

УДК 629.198.624

# Проблема разработки броневой защиты от подкалиберных пуль современных стрелковых систем и технические возможности ее решения

М. П. Кужель

*Представлены некоторые известные разработки по процессам бронепробиваемости подкалиберными пулями металлических преград. Показан эффект значительного уменьшения глубины проникания в слоистую структуру по сравнению с цельными образцами из составляющих материалов. Малая изученность бронейности подкалиберных пуль, особенно при стрельбе по неоднородным преградам, привела к необходимости проведения исследований стойкости различных типов брони, в первую очередь слоистой, содержащей слои из керамики. Приведены некоторые перспективные системы стрелкового оружия, в которых используются патроны с подкалиберной стреловидной пулей. Дано сравнение удельных характеристик этих пуль с пулями современных стрелковых систем.*

Казалось бы, многолетний опыт ведущих КБ и институтов по разработке и внедрению новейших образцов брони должны перекрывать потенциальные возможности не только современных стрелковых систем, но и новейших, наиболее перспективных образцов. Однако дело обстоит иначе. И подтверждением этому являются последние публикации о зарубежных работах по созданию перспективных стрелковых систем. Сюда можно отнести уже применяющееся в спецназе и войсках индивидуальное стрелковое оружие эффективного ведения прицельного огня по целям различных калибров, в том числе и крупного (12,7 и 14,5 мм). Особый интерес разработчиков бронезащит вызывают серийные стрелковые системы западных стран под нататовский патрон 5,56-мм калибра, в котором взамен штатной пули используется так называемый оперенный подкалиберный снаряд малой массы (0,5–0,7 г) и большого удлинения (до 26 калибров). По сообщениям иностранной печати [1], в настоящее время перед Центром исследований, разработок и конструирования вооружения армии США стоит задача выбора перспективной автоматической винтовки для замены ею штатных 5,56-мм винтовок серии M16 (более 1 млн. штук). С этой целью для проведения сравнительных испытаний были отобраны четыре образца, созданных американскими фирмами "ААI корпорейшн" и "Кольт индастриз", австрийской "Штайр-Манлихер" и западногерманской "Хеклер унд Кох". Сопоставительными испытаниями специалисты Центра начали заниматься еще в апреле-мае 1989 г. В боекомплект винтовок, созданных фирмами "ААI корпорейшн" и "Штайр-Манлихер", включались патроны со стреловидными подкалиберными снарядами (пулями). Испытания проходили на полигоне в Форт-Беннинг, штат Джорджия. В ходе испытаний предусматривалось ведение огня с трех разных огневых позиций по различным целям (одиночным и групповым, неподвижным и двигающимся), находящимся на дальности от 25 до 600 м. При этом имитировались условия боевой обстановки. О результатах испытаний в открытых публикациях не сообщалось. А вот по конструктивным особенностям этих винтовок и их техническим характери-

стикам информация есть [2]. Винтовка фирмы "Штайр-Манлихер", выполненная по схеме "буллпап", допускает ведение одиночного или автоматического огня. При высокой начальной скорости ( $V = 1914$  м/с) траектория пули остается настильной на максимальной дальности стрельбы. Боеприпас винтовки представляет пластмассовую гильзу длиной 45 мм, в которой размещена оперенная подкалиберная пуля длиной 41,25 мм, диаметром 1,6 мм и массой 0,66 г. Головная часть пули заключена в разъемный пластмассовый контейнер (поддон), который обеспечивает прохождение пули по каналу ствола.

Штурмовая винтовка корпорации AAI (США) разработана по ТЗ министерства обороны США в рамках программы ARC (Advanced Combat Rifle) – боевая винтовка будущего. Боеприпас винтовки представляет гильзу от стандартного американского 5,56-мм патрона M855, в который помещена оперенная подкалиберная пуля стреловидной формы длиной 41,27 мм, диаметром 1,6 мм и массой 0,66 г. Пуля крепится в пластмассовом сегментном контейнере, который после вылета из канала ствола распадается под действием встречного потока воздуха. Начальная скорость пули 1402 м/с\*.

Известен патрон с подкалиберной пулей французской фирмы "Sauvestre" [3]. Эта пуля имеет свинцово-сурьмяное ядро и полимерное оперение, которое обеспечивает стабильность траектории.

В публикациях [4–6] представлены наработки по процессам бронепробиваемости подкалиберными пулями в основном металлических преград. Механизм пробивания металлических однослойных преград происходит по схеме «выбивания пробки» за счет адиабатического сдвига [5]. В меньшей степени изучены слоистые брони, особенно из разнородных материалов. Однако отдельные публикации в последнее время появляются. В частности, изучалось проникание заостренного тонкого снаряда массой  $\sim 10^{-2}$  кг со скоростью 800 м/с из стали в слоистые структуры, состоящие из  $\sim 50$  слоев чередующихся металлов (алюминий, свинец, дюралюминий). Толщина отдельных слоев составляла от  $10^{-3}$  до  $6 \cdot 10^{-3}$  м [6]. Слои соединялись клеем. Получен эффект значительного уменьшения глубины проникания в слоистую структуру по сравнению с цельными образцами из составляющих материалов. Так, глубина проникания снаряда в алюминий составила  $\sim 100$  мм, в свинец  $\sim 120$  мм, а в слоенку из этих материалов  $\sim 60$  мм.

В работе [5] приведена фазовая диаграмма соударения снаряда диаметром 6,35 мм с заостренной передней частью по преграде из алюминия толщиной 6,35 мм, из которой видно, что при скоростях соударения снаряда с преградой, начиная с 600 м/с и более ( $\geq 1200$  м/с), наблюдается рикошет при углах встречи с преградой более  $60^\circ$  (наклон к нормали). Более того, снаряд внедряется в преграду без видимого разрушения до углов от  $15$  до  $40^\circ$ , т. е. такие снаряды являются довольно устойчивыми к рикошету.

Малая изученность бронейности таких пуль, особенно при стрельбе по неоднородным преградам, привела к необходимости проведения исследований стойкости различных типов брони.

Выполнение в полном объеме требований, предъявляемых к средствам броневой защиты, стойким к пулям современных стрелковых систем отечественного и зарубежного производства, в большинстве случаев связано с противоречивостью технических решений, закладываемых в конструкцию брони, а также часто взаимоисключающих друг друга, что, в свою очередь, приводит к необходимости поиска оптимальных соотношений между ними. Во многом это связано с выбором применяемых материалов, технологии их получения. Применение в стрелковом оружии подкалиберных пуль существенным образом меняет принципиальные подходы к разработке броневых защит. В частности, в настоящее время проектирование бронезилетов и аналогичных им конструкций носит хорошо отработанные этапы, учитывающие приемы и методы разработки тех или

\*Известна также информация об аналогичных работах, ведущихся в оружейных конструкторских бюро России [3].

инных элементов конструкции в зависимости от условий их эксплуатации. Так, например, для ту- пых пуль на первое место по значимости выходит требование по защите человека от их останавливающего эффекта. Для защиты от пуль оживальной формы (автоматы, винтовки, некоторые пистолеты) требуется бронежилет с высокими характеристиками как по бронепробиваемости, так и по останавливающему эффекту. Появление оружия с подкалиберными пулями заставляет разработчиков бронезащиты пересмотреть вопрос – какими свойствами должна обладать конструкция от такого вида воздействий. В табл. 1 приведены удельные характеристики подкалиберных пуль в сравнении с обычными ("калиберными").

Таблица 1

Удельные характеристики пуль

Пуля	$V$ , м/с	$E$ , кДж	$P$ , Н·с	$E_{уд}$ , кДж/м <sup>2</sup>	$P_{уд}$ , Н·с/м <sup>2</sup>	$E \cdot S$ , Дж·м <sup>2</sup>
9×18ПМ	315	0,3	1,9	$4,8 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-2}$
5,45×39	900	1,6	3,51	$7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^{-2}$
7,62×39	715	2,0	5,65	$4,45 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^{-2}$
7,62×54	820	3,5	8,5	$7,7 \cdot 10^4$	$1,87 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
12,7×108	830	17,2	41,5	$1,36 \cdot 10^5$	$3,28 \cdot 10^5$	2,18
14,5×144	1010	30,6	60,6	$1,85 \cdot 10^5$	$3,67 \cdot 10^5$	5,05
Подкалиберная фирмы "Штайр-Манлихер"	1914	1,2	1,26	$6 \cdot 10^5$	$1,76 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^{-4}$

В таблице:  $V$  – начальная скорость пули;  $E$  – дульная энергия пули;  $P$  – импульс пули;  $E_{уд}$  – удельная энергия пули;  $P_{уд}$  – удельный импульс пули;  $E \cdot S$  – останавливающий эффект пули.

Подкалиберная пуля разработки фирмы "Штайр-Манлихер" явно выигрывает по бронепробиваемости у хорошо известных пуль стрелкового оружия, хотя останавливающий эффект у них и мал. Однако картина может меняться, если этими пулями обстреливать броню. Большая концентрация энергии и импульса на сравнительно малую площадь брони в сочетании с высокой сопротивляемостью пробитию элементов брони приводят в движение массу опасных осколков от разрушенной брони. Эти осколки воздействуют на последующие элементы конструкции уже по большей площади, значительно превышающей площадь поперечного сечения подкалиберной пули. Таким образом, значение останавливающего эффекта  $E \cdot S$  может достигать величин пуль калибра 7,62 мм и более. Из этого следует, что даже современные конструкции бронезащит могут стать уязвимыми для подкалиберных высокоскоростных пуль. И уж поскольку стрелковое оружие с подкалиберными пулями стало появляться, то неизбежно требуются новые подходы к разработке бронезащитных устройств, обеспечивающих в равной степени достаточную стойкость к воздействию как обычных пуль, так и подкалиберных.

Решение представленной проблемы в части создания эффективных средств защиты носит далеко не тривиальный характер. Технические возможности достижения положительных результатов состоят в следующем. Известно, что пробивная способность подкалиберных пуль очень высокая (особенно для металлических типов брони) ввиду большой концентрации энергии на единицу площади и динамической устойчивости пули в процессе проникания в броню. Очевидно, что конструкция брони должна дестабилизировать движение (внедрение) пули. Ни один из известных материалов (синтетические ткани, броневые керамики, различные стали, сплавы алюминия и титана) с приемлемыми массогабаритными характеристиками сам по себе не способен "остановить" подкалиберную пулю. Этого можно достигнуть за счет использования в конструкции брони минимум двух материалов. Один из них либо керамика, либо сталь, либо титан. Другой, например, – ткань. Твердая пластина тормозит "высокоскоростную" подкалиберную пулю, расплющивает ее

головную часть. Далее в дело вступает тканевый пакет: останавливает пулю и образовавшиеся осколки. Казалось бы, это является выходом из создающейся ситуации. Однако на практике конструкция брони не всегда удовлетворяет заказчика по массе и габаритам. Решение задачи воплощается в большое количество различных вариантов. Броневая керамика – это весьма хрупкий и трудно обрабатываемый материал. Чтобы керамика стала действительно броней, требуется множество конструктивных ухищрений. Сегодня лишь некоторым западным фирмам (Израиля, Великобритании) удалось "приручить" керамику путем введения в нее легирующих добавок, что позволило значительно повысить вязкость брони [7]. Керамику необходимо заставить работать, по крайней мере, не хуже, чем при взаимодействии с обычными пулями стрелкового оружия. Для этого в качестве одного из вариантов можно применить отражающий элемент с воронкой, обращенной раструбом к керамическому слою, располагая его снаружи керамического слоя [8].

Такой отражающий элемент позволит рассеивать энергию удара и передавать ее на большую поверхность керамического слоя, превосходящую площадь поперечного сечения пули минимум в 2–3 раза. Тем самым будет предотвращаться локальное разрушение керамического слоя и в работу вовлечется значительная по площади его часть. Кроме того, через раструбы отражающих элементов будет передаваться часть энергии удара пули на торцы керамического слоя. При этом последняя улучшает свои защитные свойства за счет бокового поджатия и уменьшения краевых эффектов. Это предотвращает преждевременное разрушение керамики. Пуля, в свою очередь, дополнительно испытывает заклинивающий эффект, создающий в материале пули напряжения, изменяющие ее форму. Траектория пули изменяется, резко ослабевают усилия в зоне ее контакта с броневой конструкцией. В конечном счете, пуля теряет устойчивость, расчленяется на отдельные фрагменты, которые опрокидываются при дальнейшем взаимодействии с элементами брони. В таком положении фрагменты разрушенной пули достаточно легко затормаживаются последующими слоями брони. Ударный импульс растягивается во времени. Снижение величины ударного импульса достигается за счет деформации слоев подложки брони. Размеры отражающего элемента в плане должны быть соизмеримыми с размерами керамического слоя. Это позволяет более равномерно передавать энергию удара на поверхность керамического слоя, чем в случае значительно его меньших размеров. Экспериментальным путем установлено, что в эффективной броневой защите отношение толщины керамического слоя (за вычетом диаметра подкалиберной пули) к ее длине должно составлять от 0,1 до 0,3. Проверены опытным путем броневые защиты к воздействию подкалиберной пули, аналогичной пуле разработки фирмы "Штайр-Манлихер". Для испытаний была разработана и изготовлена конструкция подкалиберной пули со следующими параметрами:

- длина 41,3 мм;
- диаметр 1,6 мм;
- масса 0,81 г;
- стабилизация полета – за счет аэродинамического оперения с размахом 6 мм;
- скорость встречи пули с макетами 1800–1912 м/с;
- воздействие пули на макеты по нормали.

Пуля выполнялась из стали, прошедшей термообработку до твердости HRC 50...55.

Проведены экспериментальные исследования трех видов брони:

- 1) бронесталь толщиной 6 мм;
- 2) сталь 30ХГСА толщиной 12 мм;
- 3) слоистая конструкция, содержащая слой из керамики типа В<sub>4</sub>С.

Основные результаты экспериментов сведены в табл. 2.

Подкалиберные пули перспективных стрелковых систем являются серьезной угрозой для поражения различных устройств и живой силы. Для разработки эффективной защиты от таких пуль требуется проведение целенаправленных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с применением современных материалов и технологий получения брони из них.

Таблица 2

Результаты экспериментов

Номер опыта	Скорость встречи пули с броней, м/с	Вид брони	Поверхностная плотность брони, кг/м <sup>2</sup>	Результаты опытов
1	1912	Сталь 30ХГСА толщиной 12 мм	96	Сквозное пробитие, диаметр пробойны ~ 4 мм
2	1800	Бронесталь толщиной 6 мм	48	Сквозное пробитие, диаметр пробойны ~ 4 мм
3	1899	Слоистая броня толщиной 20 мм на основе керамики В <sub>4</sub> С	88	Пробойна отсутствует

Автор благодарен Н. В. Лапичеву, Г. П. Шляпникову, Г. М. Янбаеву, А. Ф. Кламбоцкому за подготовку и проведение экспериментов.

Особую благодарность автор выражает Иванову Геннадию Ивановичу, оказавшему большое влияние на формирование его научных взглядов.

Список литературы

1. Испытания автоматических винтовок в США // Зарубежное военное обозрение. 1990, № 4. С. 75–77.
2. Мураховский В. И., Федосеев С. И. Оружие пехоты. М: Издательская компания "Арсенал-Пресс", 1992.
3. Ширяев Д. И. Подкалиберные, оперенные // Опытное оружие. 2005, № 5. С. 30–36.
4. Оружие // Техника–молодежи. 1994, № 5. С. 12–14.
5. Перевод с английского под редакцией С. С. Григоряна. Динамика удара. М.: Мир, 1985.
6. Багдоев А. Г., Ванцян А. А. Исследование проникания тонкого заостренного твердого индентора в трансверсально-изотропную среду // Изв. АН. Сер. Механика твердого тела. 1995, № 4. С. 110–113.
7. Чистяков Е. И. "калашников" не страшен... // Техника–молодежи. 1992, № 10. С. 8–9.
8. Пат. 2134396, МКИ F41H5/04. Броневая конструкция для защиты от подкалиберных пуль стрелкового оружия / М. П. Кужель, Г. И. Иванов // БИ. 1999, № 22.

## **Problems of Developing Armor Protection Against Hard-Core Bullets of Modern Shooting Systems and Technical Potentials for Their Solution**

M. P. Kuzhel

*The results of some known developments on metal target armor penetration by hard-core bullets are given. The effect of a great decrease in the depth of penetration into a lamellar structure is shown compared with solid specimens of component materials. A poorly known armor penetrating ability of hard-core bullets especially during nonuniform shooting necessitated studies into resistance of various armors, first of all, of a lamellar armor containing ceramics layers. Some advanced small arms systems are shown, which use cartridges with a hard-core arrow-shaped bullet. Specific properties of these bullets are compared with those of modern shooting systems.*