

УДК 623.4

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БРОНЕБОЙНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО СНАРЯДА К АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРА 57 мм

Вероника Юрьевна Ширяева

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, студент, тел. (343)525-65-00, e-mail ver.schi2011@yandex.ru

Евгений Александрович Хмельников

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, доктор технических наук, зав. кафедрой специального машиностроения, тел. (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Исаак Иосифович Вендер

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, кандидат технических наук, доцент кафедры специального машиностроения, тел. (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Константин Владимирович Смагин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, ассистент кафедры специального машиностроения, тел. (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

В статье рассматривается создание нового типа подкалиберного бронебойно-зажигательного боеприпаса для пушки калибра 57 мм. Производится сравнение характеристик предлагаемого боеприпаса с характеристиками штатного бронебойного боеприпаса калибра 57 мм. Рассматриваются преимущества предлагаемого боеприпаса.

Ключевые слова: бронебойный снаряд; подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд; твердосплавный сердечник; математическое моделирование.

DEVELOPMENT OF THE ARMOUR-PIERCING INCENDIARY AMMUNITION CONSTRUCTION TO THE CALIBER ARTILLERIC SYSTEM 57 mm

Veronika Yu. Shiryaeva

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Student, phone: (922)220-20-46, e-mail ver.schi2011@yandex.ru

Evgeny A. Khmelnikov

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, D. Sc., Head of Department of Special Engineering, phone: (922)220-20-46, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Isak I. Vender

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Ph. D., Assistant Professor, Department of Special Engineering, phone: (922)220-78-23, e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Konstantin V. Smagin

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), 59, Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil, 622000, Russia, Assistant, Department of Special Engineering, phone: (950)197-75-13, e-mail: smaginkv@gmail.com

The creation of a new type of sub-caliber armor-piercing incendiary ammunition for a 57 mm cannon is discussed in this article. The characteristics of the proposed ammunition are compared with the characteristics of the standard armor-piercing ammunition of 57 mm. The advantages of the proposed ammunition are considered.

Key words: armour-piercing ammunition, armour-piercing incendiary sub-caliber ammunition, hard-alloy core, math modeling.

Анализ развития современной броневой техники предполагает необходимость увеличения огневой мощи существующих и разрабатываемых образцов, например, на БМП предполагается установить более мощное вооружение – артиллерийскую систему калибра 57 мм вместо стоящей на БМП предыдущего поколения 30-мм артиллерийской системы. Предполагаемая артиллерийская система должна иметь увеличенную дальность прямого выстрела и повышенное могущество входящих в комплект боеприпасов. Следовательно, требуется спроектировать боеприпас, способный поражать бронированные цели, имеющие эквивалентную броневую защиту толщиной порядка 100 мм.

Сегодня на вооружении находится бронебойный боеприпас марки БР-281 (рис. 1, а).

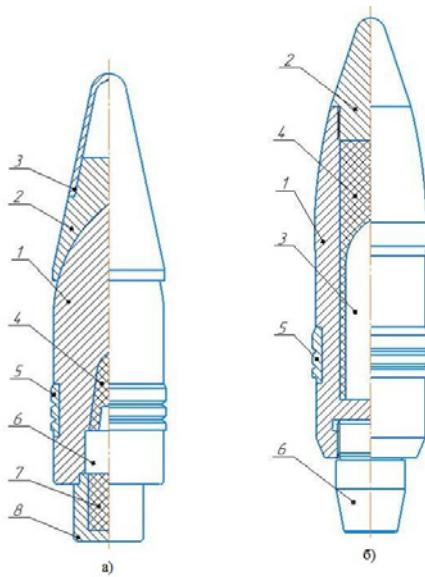


Рис. 1. Конструкции рассматриваемых боеприпасов:

- а) Бронебойно-трассирующий снаряд 57 мм БР-281 (1-корпус, 2-бронебойный наконечник, 3-баллистический наконечник, 4-заряд ВВ, 5-ведущий поясок, 6-взрыватель, 7-пиротехнический состав трассера, 8-корпус трассера); б) бронебойно-зажигательный снаряд 57 мм (1-корпус, 2-демпфер, 3-твердосплавный сердечник, 4-фторопласт, 5-ведущий поясок, 6-трассер)

По данным таблицы стрельба [1] такой снаряд при начальной скорости 1000 м/с и угле подхода к преграде 90° пробивает следующие толщины брони (табл. 1).

Таблица 1
Зависимость толщины пробития брони от дальности

№ п.п.	Дальность, м	Пробитие, мм
1	500	110
2	1000	100
3	1500	85
4	2000	70

Недостатком такого боеприпаса является то, что с увеличением дальности стрельбы уменьшается скорость, и как следствие уменьшается глубина пробития.

В качестве альтернативы предлагается спроектированный на основе патента №2582322 от 18.11.2014 г. [2] подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд. Предлагаемый боеприпас (рис. 1б) включает в себя следующие элементы: 1- корпус из легированной стали 60ХНМ, 2 - демпфер из сплава ВНЖ, 3 - твердосплавный сердечник из сплава группы ВК, 4 - фторопласт.

Одним из преимуществ такого снаряда является его зажигательное действие, которое у штатного снаряда отсутствует. Зажигательное действие достигается путём применения нано смеси фторопласта с алюминием и титаном. Предлагаемая конструкция позволяет в процессе пробития брони занести за нее зажигательный состав и тем самым создать необходимый зажигательный эффект.

Основной задачей проведенных исследований является сравнение представленных конструкций. На первом этапе сравнения характеристик существующего и спроектированного боеприпасов проведен расчет параметров внешней баллистики обоих боеприпасов. Для расчета необходимо определить коэффициент аэродинамической формы (i) данного боеприпаса.

По закону сопротивления Ф. Сиаччи [3]:

$$i = c_1 \left(\frac{H}{d} \right)^5 + c_2 \left(\frac{H}{d} \right)^4 + c_3 \left(\frac{H}{d} \right)^3 + c_4 \left(\frac{H}{d} \right)^2 + c_5 \left(\frac{H}{d} \right) + c_6,$$

где $c_1 = 0,0049231$, $c_2 = -0,043823$, $c_3 = 0,097576$, $c_4 = 0,16973$, $c_5 = -1,0858$, $c_6 = 1,9086$, H – высота головной части снаряда, d – калибр снаряда, имеем коэффициент формы предлагаемого снаряда $i = 1,25$.

Расчет внешней баллистики (траекторных параметров) проводился в программном комплексе в «СПО РЛС ЛУЧ-83М ЛУЧ-88М» (СКБ измерительной аппаратуры ФКП НТИИМ). Начальные параметры расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Начальные параметры расчета внешнетраекторных параметров

	Штатный, 57-мм	Предлагаемый, 57-мм
Масса, кг	2,8	3,789
Длина, м	0,24	0,258
Длина головной части, м	0,105	0,101
Положение центра масс, м	0,07327	0,093522
Коэффициент формы	1,23	1,25

Анализ результатов расчетов внешней баллистики показал, что предлагаемый снаряд на дальности 1 км при начальной скорости 960 м/с, имеет большую скорость, чем штатный бронебойный. Это связано с тем, что при одинаковой начальной скорости подкалиберный снаряд имеет большую начальную кинетическую энергию (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

Изменение скорости от дальности полета

Время полета, с	Штатный		Предлагаемый	
	Дальность, м	Скорость, м/с	Дальность, м	Скорость, м/с
0,1	95,15	943,17	95,36	947,26
0,2	188,65	926,82	189,46	934,80
0,3	280,53	910,93	282,33	922,61
0,4	370,85	895,48	373,99	910,68
0,5	459,64	880,44	464,47	898,99
0,6	546,95	865,82	553,80	887,54
0,7	632,82	851,59	641,99	876,33
0,8	717,28	837,73	729,07	865,36
0,9	800,37	824,23	815,07	854,60
1,0	882,14	811,08	900,00	844,06
1,1	962,60	798,26	983,88	833,73
1,2	1041,79	785,76	1066,74	823,60

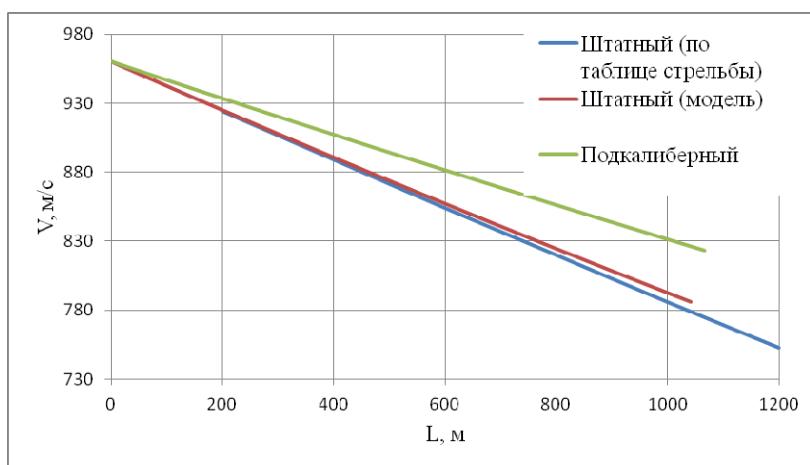


Рис. 2. График зависимости скорости снарядов от дальности полета

Большая масса и скорость предлагаемого снаряда говорят о том, что кинетическая энергия при подходе к броне больше, чем энергия штатного. Следовательно и величина внедрения в преграду должна быть больше.

Вторым этапом оценки действия бронебойно-зажигательного боеприпаса является моделирование процесса проникания снаряда в броню в программном комплексе ANSYS AUTODYN, предназначенном для расчёта задач механики сплошных сред на лагранжевых сетках (рис. 3).

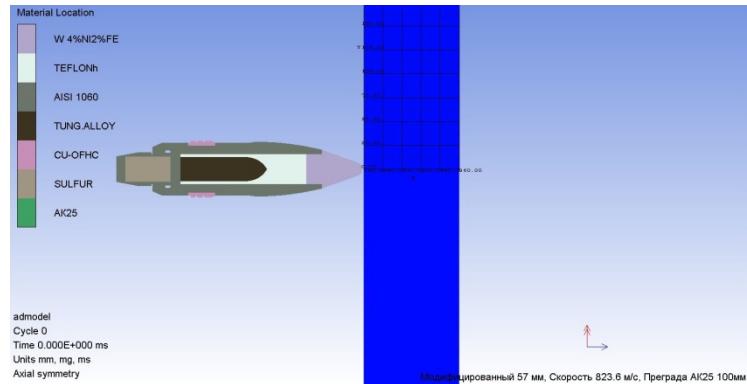


Рис. 3. Постановка задачи

Модель брони задавалась полубесконечной преградой из стали марки АК-25 толщиной 100 мм. УРС, модели прочности и условия разрушения основных элементов конструкций боеприпасов представлены в табл. 4.

Таблица 4
УРС, модели прочности и условия разрушения основных элементов

Элемент (Ш –штатный, П – предлагаемый)	Уравнение состояния	Модель прочности	Условие разрушения
Преграда	Shock	Johnson-Cook	Plastic Strain
Демпфер (П)	Shock	Steinberg Guinan	-
Сердечник (П)	Rigid (абсолютно жёсткий)		
Корпус (П)	Shock	Johnson-Cook	Johnson-Cook
Корпус (Ш)	Rigid (абсолютно жёсткий)		
Бронебойный након. (Ш)	Linear	Johnson-Cook	Johnson-Cook
Баллистический након. (Ш)	Linear	Johnson-Cook	Johnson-Cook

Применяемые в создании модели уравнения имеют следующий вид:

Уравнения состояния: Shock

$$p = p_H + \Gamma \rho (e - e_H),$$

$$U = c_0 + s u_p,$$

$$p_H = \frac{\rho_0 c_0^2 \mu (1 + \mu)}{[1 - (s - 1)\mu]^2},$$

$$e_H = \frac{1}{2} \frac{p_H}{\rho_0} \left(\frac{\mu}{1 + \mu} \right),$$

где Γ – коэффициент Грюнайзена, p_H и e_H – давление Гюгонио и внутренняя энергия соответственно, ρ – плотность, U – скорость удара, u_p – скорость частиц, c_0 – скорость звука, μ – коэффициент Пуассона.

Linear

$$p = K\mu$$

где K – модуль объемной упругости, μ – степень сжатия среды.

Модели прочности: Johnson-Cook

$$Y = \left[A + B \varepsilon_p^n \right] \left[1 + C \ln \varepsilon_p^* \right] \left[1 - T_H^m \right]$$

где Y – динамический предел текучести, ε_p – эффективная пластическая деформация, ε_p^* – нормализованная эффективная скорость пластической деформации, T_H – гомологическая температура; A , B , C , m и n – постоянные материала.

Steinberg Guinan

$$Y = Y_0 \left\{ 1 + \left(\frac{Y_p}{Y_0} \right) \frac{p}{\eta^{1/3}} + \left(\frac{G_r}{G_0} \right) (t - 300) (1 + \beta \varepsilon)^n \right\},$$

$$G = G_0 \left\{ 1 + \left(\frac{G_p}{G_0} \right) \frac{p}{\eta^{1/3}} + \left(\frac{G_r}{G_0} \right) (T - 300) \right\},$$

где Y и G – предел текучести и модуль сдвига, ε – эффективная пластическая деформация, T – температура, η – сжатие.

Условия разрушения: Johnson-Cook

$$\varepsilon^f = \left[D_1 + D_2 e^{D_3 \sigma^*} \right] \left[1 + D_4 \ln |\dot{\varepsilon}^*| \right] \left[1 + D_5 T^* \right]$$

где $D_1 \dots D_5$ – параметры материала, ε^f – критическая интенсивность пластических деформаций, σ^* – отношение давления к эффективному

напряжению, $\dot{\varepsilon}^*$ – скорость эффективной пластической деформации, T^* – гомологическая температура.

Скорость подхода снарядов к преграде на дальности 1 км: штатный – 786 м/с, предлагаемый – 823,6 м/с. Конечный шаг расчетов представлен ниже (рис. 4, рис. 5).

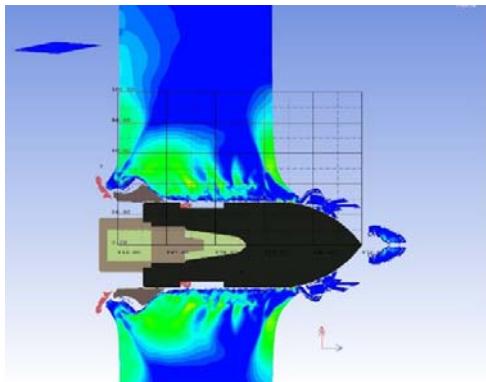


Рис. 4. Внедрение в броню штатного бронебойного снаряда со скоростью 786 м/с на дальности 1 000 м

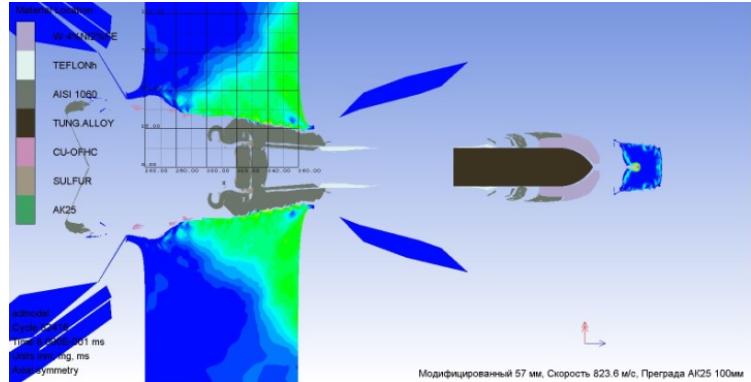


Рис. 5. Внедрение в броню бронебойно-зажигательного снаряда со скоростью 823,6 м/с на дальности 1 000 м

Адекватность выбранной модели подтверждает то, что штатный боеприпас пробивает при соответствующей скорости подхода плиту толщиной 100 мм, как указано в таблицах стрельбы. Анализ картины пробития предлагаемым подкалиберным боеприпасом показывает:

Подкалиберный боеприпас имеет увеличенную толщину пробивания брони по сравнению со штатным;

Конструкция предлагаемого снаряда позволяет занести зажигательный состав за броневую преграду.

Выходы

Предложен подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд к артиллерийской системе калибра 57 мм.

Проведенное сравнение внешней и конечной баллистики двух боеприпасов позволяет сделать вывод о преимуществе предлагаемого снаряда как в бронебойном, так и в зажигательном действии.

В предлагаемой конструкции исключен взрыватель и взрывчатое вещество, что делает подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд взрывопожаробезопасным, что является одним из важных критериев при проектировании современных боеприпасов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таблицы стрельбы 57-мм автоматической зенитной пушки С-60 по наземным целям [Текст]: Осколочно-трассирующая граната бронебойно-трассирующий снаряд. ТС/ГРАУ № 225 / М-во обороны СССР. - 3-е изд. - Москва : Воениздат, 1970. - 45 с.; 20 см.
2. Бронебойный подкалиберный снаряд // Патент России №2014146315.2014/Хмельников Е.А., Стыров А.В. Смагин К.В. [и др.]
3. Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 3. – 84 с.
4. А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В.В. Селиванова. – Средства поражения и боеприпасы: Учебник. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
5. LICENSE-ANSYS_hydryd_10-31-2012-4.39.12.

© В. Ю. Ширяева, Е. А. Хмельников,
И. И. Вендер, К. В. Смагин, 2018