкість відколу матеріалу, W, м/с	Глибина деформації, $\in 10^{-3}$ м	Маса кулі, m 10^{-3} кг	Відстань, м
1	695	356	14,1	3,74	50
2	693	358	13,6	3,63	50
3	695	354	13,85	3,67	50
4	642	321	12,0	3,72	100
5	645	322	12,1	3,73	100
6	646	323	11,98	3,67	100
7	576	263	9,7	3,74	210
8	570	260	9,2	3,62	210
9	563	256	9,1	3,66	210
10	487	243	6,9	3,74	300
11	497	248	7,0	3,66	300
12	488	244	6,7	3,62	300
13	357	278	3,7	3,74	500
14	358	279	3,66	3,66	500
15	355	267	3,57	3,62	500

Таким чином аналізуючи данні, які отримані в таблиці 3 можна зробити наступні висновки.

1. На дистанції 50 м ми отримаємо практично зруйнований бронезилет «Оберіг-5». В даному випадку ми можемо дати наступну рекомендацію: якщо супротивник озброєний автоматами АКС74У, то на лінії огню необхідно триматися від нього на відстані більше ніж 50 м, оскільки бронезилети не зможуть забезпечити власникам необхідний рівень захисту.

2. Крім того в таблиці 3 в позиціях з 7-9 та 13-15 наведено дані [2] в яких зазначено, що на дистанції 500 м можна пробити сталевий лист товщиною 3,0 мм, який має запас міцності від 16,6...23,3%. Також вказано, що на дистанції 210 м пробивається лист зі сталі товщиною 5,0 мм. Однак, результати проведених нами досліджень показують, що на дистанції 210 м можливо пробити

ти сталевий лист товщиною 9,1...9,7 мм. Вказані розрахункові дані є особливо важливими та суттєвими при розрахуванні безпечної дистанції вояків, які користуються бронежилетами «Оберіг-5». До того ж в роботі [4] вказано тільки початкову швидкість кулі 880–900 м/с і результати експериментів щодо визначення глибини деформації в залежності від швидкості кулі та її ваги.

Крім вище наведеного в таблиці 4 представлені розрахункові дані, які показують, якою є безпечна відстань на лінії вогню для власників бронежилету «Оберіг-5»

Таблиця 4
Результати розрахунку безпечної відстані для користувачів бронежилету «Оберіг-5»

Відстань	Розрахункова швидкість, V м/с	Маса кулі, m 10 ⁻³ кг	Глибина деформації, ∈ 10 ⁻³ м
0	890	–	
100	798	3,68	Пробій
150	752	3,68	Пробій
165	738	3,62	15,4
170	735	3,62	15,3
190	716	3,74	15,0
		3,62	14,5
200	706,9	3,74	14,6

З таблиці видно, що користувачам бронежилету «Оберіг-5» необхідно мати на увазі, що відстань до супротивника при відкритому вогні з автомату Калашникова повинна становити більш ніж 200 м.

В таблиці 5 представлено експериментальні дані щодо розрахунку глибини деформації для бронежилету «Панцир 3-95М», який належить до 4-5 класу захисту. В матеріал з якого був виготовлений бронежилет «Панцир 3-95М» було здійснено ряд пострілів з автомату Калашникова АК-74.

Таблиця 5
Розрахунок глибини деформації бронежилету «Панцир 3-95М»

Швидкість кулі	Маса кулі	Експериментальна глибина деформації	Розрахована глибина деформації
860	9,0	15	15
865	9,0	17	15,1
870	9,1	16	15,52
865	9,2	17	15,51
875	9,1	15	15,7
860	9,0	16	15,0
875	9,2	16	15,8
735	3,64	5	4,43
734	3,63	6	4,41
733	3,62	5	4,38

З таблиці 5 видно на прикладі бронежилету «Панцир 3-95М», що виробники під час реалізації захисного воєнного обладнання в деяких випадках вказують приблизні результати експериментального випробування, які при математичному розрахунку становлять різницю від 2% до 10%. Це в свою чергу має вагомий вплив на розрахунок безпечної відстані для вояків, які користуються бронежилетами «Оберіг-5» та «Панцир 3-95М» особливо у випадках, коли вони знаходяться в зоні відкритих бойових дій.

Крім даних представлених в таблиці на рисунку 1 за допомогою циклограми «павутиння» якості зображено динамічні характеристики матеріалу бронежилету «Панцир -3-95М». Якість кожної характеристики має відносний характер і представлена від 0 до 1. Тобто якщо один із ударних параметрів матеріалу дорівнює 0,8 і більше це вважається достатньою якістю для майбутнього використання матеріалу в конструкції бронежилету і навпаки.

Крім даних представлених в таблиці на рисунку 1 за допомогою циклограми «павутиння» якості зображено динамічні характеристики матеріалу бронежилету «Панцир -3-95М». Якість кожної характеристики має відносний характер і представлена від 0 до 1. Тобто якщо один із ударних параметрів матеріалу дорівнює 0,8 і більше це вважається достатньою якістю для майбутнього використання матеріалу в конструкції бронежилету і навпаки.

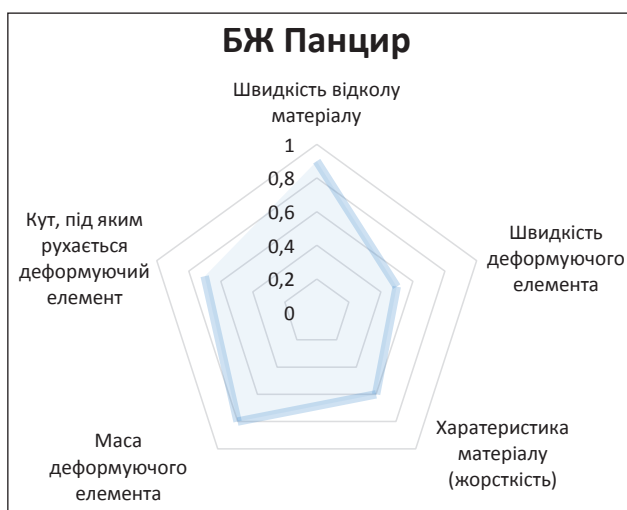


Рис. 1. Динамічні характеристики бронежилету «Панцир 3-95М»

Таким чином рисунок 1 наочно демонструє якісні характеристики броне пластин, що в свою чергу дозволяє достовірно визначити який із захисних параметрів бронежилету має більше або менші захисні властивості.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Отримана формула для визначення глибини деформації броне пластин при протиставленні жорсткості броне матеріалу до потенціальної енергії кулі, яка виражається в її вазі та швидкості руху. Формула дозволяє визначити глибину деформації броне пластин в залежності від ваги кулі та швидкості її руху.

2. Запропонована формула залежності швидкості кулі від дистанції, яка дозволяє виконати розрахунок показників швидкості кулі при проходженні дистанцій від стрілкової зброї до броне пластини, а також визначити швидкість кулі та ймовірну глибину деформації броне пластини для конкретної дистанції.

3. Запропоновані формули дозволяють визначити точну дистанцію на якій буде пробито бронежилет «Оберіг-5» або «Панцир 3-95М».

4. Практична значимість роботи полягає в тому, що виробники бронежилетів мають змогу при реалізації товару вказати на маркуванні безпечну відстань на якій не буде задано суттєвої шкоди власнику бронежилету.

Список літератури:

1. Долганина Л.Ю. Моделирование ударных процессов в тканевых бронежилетах и в теле человека на вычислительном кластере «Скиф Урал» / Л.Ю. Долганина, С.Б. Сапожников, А.А. Маричева // Вычислительные методы и программирование. – 2010. – № 11. – С. 117-126.
2. Вологжанин Р.О. Защитные свойства бронежилетов / Р.О. Вологжанин, О.Ю. Вологжанин, А.П. Рыбаков // Первский военный институт внутренних войск МВД РФ. – 2011. – № 12. – С. 37-41.
3. Чистяков Е.И. Бронежилеты / Е.И. Чистяков, Ю.Б. Ивлиев // Мастер-ружье. – 1999. – № 34. – С. 50-54.
4. Recht R.F. Analytical modeling of plate penetration dynamics // High Velocity Impact Dynamics / J.A. Zucas, R.F. Recht. New York: Wiley, 1990. – 455 s.
5. ГОСТ Р50744-95. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования.
6. NIJ Standard – 0101.06. Ballistic Resistance of Body Armor.
7. Долганина Н.Ю. Связь динамической прочности арамидных тканей с искривлением нитей в них / Сапожников С.Б. // Наука и Технологии. Труды XXV Российской школы и XXXV Уральского семинара, посвященных 60-летию Победы. – М., 2005. С. 103-110.

Куриляк В.В.

Украинский гуманитарный институт

Хорошилов О.Н.

Украинская инженерно-педагогическая академия

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БРОНЕЖИЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ УДАРНЫХ НАГРУЗОК**Аннотация**

Исследуются защитные свойства бронежилетов «Оберег-5» и «Панцирь 3-95М» в условиях ударных нагрузок. Проведены многочисленные экспериментальные испытания по исследованию защитных свойств бронежилетов и установлены их ударные характеристики. Предложена формула зависимости скорости пули от дистанции выстрела, которая позволяет рассчитать безопасное расстояние для бойца и глубину деформации бронежилета после попадания пули.

Ключевые слова: бронежилет, ударные нагрузки, безопасное расстояние, глубина деформации.

Kuryliak V.V.

Ukrainian Institute of Arts and Sciences

Horoshylov O.M.

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

**ASSESSMENT OF QUALITY OF BULLETPROOF VEST MATERIALS
IN CONDITIONS OF SHOCK LOAD****Summary**

The protective properties of «Oberig-5» and «Pantsyr 3-95M» armor-piercing under shock load conditions are studied. Numerous experimental tests have been carried out on the study of protective properties of the bulletproof vest and their shock characteristics have been figured out. The formula, which describes the dependence of the speed of the bullet on the distance of the shot is proposed. This formula allows calculating the safe distance for the soldier and the depth of deformation of the bulletproof vest after the hit of the bullet.

Keywords: bulletproof vest, shock load, safe distance, depth of deformation.