

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРЕДЕЛНАТА БАЛИСТИЧНА СКОРОСТ НА КУРШУМИ С РАЗЛИЧНИ МЕХАНИЧНИ КАЧЕСТВА

Пламен Чернокожев<sup>1</sup>, Борислав Генов<sup>2</sup>, Георги Генов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Шуменски университет „Еп. К. Преславски“

<sup>2</sup> Институт по отбрана  
e-mail: genov@abv.bg

**Ключови думи:** критерии за балистична защита, балистични изпитвания

**Резюме:** *Защитеността срещу балистични заплахи на материалите за балистична защита е прието да се оценява по определени критерии. В практиката се използват редица стандартизирани критерии, които използват сравнително леки математически апарати и позволяват достоверни анализи на качествата на изпитваните продукти.*

*Независимо от тези опростени методи, в специализираната литература се срещат по-прецизни методи, които са по-подходящи за научни изследвания на устойчивостта на балистичните материали. Именно един от тези методи ще бъде проверен експериментално в нашето изследване.*

## BALLISTIC LIMIT ESTIMATION FOR DIFFERENT PROJECTILES

Plamen Chernokojev<sup>1</sup>, Borislav Genov<sup>2</sup>, Georgi Genov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bishop K. Preslavski University of Shoumen

<sup>2</sup> Defence Institute  
e-mail: genov@abv.bg

**Keywords:** ballistic limit, ballistic testing

**Abstract:** *The protection against ballistic threats of materials for ballistic protection is valued according to specific criteria. In practice, a number of standardized criteria are used which employ relatively light mathematical methodology and allow reliable analysis of the quality of tested materials and products.*

*Despite these simplified methods, more accurate methods are to be found in literature which are better suited to research the sustainability of ballistic materials. It is one of these methods that will be verified experimentally in our study.*

### I. Въведение

Под пределна балистична скорост, гранична (критична) скорост, или балистическа граница, граница на пробиването, трябва да се разбира онази минимална скорост, която трябва да притежава куршума, за да може той или негов елемент, преодолявайки съпротивлението на якостните характеристики на собствени небойни елементи - корпус, оловна риза и др. да извърши успешно пробиването на броневата преграда на противниковото съоръжение и други след него защитни средства и все пак да му остане още достатъчно количество кинетична енергия (вектор остатъчна скорост  $V_{20ст}$ ) да поразява и целта, в конкретния случай тя може да бъде жива сила, важна апаратура или друг обект от който зависи боеспособността на войсковата единица. Следователно пределната балистическа скорост се явява граничната критична скорост, при по-ниска от която куршума (сърдечника) не може да пробие преградата или пък ако я преодолее няма да има достатъчна енергия да поразява целите зад преградата.

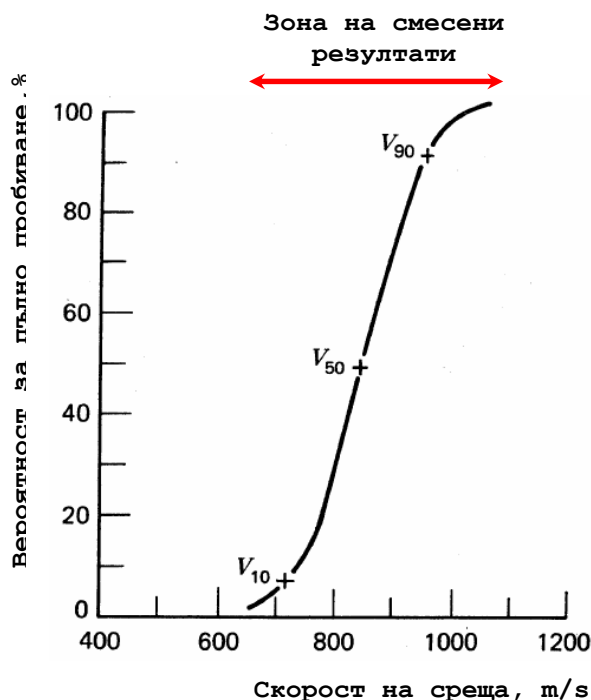
### II. Определяне на пределната балистична скорост

Пределната балистична скорост се оценява по няколко критерия, получавани на базата на стандартизирани методи за изпитване [2, 3, 4, 5]. Тези, които са валидирани понастоящем се свеждат до определяне на:

- пределна балистична скорост V50;
- VLNP и VLP;
- пределна балистична скорост V0.

### 1. Определяне на пределната балистична скорост V50

Пределната балистична скорост е тази скорост на среща при която имаме 50% вероятност за пробиване, респективно непробиване на преградата. Въпреки, че идеята за този критерий е позитивна, към момента стандартизираните процедури, описващи метода дават предпоставки за неточно определяне на този критерий, което пък дава възможност резултатите да се манипулират. Разбира се, трябва да се отчете, че процедурата по определяне на този критерий може да варира в широки граници и по този начин да се избегнат тези предпоставки за неточно определяне.



Каква е философията на този критерий. Изстрелването на достатъчен брой проектили (куршуми, симулатори на фрагменти или осколки) с близки по значение скорости, „разположени“ около очакваната скорост на пробиване на преградата и последващата математическа обработка на получените данни за скоростта би довело до получаване на тази стойност на скоростта при която имаме вероятност за пробиване, респективно непробиване на преградата 0,5 (в проценти 50%) (фиг. 1).

Фиг. 1. Графично онагледяване на критерия V50

Този критерий е особено полезен при определяне на балистичните качества на прегради, при които балистичните качества се различават макар и незначително в различните им области – например системи за балистична защита, имащи голяма площ; системи за индивидуална балистична защита, изградени от гъвкави балистични материали; керамични елементи; системи за балистична защита, реализирани на модулен принцип и др.

Определянето на критерия V50 протича в следната последователност:

1) Достигане до константна скорост. Необходимо е да се „настрои“ изискваната или предполагаемата скорост, която очакваме да бъде V50. Обикновено това става с промяна на количеството метателен заряд и/или промяна на дължината на тестовата цев. За да бъдем сигурни, че ще се постигне винаги очакваната скорост, към стойността ѝ се добавят 8-10 m/s.

2) Проверка на креновия ъгъл на среща. Проверката се извършва за всеки проектил, като всеки проектил с кренов ъгъл по-голям от 5° следва да отпадне от изчисленията за V50. Ъгъла на среща трябва да се измерва с точност до 0,5°.

3) Първи изстрел. Първият изстрел се снаряжда така, че да се осигури скорост 25÷30 m/s под предполагаемата стойност на V50BL(P).

4) Следващи изстрели. Ако първият изстрел предизвика пълно пробиване, вторият изстрел се снаряжда така, че скоростта да е по-ниска с 15÷30 m/s. Ако първият изстрел е предизвикал частично пробиване, вторият изстрел се снаряжда така, че да осигури с около 15 m/s по-висока скорост. Нарастването с 15 m/s става дотогава, докато се постигне едно пълно и едно частично пробиване. Стрелбата продължава дотогава, докато се определи V50BL(P). За определянето на V50BL(P). Половината от изстрелите трябва да не пробиват.

5) Най-високата скорост в групата (половината пробии и половината непробии) трябва да е с не повече от 40 m/s по-висока от най-ниската в групата. Критерият V50 BL(P) се определя като средно-аритметичното число на изстрелите, удовлетворяващи изискванията.

## 2. Measurement of VLNP and VLP

VLP е най-ниската скорост, при която имаме пробиване. VLNP е най-високата скорост, при която нямаме пробиване.

Последователността на процедурата е следната:

Ако имаме пробив при първия изстрел, той се записва като VLP. След това намаляваме скоростите, докато нямаме пробив. Тази скорост се записва като условна VLNP. Намалява се още скоростта, за да се уверим, че нямаме пробив.

Ако нямаме пробиване при първия изстрел, увеличаваме скоростите, докато настъпи такова. Тази скорост се записва като условна VLP. След това се произвеждат достатъчен брой изстрели с такива скорости, за да се гарантира, че никой от тях няма да пробие, като всички са с малко по-ниска скорост от VLP.

Най-ниската скорост, при която имаме пробив, записваме като VLP. Най-високата скорост под VLP, при която нямаме пробив, се записва като VLNP.

Разликата между VLP и VLNP трябва да бъде под 10 m/s и трябва да имаме поне 14 зачетни измерени скорости.

## 3. Определяне на V0

V0 е най-ниската скорост, при която имаме перфорация. Тя се базира на принципа на сравняване на кинетичната енергия преди удара по тестовия образец и тази след пробиването му. Приема се, че тази загуба на скорост е константа, в границата на инструменталната грешка.

Когато измерената маса на входа и на изхода се приема да е една и съща, то входната и изходната скорост могат да се измерят директно. Ако и двете маси се различават, се сравняват моментите. За уловител на всички продукти след пробиването, най-често се използва балистично махало.

Когато имаме еднакви маси на входа и на изхода  $V_0$  се изчислява по следната зависимост:

$$(1) \quad V_0 = [(V_s)^2 - (V_e)^2]^{1/2}$$

където  $V_s$  ударната скорост, а  $V_e$  е изходната

Когато имаме различни маси:

$$(2) \quad p_0 = K [(p_s)^2 - (p_e)^2]^{1/2}$$

където  $p_s$  е момента на входа, а  $p_e$  – на изхода

Използвайки [1], за всички изстрели се съставя зависимост "изходна скорост" = f("ударна скорост"). Скоростите, които трябва да се използват варират в границите от  $V_0$  до стойност на скоростта 1,5.  $V_0$

Ако използваме [2] се използва същата процедура, с тази разлика, че се съставя зависимостта "момент на изхода" = f("момент при удара").

Разбира се, налице са и аналитични зависимости за определяне на пределната балистична скорост. Голяма част от тях са изложени в [1]. На експерименталната им проверка е посветен следващия раздел.

## III. Експериментални резултати

За експерименталните изследвания се използваха 5,45 mm куршуми със следните характеристики :

- боен елемент - стоманен сърдечник - изготвен от една от стоманите 10 кп, АГ13, 38ХНЗМАФА, 38ХС-Ш, 65Г и Р6А2М5;

- твърдост на сърдечниците в границите  $193 \pm 667 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  ;

Въздействието им беше оценявано по преграда стоманена плоча от Ст20 с граница на провлачване  $\sigma_s = 240 \text{ MPa}$  с различни дебелини (4, 6, 8 и 10 mm).

Предвид факта, че тестовите куршуми с този калибър имат относително малка енергия, при стрелба на 300 mm дебелина на стоманената плоча 10 mm, никой от предложените сърдечници не премина през преградата. При дебелина 8 mm сърдечниците с твърдост  $HV < 486 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  и разстояние на стрелбата 200 m също не преминават през плочата. Затова с оглед натрупване на статистически материал, за меродавни се приеха резултатите само по бронеплочи с дебелина 4 и 6 mm.

Следователно, пределната балистическа скорост зависи от много фактори които бихме могли да сведем до :

- фактори произтичащи от собственото оръжие - калибър, форма на куршума, маса, твърдост, плътност и характерни размери на сърдечника, термообработка, пластичност, крехкост на материала, нови качества, които придобива сърдечника в процеса на пробиване;

- фактори произтичащи от условията на изстрела - разстояние на стрелбата, ъгъл на излитане на куршума, атмосферните условия влияещи на началната скорост и неговата траектория;

- фактори произтичащи от устойчивостта на поразяващите цели - вид и качества на бронята, форма (плоскост, полусфера, многослойна) дебелина на стената, ъгъл на срещане на преградата.

Това налага необходимостта от нови анализи - как да групираме или как в условията на изстрела ще бъдат групирани конкретните условия и обстоятелства.

Дали оръжието ще бъде достатъчно универсално за да може да удовлетворява изискванията за поразяване на всички цели появяващи се в бойната обстановка от боекомплекта, който да се използва според конкретните условия и обстоятелства.

Напълно ясно е, че е невъзможно и безмислено да се правят такива опити, а и какви точно тактико-технически характеристики да се предивяват към съответните стрелкови системи. Затова когато ще се наложи да определяме пределната балистическа скорост на ново създадени куршуми, както е в нашия случай, трябва първо да се съобразяваме с онези тактико-технически характеристики, които са били предивени към дадения вид стрелково оръжие още при неговото конструиране, както и с тенденциите му за бъдещото му развитие. На второ място трябва да се съобразяваме с условията, които са наложени създаването на нов вид боеприпаси.

Относно разстоянията на които да се поразяват целите. Куршумите с калибър 5,45 mm имат малка маса и бързо губят своята скорост при полета. Като изхождаме от доказаните бойни характеристики на предлаганите куршуми с калибър 5,45 mm и от тяхната скорост по траекторията, бихме могли да групираме разстоянията на стрелбата :

- малки разстояния - до 100 m;
- средни разстояния - 100 ... 300 m;
- големи разстояния - 300 ... 500 m;
- пределни разстояния - над 500 m.

На основание на тези разсъждения, би трябвало тактико-техническите характеристики на ново конструираните бойни припаси, на базата на изследваните сърдечници, да удовлетворяват някои усреднени условия и параметри по отношение на пределната балистична скорост.

От какво да изхождаме когато ще определяме тези усреднени условия или изисквания към пределната балистическа скорост. Уместно ще бъде да се обосновем на следното :

- резултатите от проведените експериментални и теоретични изследвания на бойните качества, които показаха предлаганите куршуми със стоманен сърдечник от материали с висока твърдост;

- опитно определените данни за пробиване на броня с различни дебелини от различни разстояния и с различни сърдечници;

- целите които сме поставили на средни и пределни разстояния;

- от тактико-техническите характеристики на АК 74;

- от бойните задачи, които се поставят пред стрелковото подразделение в боя.

Като се съобразяваме с горните изисквания и на базата на анализа и заключенията предложени в досегашните етапи на настоящата работа, относно действието на предлаганите сърдечници по стоманени плочи, дървени щитове и по други защитни средства с успех би ни служила една приблизително определена граница на балистическата скорост на куршума определена по следните формули:

$$(3) \quad V_{\text{пр}} \geq k_1 \cdot V_0$$

$$(4) \quad V_{\text{1ост}} \geq k_2 \cdot V_{\text{пр}} \geq k_d \cdot V_0$$

където :

$V_0$  - начална скорост;

$V_{\text{пр}}$  - пределна балистическа скорост;

$V_{\text{1ост}}$  - скорост на сърдечника, след пробиване на плочата.

За приетите условия коефициентите  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_d$  имат следните приблизителни стойности:

$$k_1 = 0,72 \quad ; \quad k_2 = 0,58 \quad \text{и} \quad k_d = 0,42.$$

Относно втората остатъчна стойност коефициентът  $k_2$  е изчислен така, че  $V_{1ост}$  да може след преминаване през индивидуалните защитни средства да поразява и човешкото тяло за което е достатъчна скорост около 200 m/s. Оттук :

$$(5) \quad V_{2ост} \geq k_2 \cdot V_{1ост} \geq 0,26 \cdot V_0$$

Разбира се, едно окончателно твърдение на горното е необходимо да се потвърди и разшири от още доказателства.

На този етап от направените изследвания предлаганите сърдечници отговарят на условието  $V_{пр} \geq 0,72 \cdot V_0$  при разстояние на стрелбата 250 m.

Съгласно [1] пределната балистична скорост  $V_l$  може да се определи от израза:

$$(6) \quad V_l = u \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^{0,15} \cdot \sqrt{f(z)} \cdot \left(\frac{d^3}{M}\right)$$

където:

$u$  – коефициент, зависещ от вида на мишената;

$L$  – дължина на куршума, cm;

$D$  – диаметър на куршума, cm

$$f(z) = z + e^{-z} - 1 = \sum_{j=2}^{\infty} \frac{(-z)^j}{j!};$$

$z = \frac{c}{d} \sec^{0,75} \Theta$  – коефициент, отчитащ влиянието на ъгъла на попадение на куршума върху мишената;

$M$  – маса на куршума,

$T = \delta$  – дебелина на мишената.

От тези данни не е известна стойността на  $a$  и за изследваната мишена. Поради това за определяне на пределната балистична скорост може да се използва зависимостта:

$$(7) \quad V_s = \begin{cases} 0; & 0 \leq V_{ост} \leq V_l \\ a(V_c^p - V_l^p)^{1/p}; & V_c > V_l \end{cases}$$

където:  $V_{ост}$  – остатъчната скорост на куршума след мишената, cm/s

$V_c$  – скорост на куршума при попадението върху мишената, cm/s

$a$  – параметър, определящ тангенса на ъгъла на наклона на асимптотата на кривата  $V_{ост}(V_c)$

$a = M/(M + M'/3)$ ;

$M$  – маса на куршума (или при удар на нормалата – точно) значение на масата на материала на мишената в обема на цилиндър, изрязан от проекцията на куршума върху мишената,

$M' = \rho \cdot y \cdot D_3 \cdot Z/4$

$\rho$  – плътност на материала, g/cm<sup>3</sup>

$p = 2 + Z/3$  – функция, правопрпорционална на ефективната безразмерна дебелина на мишената и да бъде нарастваща функция;

$$\text{От } V_{ост} = a(V_{сп} - V_{лр})^{1/p}$$

след преработването се получава

$$(8) \quad V_{лр} = V_{сп} - (V_{ост}/a)^p$$

$$(9) \quad Z = T/D \cdot \sec^{0,75} \Theta_0.$$

При малки разстояния на стрелба (до 50 m) може да се приеме, че куршумът среща мишената под ъгъл 90°.

$$\sec \Theta_0 = 1; \quad z = T/D$$

При дебелина на мишената  $\delta = 4\text{mm}$

$$Z = 0,4/0,56 = 0,714; \quad M' = \rho \cdot y \cdot D_3 \cdot Z/4 = 7,85 \cdot y \cdot 0,563 \cdot 0,714/4 = 0,773 \text{ g}$$

$$f(z) = 0,214; \quad a = M/(M + M'/3) = 3,415 / (3,415 + 0,773/3) = 0,93; \quad p = 2 + Z/3 = 2,238$$

Стойностите на параметрите при пресмятане на зависимостта за  $V_l$  са дадени в таблицата: таблица 4.37

Таблица

Вид стомана	$V_H, \text{ m/s}$	4mm		6mm	
		$V_{\text{ост.}} \text{ m/s}$	$V_I, \text{ m/s}$	$V_{\text{ост.}} \text{ m/s}$	$V_I, \text{ m/s}$
10кп РБ	858,3	514	698,86	490	721,21
АГ13	858,7	503	686,38	501	713,28
38ХНЗМАФА	859,1	588	631,66	536	684,18
38ХС-Ш	858,1	629	582,08	568	660,39
65Г	861,9	663	541,28	590	633,05
Р6А2М5	860,4	667	532,48	618	594,71

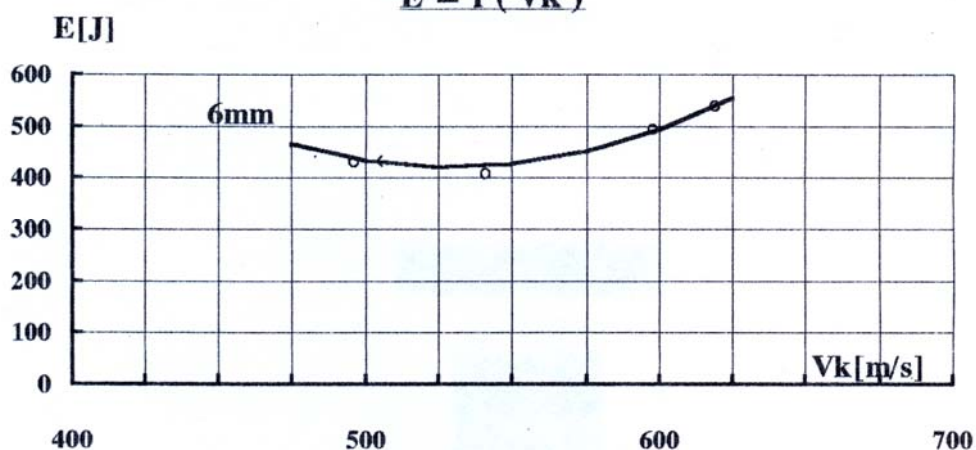
При дебелина на мишената  $\delta = 6\text{mm}$

$$Z = 0,6/0,56 = 1,1; \quad M' = \rho \cdot y \cdot D^3 Z/4 = 7,85 \cdot y \cdot 0,5453 \cdot 1,1/4 = 1,0978 \text{ g}$$

$$f(z) = 0,4329; \quad a = M/(M+M'/3) = 3,415 (3,415 + 1,0978/3) = 0,9032 \quad \rho = 2 + Z/3 = 2,367;$$

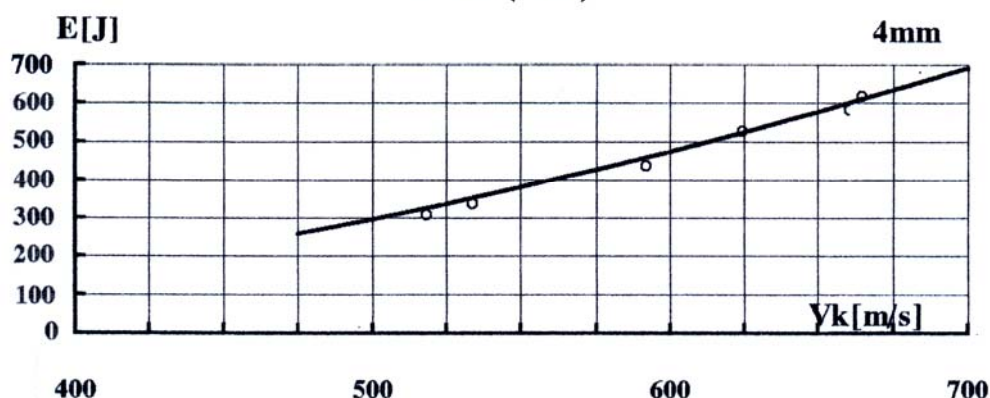
Зависимостта на  $V_I = f(HV)$  е показана на фиг. 4.10, 4.11

$$E = f(V_k)$$



Фиг. 1

$$E = f(V_k)$$



Фиг. 2

#### Литература:

- З у к а с, Дж. и др., Динамика удара, превод от английски под редакцията на Григорян С., „Мир”, Москва, 1985.
- MIL-STD-662 F V50 Ballistic Test For Armor
- STANAG 2920 ed.1 Ballistic Test Method For Personal Armor Materials And Combat Clothing
- STANAG 2920 ed.2 Ballistic Test Method For Personal Armor Materials And Combat Clothing
- NIJ Standard 0101.06 Ballistic Resistance of Body Armor