

УДК: 623.4.011

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_64

**ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ГИПЕРЗВУКОВОГО СТВОЛЬНОГО СТРЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА**
**SUBSTANTIATION OF THE MAXIMUM RATIONAL ENERGY PARAMETERS
OF A HYPERSONIC BARREL RIFLE COMPLEX**

По представлению академика РАН В.А. Петрова

Ф.А. Гришин¹, Е.А. Знаменский², А.П. Ковалев³

¹ОАО «МЗ «Арсенал», ²БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ³АО «КБ «Арсенал»

F.A. Grishin, E.A. Znamenskii, A.P. Kovalev

В статье рассматривается оптимизация энергетических параметров индивидуального гиперзвукового (5М) ствольного стрелкового комплекса (ГССК), при воздействии на биологическую ткань (в том числе защищенную средствами индивидуальной бронезащиты (СИБЗ) различных классов). Сформулированы критерии оптимизации: достаточная для поражения удельная кинетическая энергия снаряда, минимизация времени воздействия на снаряд факторов внешней баллистики, безопасная для оператора дистанция стрельбы.

Ключевые слова: удельная кинетическая энергия, снаряд, гиперзвуковой, биологическая ткань.

The optimization of the energy parameters of an individual hypersonic (5M) barrel rifle complex, when exposed to biological tissue (including those protected by means of individual armor protection of various classes) is considered. Optimization criteria are formulated: the specific kinetic energy of the projectile sufficient for destruction, minimization of the time of exposure to external ballistics factors on the projectile, safe firing distance for the operator.

Keywords: specific kinetic energy, projectile, hypersonic, biological tissue.

Практика современной войны показывает актуальность применения индивидуально-го стрелкового оружия в общевойсковом бою и для решения специальных задач [1], при этом корректный подбор характеристик стрелкового комплекса позволяет оперативно нанести объекту поражения необходимый урон, при минимизации рисков для оператора. Одним из возможных решений, позволяющих оператору работать с дистанций, затрудняющих применение противодействующей стороной средств контрбатарейной и контрснайперской борьбы, при сохранении снарядом достаточной для поражения ки-

нетической энергии перед началом терминального участка траектории, является применение ствольных стрелковых комплексов, имеющих на срезе ствола скорость снаряда в 5М и более. Следует учитывать, что задача обеспечения движения и осевой стабилизации снаряда заданной массы на гиперзвуковой скорости накладывает ограничения на аэродинамическую форму, материал, конфигурацию снаряда, а также на воздействие выстрела на оператора стрелкового комплекса.

В качестве критерия оценки поражающего воздействия снаряда примем [2] значение

удельной кинетической энергии [Дж/см²], определяемое как отношение кинетической энергии снаряда к площади мишени снаряда:

$$E_{\text{уд}} = \frac{4E_k}{\pi D^2}, \quad (1)$$

где E_k — кинетическая энергия снаряда перед началом терминального участка;

D — калибр снаряда, см.

Рассмотрим [3] влияние удельной кинетической энергии снаряда на воздействие, оказываемое им на незащищенную СИБЗ биологическую ткань (табл. 1).

Анализируя приведенное в табл. 1 описание характера поражения биологической ткани, можно сделать вывод о том, что снаряд полностью погасил свою скорость и, как следствие, передал биологической ткани всю кинетическую энергию, накопленную им перед началом терминального участка траектории. Таким образом, для поражения не защищенной СИБЗ биологической ткани, снаряд должен обладать удельной кинетической энергией не менее 100 Дж/см², что для мягких тканей соответствует глубине раневого канала порядка 6–7 см, а биологическая ткань, в свою очередь, должна обладать механическими и термодинамическими характеристиками, позволяющими снаряду передать ей на протяжении терминального участка кинетическую энергию, пропорционально приведенному выше значению.

Образование сквозного раневого канала свидетельствует о неполной передаче энергии снарядом. В этом случае [4] для оценки количества кинетической энергии, переданной объекту, следует использовать разницу величин кинетической энергии снаряда в начале и в конце терминального участка. Выражение (1) для сквозного раневого канала примет вид:

$$E_{\text{уд сквозн}} = \frac{4(E_{k \text{ кон}} - E_{k \text{ нач}})}{\pi D^2}, \quad (2)$$

где $E_{k \text{ нач}}$ — кинетическая энергия снаряда в начале терминального участка;

$E_{k \text{ кон}}$ — кинетическая энергия снаряда в конце терминального участка.

В случае разрушения снаряда на терминальном участке значение удельной кинетической энергии в конце терминального участка примет вид:

$$E_{k \text{ кон}} = \sum_{k=1}^n \frac{m_k V_k^2}{2}, \quad (3)$$

где m_k — масса k -го осколка снаряда;

V_k^2 — скорость k -го осколка снаряда в конце терминального участка;

n — количество осколков, при этом должно выполняться условие:

$$\sum_{k=1}^n m_k = m_{\text{снаряда}}. \quad (4)$$

Расположение объекта поражения за преградой может привести к частичному разрушению снаряда при ее преодолении. В таком случае использование выражения (3) для оценки характера поражения биологической ткани, не защищенной СИБЗ, требует выполнения условия наличия хотя бы одного осколка, обладающего скоростью и формой, позволяющими передать объекту поражения удельную кинетическую энергию из диапазона п. 4 табл. 1:

$$E_{\text{уд } k} = \frac{m_k V_k^2}{2S_k} \geq E_{\text{уд треб.}}, \text{ для } k \in [1 \dots n], \quad (5)$$

где S_k — площадь поперечного сечения k -го осколка;

$E_{\text{уд треб.}}$ — величина удельной кинетической энергии, требуемая для поражения биологической ткани.

Выражения (1)–(5) также применимы для рассмотрения поражения биологической ткани, защищенной СИБЗ. При этом следует рассматривать значение $E_{k \text{ нач}}$, как сумму кинетических

Таблица 1

Оценка воздействия снаряда на биологическую ткань

№ п.п.	Удельная кинетическая энергия снаряда	Характер поражения
1	14...17	Поверхностные повреждения, гематомы
2	32...36	Непроникающее ранение, сопровождаемое разрушением костной ткани
3	54...60	Проникающее ранение
4	135...145	Проникающее ранение, с повреждением задней стенки

энергий осколков снаряда и вторичных осколков, возникающих при преодолении снарядом СИБЗ. Полная кинетическая энергия группы осколков при этом, не превышает значения $E_{\text{уд скв СИБЗ}}$ — удельной кинетической энергии снаряда после преодоления СИБЗ. Для случая разрушения снаряда при преодолении СИБЗ можно сделать промежуточный вывод об уменьшении значения удельной кинетической энергии $E_{\text{уд } k}$ с увеличением площади поперечного сечения k -го осколка.

В случае ГССК — оптимальной аэродинамической формой снаряда будет являться игла. Безразмерный коэффициент формы $K\Phi_{\text{гз}}$, под которым рассматривается отношение длины снаряда к диаметру по миделю, принимает значения не менее 20...30. Соотношение (1) показывает, что геометрические и скоростные параметры снаряда ГССК оптимальны для поражения биологической ткани, однако следует учесть свойства поражаемого объекта и физику передачи энергии от снаряда к биологической ткани, выражающуюся в образовании раневого канала с постоянной и временной пульсирующей полостями [4]. Исходя из этого можно сделать вывод, что высокая энергетика, в совокупности с малой площадью поперечного сечения и конической, с малым углом при вершине, формой головной части, не позволят передать количество энергии в направлении, нормальном к направлению вектора скорости снаряда, определяемое в [4] как энергия бокового удара, достаточное для образования временной пульсирующей полости. В свою очередь, низкая эффективность передачи энергии в направлении, нормальном к направлению вектора скорости снаряда, приведет к уменьшению значения $\Delta E_k = E_{k \text{ нач}} - E_{k \text{ кон}}$, что приведет к образованию сквозного раневого канала. Следовательно, при разработке снаряда следует использо-

вать технические решения, позволяющие на терминальном участке траектории вынести центр давлений снаряда перед центром масс, а также увеличить экспансивное действие снаряда, без дробления последнего на малые осколки, не удовлетворяющие условию (5).

Следует отметить наличие прототипов ГССК с представленными выше характеристиками. Таковыми являются винтовки AAI Corporation и Steyr-Mannlicher, разработанные в рамках программы Advanced Combat Rifle (США) [5], запущенной в январе 1985 года, завершившейся в 1992 году. В качестве поражающего элемента оба прототипа использовали подкалиберный стреловидный снаряд (флешетту). Для прототипа Steyr-ACR масса вольфрамовой флешетты составляла 9,85 gr (0,63 грамма), диаметр — 1,5 мм, длина — 41 мм. Для прохождения канала ствола флешетта помещалась в пластиковый контейнер, соответствующий диаметру пули боеприпаса 5,56×45, унифицированному для стран-участников НАТО [6]. Разделение контейнера и флешетты происходило под действием набегающего потока воздуха, на расстоянии порядка 200 м от дульного среза. На выходе из канала ствола, снаряд с контейнером имели скорость порядка 1450 м/с, однако высокий коэффициент лобового сопротивления, обусловленный специфичной формой носовой части контейнера, составляющий, согласно данным [7], порядка 1,42–1,5, в совокупности с большим диаметром контейнера, приводил к снижению скорости снаряда, которая на момент разделения флешетты и контейнера составляла порядка 945 м/с. Продольный разрез боеприпаса Steyr-ACR, приведенный в [5], показан на рис. 1.

Выполним оценку скорости и удельной кинетической энергии снаряда Steyr-ACR на

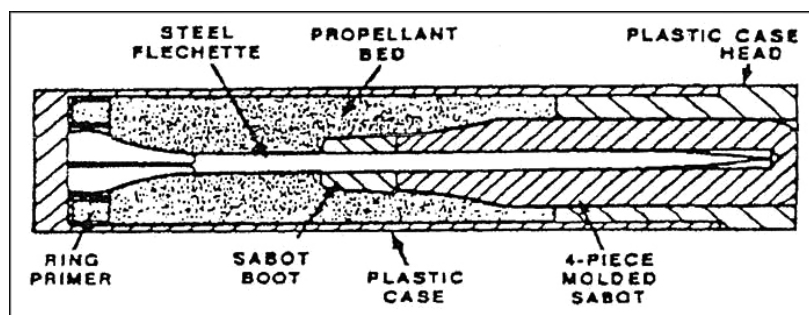


Рис. 1. Продольный разрез боеприпаса Steyr-ACR

диапазоне дистанций стрельбы 0–3000 м, для чего воспользуемся соотношением:

$$V_{D_сн} = V_0 e^{-aD}, \quad (6)$$

где

$$a = \frac{C_x \rho S_{\text{мид}}}{2m_{\text{сн}}}.$$

В качестве исходных данных примем [7]:

- коэффициент лобового сопротивления для контейнера, имеющего головную часть обратной сферической формы $C_{x_к} = 1,42$;
- коэффициент лобового сопротивления флешетты $C_{x_фл} = 0,2$;
- температура воздуха $T = 15^\circ\text{C}$;
- плотность воздуха при заданной температуре $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$;

– начальная скорость снаряда у среза ствола $V_0 = 1500 \text{ м/с}$.

Результаты расчета динамики изменения скорости снаряда Steyr-ACR приведены на рис. 2, на дистанции 200 м показан момент разделения флешетты и контейнера. Данные моделирования совпадают с материалами, приведенными в [5].

Результаты расчета энергетической возможности поражения биологической ткани снарядом Steyr-ACR после преодоления СИБЗ существующего диапазона классов, на диапазоне дистанций стрельбы [300...3000] м, приведены на рис. 3.

При выполнении расчета учтена возможность деформации снаряда стреловидной формы при преодолении СИБЗ, выражающаяся в увеличении площади пятна контакта. Коэффициент

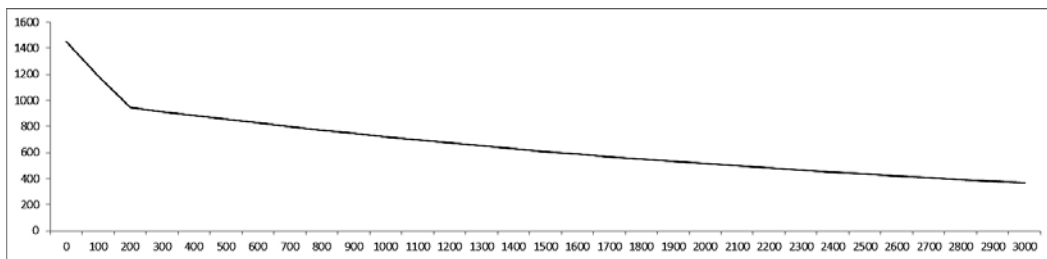


Рис. 2. Динамика изменения скорости снаряда Steyr-ACR

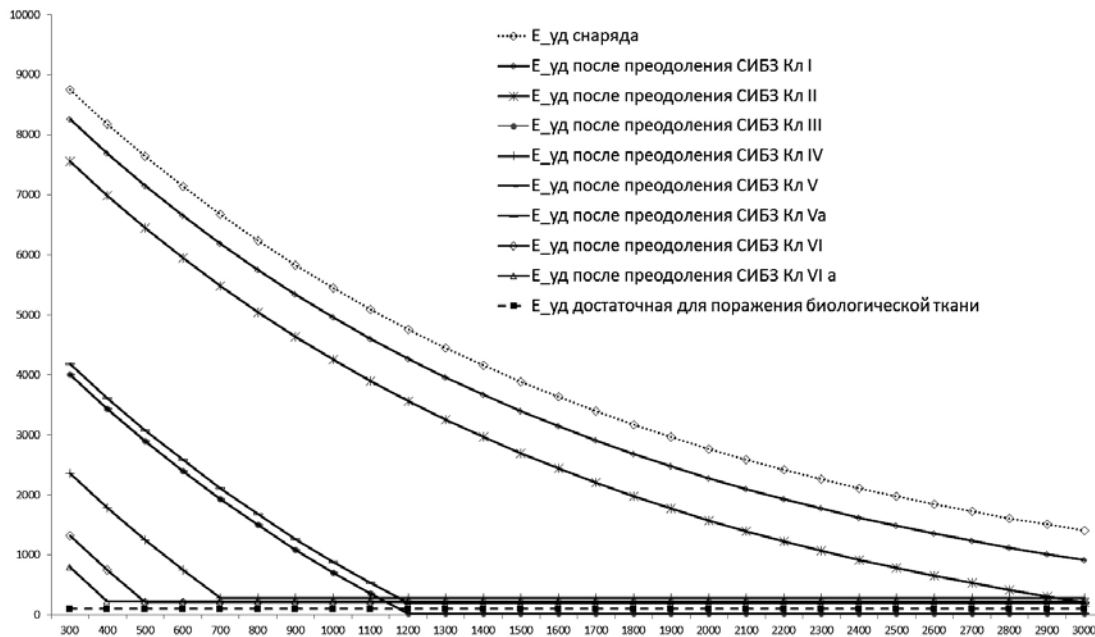


Рис. 3. Результаты расчета энергетической возможности поражения биологической ткани снарядом Steyr-ACR и осколками снаряда, образовавшимися после преодоления СИБЗ существующего диапазона классов защитной структуры

деформации принят за 1,7. Из полученных данных видно, что на дистанциях до 400 м флешетта Steyr-ACR обладает кинетической энергией, достаточной для преодоления СИБЗ до класса VIa включительно. Также следует отметить существенное падение скорости снаряда при движении совместно с контейнером до момента разделения, из чего вытекает необходимость оптимизации конструкции боеприпаса, в разрезе инженерных решений по разделению флешетты и контейнера.

Выполним оценку скорости и удельной кинетической энергии группы снарядов ГССК, обладающих различными массовыми и габаритными характеристиками, на диапазоне дистанций стрельбы 500–3000 м, для чего воспользуемся соотношением (6). В качестве исходных данных примем: коэффициент лобового сопротивления снаряда с головной частью конической формы [7] $C_x = 0,2$; температура воздуха $T = 15^\circ\text{C}$; плотность воздуха при заданной температуре $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$; начальная скорость снаряда у среза ствола $V_0 = 1500 \text{ м/с}$. В качестве прототипа примем снаряд, состоящий из сердечника требуемой массы, жаропрочного легкого аэродинамического корпуса и сбрасываемого контейнера — обтюлятора с деформируемыми ведущими пояс-

ками. Массу сердечника примем по аналогии с существующими боеприпасами для стрелкового оружия [8]. Справочно, для снарядов указанного калибра и массы, вычислим скорость и кинетическую энергию на четырех фиксированных дальностях. Исходные данные для проведения расчетов приведены в табл. 2.

Покажем технологическую достижимость выполнения снаряда приведенной конструкции снаряда. Для коэффициента формы $KФ_{гз} \in [20...30]$ и калибра снаряда $CAL \in [3...5] \text{ мм}$, по массовым характеристикам снарядов из табл. 2 вычислим требуемую плотность и выполним подбор материала сердечника снаряда ГССК, согласно данным [9] — табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает технологическую достижимость изготовления снаряда, имеющего обозначенные параметры. Исключив позиции, требующие для изготовления сердечника материалов, обладающих высокой плотностью, получим набор исходных данных для проведения расчета.

На рис. 4–6 показано распределение удельной кинетической энергии по дистанции стрельбы, для снарядов, имеющих характеристики, приведенные в табл. 3.

Таблица 2

Исходные данные для проведения расчетов

№ п.п.	Масса снаряда, г	Скорость / кинетическая энергия				Боеприпас-аналог
		500 м	1000 м	2000 м	3000 м	
1	9	1100/5445	800/2880	400/720	200/180	7.62x54, 138 gran
2	16,2	1200/11664	930/7005	650/3422	400/1296	.338" LM, 250 gran
3	19,8	1140/12866	900/8019	530/2780	320/1013	.408" CT, 305 gran

Таблица 3

Подбор материала сердечника снаряда ГССК

№ п.п.	$KФ_{гз}$, б/р	CAL, мм	Объем, мм ³	Длина, мм	Масса, г	Плотность, кг·м ³	Материал (ближайший) плотность	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	22	3	466,5265	66	9	19 291,51	Вольфрам	19300
2	20	4	1005,31	80	9	8 952,47	Медь	8940
3	20	5	1963,495	100	9	4 583,66	Сталь	7700
7	20	4	1005,31	80	16,2	16 114,44	Вольфрам	19300
8	20	5	1963,495	100	16,2	8 250,59	Медь	8940
11	20	4	1005,31	80	19,8	19 695,42	Вольфрам	19300
12	20	5	1963,495	100	19,8	10 084,06	Свинец	11340
13	30	4	1507,964	120	19,8	13 130,28	Вольфрам	19300
14	30	5	2945,243	150	19,8	6 722,70	Сталь	7700

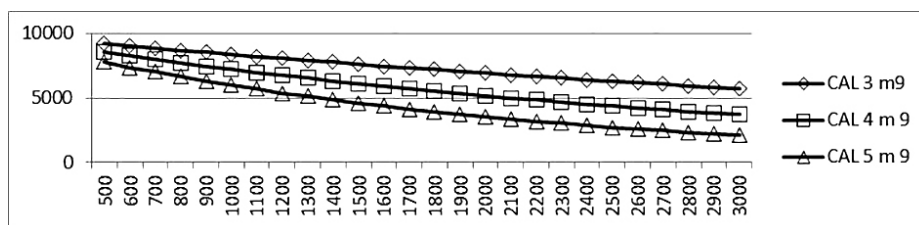


Рис. 4. Кинетическая энергия снарядов различного калибра, 9 г

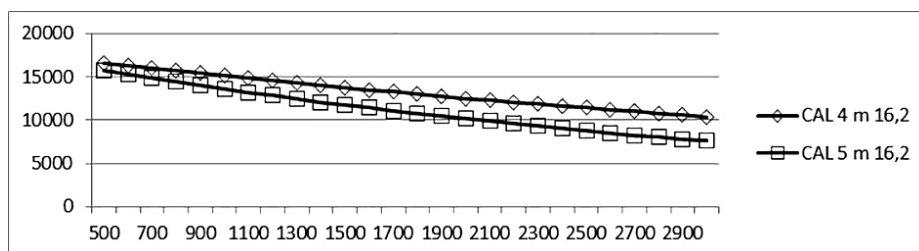


Рис. 5. Кинетическая энергия снарядов различного калибра, 16,2 г

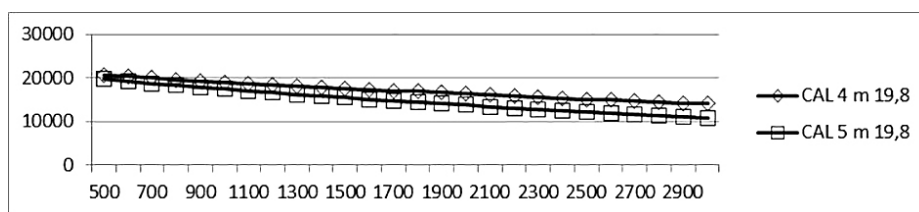


Рис. 6. Кинетическая энергия снарядов различного калибра, 19,8 г

В обозначении кривых кинетической энергии снаряда указаны: калибр снаряда, мм; масса снаряда, г. Из данных рис. 4–6 следует сделать вывод, что на исследуемом диапазоне дальностей, снаряды, обладающие характеристиками, приведенными в табл. 3, обладают энергией, достаточной для поражения биологической ткани. Оценку эффективности передачи энергии на терминальном участке следует выполнять согласно соотношению (2).

Для оценки возможности поражения биологической ткани, защищенной СИБЗ, рассмотрим классы защитных структур бронедежды по стойкости к воздействию средств поражения [10] и вычислим предельные значения удельной кинетической энергии для приведенных типов снарядов (табл. 4).

Анализ табл. 4 показывает, что, исходя из закона сохранения энергии, в зависимости от класса СИБЗ, энергия, затрачиваемая снарядом на ее

Таблица 4

Классы защитных структур бронедежды и предельная E_k

Класс	Тип сердечника	Масса, г	Скорость, м/с	Калибр, мм	E_k	$E_{уд}$
1	стальной	5,9	325	9	312	1959
2	стальной	25	335	5,45	1403	24053
2а	свинцовый	35	410	18,5	2942	4378
3	стальной нетермоупрочненный	3,4	910	5,45	1408	24138
4	стальной термоупрочненный	3,6	910	5,45	1491	25558
5	стальной нетермоупрочненный	9,6	840	7,62	3387	29707
5а	специальный	7,4	750	7,62	2081	18255
6	стальной термоупрочненный	9,6	840	7,62	3387	29707
6а	специальный	10,4	835	7,62	3626	31801

преодоление, не превышает значения, приведенного в столбце 7 табл. 4. Таким образом, группа осколков снаряда, после преодоления СИБЗ, на исследуемом диапазоне дистанций, будет иметь суммарную кинетическую энергию, равную разности значений кинетической энергии перед началом терминального участка и кинетической энергии, затраченной на преодоление СИБЗ. Рассмотрим энергетическую возможность поражения защищенного СИБЗ объекта воздействия, расположенного за преградой, преодоление которой привело к фрагментации снаряда и потере до

30 % кинетической энергии. Примем вариант дробления снаряда с заданным коэффициентом формы на фрагменты, длина которых равна диаметру. Результаты расчета энергетической возможности поражения биологической ткани приведены на рис. 7–9. В обозначении кривых удельной энергии осколка снаряда показаны: материал, калибр, масса, длина исходного снаряда. Анализ рис. 7–9 позволяет провести для снарядов (табл. 2) оценку предельной эффективной дальности, на которой возможно поражение биологической ткани, защищенной СИБЗ в объеме, приведенном в табл. 1.

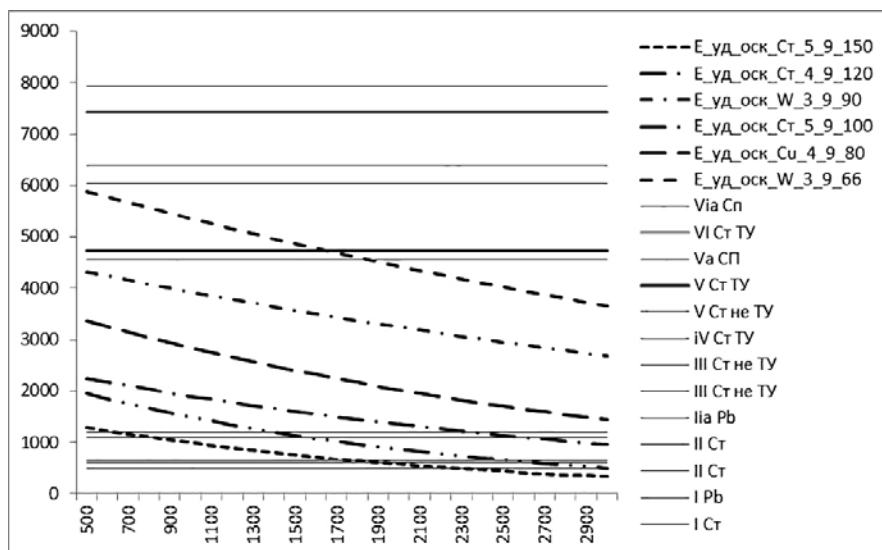


Рис. 7. Энергетическая возможность поражения защищенной СИБЗ биологической ткани осколками снарядов с различным коэффициентом формы, массой 9 г

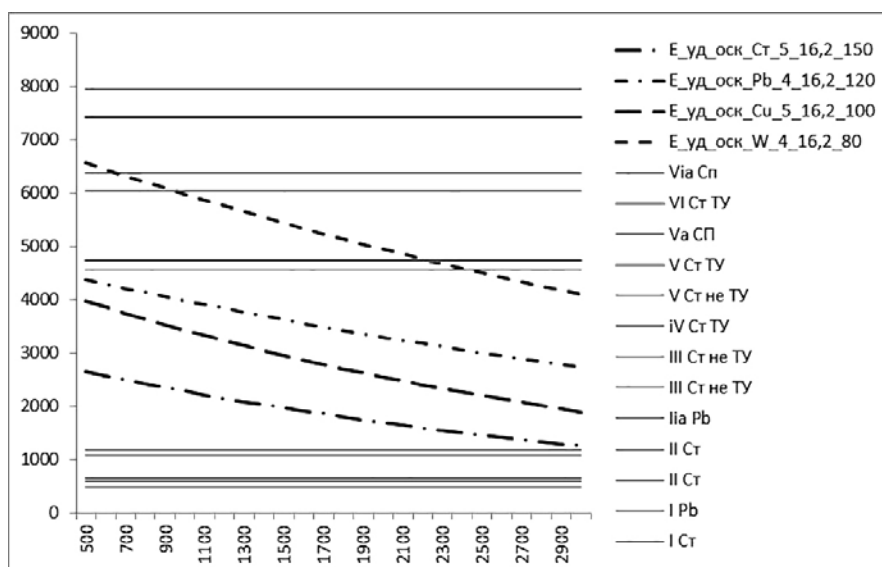


Рис. 8. Энергетическая возможность поражения защищенной СИБЗ биологической ткани осколками снарядов с различным коэффициентом формы, массой 16,2 г

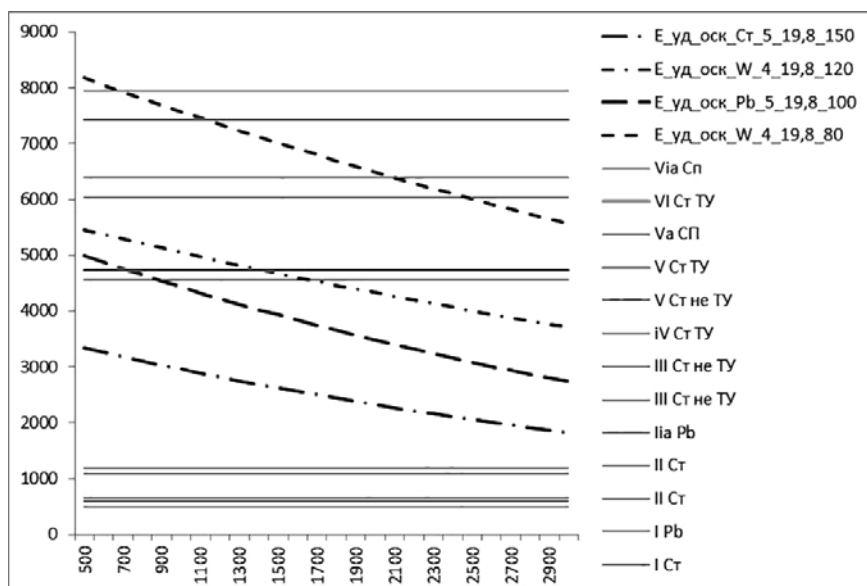


Рис. 9. Энергетическая возможность поражения защищенной СИБЗ биологической ткани осколками снарядов с различным коэффициентом формы, массой 19,8 г

Литература

1. Министерство обороны Российской Федерации. Боевой устав по подготовке и ведению общевойскового боя. Часть 3. Взвод, отделение, танк. М.: Военное издательство, 2005.

2. Саврань Л.Ф. Методика определения минимальной убийной силы стандартного и атипичного огнестрельного оружия и боеприпасов: пособие для экспертов. М., 1979.

3. Знаменский Е.А. Фугасное и осколочное действие артиллерийских боеприпасов. Санкт-Петербург: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2016. 66 с..

4. Гуманенко Е.К. Военно-полевая хирургия: учебник. 2-е изд., изм. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 768 с.

5. Advanced Combat Rifle, Program Summary, Vol. 1, ARDEC, 1992. 146 p.

6. Per G. Arvidsson Chairman NATO Infantry Weapons Standardization. Weapons & Sensors Working Group Land Capability Group 1 — Dismounted Soldier NATO Army Armaments Group.

7. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Москва: ОБОРОНГИЗ, 1962. 548 с.

8. Мураховский В.И., Федосеев С.Л. Оружие пехоты: справочник. М.: Арсенал-Пресс, 1992. 390 с.

9. Денисова Э.И., Карташов В.В., Рычков В.Н. Прикладное материаловедение: металлы и сплавы: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2018. 216 с.

10. Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 50744-95 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. М.: Госстандарт России, 1995. 12 с.