

УДК 519.688.531.3.539.4

Ю.Г. РОЗОВ

Херсонський національний технічний університет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОРМЫ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СТВОЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ

Ствол – основная часть огнестрельного оружия. Это самая важная и ответственная деталь, проектирование и изготовление которой требует особой тщательности. Различают гладкие, нарезные и полигональные каналы стволов.

Рассмотрено создание нового профиля, и определение геометрических параметров канала ствола стрелкового оружия, форма которого позволяет повысить КПД пороховых газов, снизить трение оболочки пули с поверхностями контакта, образующими профиль, и повысить дульную скорость пули.

Предложен подход к проектированию конструкции эвольвентного профиля ствола, основанный на использовании методики расчёта степени обжатия оболочки пули, принятой для нарезных стволов. Разработана и приведена методика расчёта геометрических параметров профиля ствола полигонального типа.

Ключевые слова: ствол, пуля, нарезы, обжатие, пистолет-пулемёт, эвольвентный профиль, геометрические параметры.

Ю.Г. РОЗОВ

Херсонський національний технічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ ФОРМИ І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАЛУ СТВОЛА СТРЕЛЬЦЬКОЇ ЗБРОЇ З ЕВОЛЬВЕНТНИМ ПРОФІЛЕМ

Ствол - основна частина вогнепальної зброї. Це найважливіша і відповідальна деталь, проектування і виготовлення якої вимагає особливої ретельності. Розрізняють гладкі, нарізні і полігональні канали стволів.

Розглянуто створення нового профілю, і визначення геометричних параметрів каналу ствола стрілецької зброї, форма якого дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії порохів газів, знизити тертя оболонки кулі з поверхнями контакту, що утворюють профіль, і підвищити дульну швидкість кулі.

Запропоновано підхід до проектування конструкції евольвентного профілю ствола, заснований на використанні методики розрахунку ступеня обтиску оболонки кулі, прийнятої для нарізних стволів. Розроблено та наведено методику розрахунку геометричних параметрів профілю ствола полігонального типу.

Ключові слова: ствол, куля, нарізи, обтиснення, пістолет-кулемет, евольвентний профіль, геометричні параметри.

J.G. ROZOV

Kherson National Technical University

DESIGNING OF THE FORM AND OF METHODS OF DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE BARREL OF A SMALL WEAPON WITH THE INVOLUTE PROFILE

The trunk is the main part of firearms. This is the most important and responsible detail, the design and manufacture of which requires special care. Distinguish smooth, rifled and polygonal channels of trunks.

The creation of a new profile and the determination of the geometric parameters of the barrel of a small weapon are considered, the shape of which allows increasing the efficiency of the powder gases, reducing the friction of the bullet shell with the contact surfaces forming the profile, and increasing the muzzle velocity of the bullet.

An approach to the design of the involute profile of the barrel is proposed, based on the use of the technique for calculating the degree of compression of the bullet shell adopted for rifled trunks. A technique for calculating the geometric parameters of a trunk profile of a polygonal type was developed and presented.

Keywords: trunk, bullet, rifling, compression, submachine gun, involute profile, geometric parameters.

Постановка проблеми

Ствол – основная часть огнестрельного оружия, предназначенная для толкания пули (снаряда) с определённой начальной скоростью и предоставления ей устойчивого полёта в желательном направлении. Ствол (рис. 1) – это самая важная и ответственная деталь, непосредственно в которой, за счёт тепловой энергии от сгорания порохового заряда, определяются параметры внутренней баллистики: линейная и угловая скорость пули при её движении в канале ствола, направление и начальная скорость пули в момент её вылета из ствола (скорость движения пули в дульном срезе ствола). Поэтому ствол требует особой тщательности при проектировании и изготовлении [1].

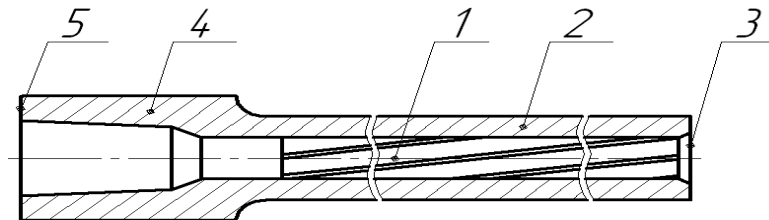


Рис. 1. Ствол огнестрельного оружия: 1 – канал ствола (ведущая часть); 2 – дульная часть; 3 – дульный срез; 4 – казённая часть; 5 – казённый срез

Основные функции, которые должен выполнять ствол:

- создание условий для полного сгорания порохового заряда;
- придание пуле необходимого направления полёта;
- придание пуле вращательно-поступательного движения;
- сообщение пуле требуемой начальной скорости полёта.

Под начальной скоростью пули понимается условная скорость, которая несколько больше дульной, но меньше максимальной. Она определяется исследовательским путём с последующими расчётами. Дульная скорость зависит от профиля канала и длины ствола: чем длиннее ствол, тем большее время пороховые газы могут влиять на пулю, разгоняя её. Для пистолетных патронов дульная скорость приблизительно равняется 300...500 м/с, для винтовочных – 700...1000 м/с. Величина начальной скорости пули указывается в специальных таблицах и в боевых характеристиках оружия. При увеличении начальной скорости увеличивается дальность полета пули, дальность прямого выстрела, убийственное и пробивное действия пули, а также уменьшается влияние внешних условий на её полёт.

Фигура, которая образуется при сечении нарезов плоскостью, перпендикулярной оси канала ствола, называется профилем нарезов.

Ведущая часть профилированного ствола современного стрелкового оружия (СО) имеет на своей поверхности нарезы или полигоны (в зависимости от типа профиля), т.е. канавки, которые извиваются вдоль поверхности канала ствола по винтовой линии, обеспечивая тем самым вращательное движение пули.

Форма нарезов в профиле поперечного сечения может быть различной. Наиболее распространены прямоугольные, трапециевидные, скруглённые (секторные) и сегментные профили.

Полигональный – это профиль, который в поперечном сечении ствола имеет форму одной из геометрических фигур.

Анализ последних исследований и публикаций

Геометрические параметры профиля поперечного сечения ствола СО с традиционными видами нарезки (прямоугольной, трапециевидной, секторной и др.) хорошо изучены и описаны в литературе [1, 2].

Потенциальные возможности стволов с профилем полигонального типа конструкторам стрелкового и артиллерийского оружия были известны давно [1]. Совершенствование методов расчёта, применение новых конструкционных материалов, технологий и оборудования для изготовления стволов обусловили новый импульс развитию в этом направлении [3-5]. Поэтому в стрелковом оружии нового поколения конструкторы ведущих оружейных фирм в своих новых моделях отдают предпочтение этому виду профиля поперечного сечения (Heckler-und-Koch, Glock, Česká Zbrojovka, Ковровский механический завод, Ижевский механический завод и др.) [6, 7].

Профиль полигонального типа был использован в первой украинской модели пистолета-пулемёта "Эльф", который по своим тактико-техническим параметрам не уступал на то время лучшим зарубежным образцам оружия этого класса [8].

Общим для различных типов нарезки является шаг нарезов или дорожек (полигонов). Кроме того, как одна, так и другая может быть левосторонней или правосторонней.

Правосторонняя нарезка вѣтъся слева вверх направо. Она имеет очень широкое распространение. В странах СНГ и США принято правое направление нарезок.

Форма нарезок (полигонов) ствола должна:

- обеспечивать максимальное заполнение профиля оболочки пули при её движении по каналу ствола;
- не затруднять чистки канала ствола;
- быть технологичной и несложной в производстве.

Объединяющим признаком традиционных профилей стволов является то, что форма нарезок (дорожек, полигонов) имеет симметричную форму.

С учётом изложенного, предлагается новый подход при проектировании профиля ведущей части ствола, заключающийся в создании такого профиля, который, при соблюдении всех перечисленных требований, позволил бы увеличить, как дульную скорость, так и скорость (а значит и дальность) полѣта пули. Это возможно за счёт повышения КПД пороховых газов и снижения сопротивления движению пули по каналу ствола и в процессе полѣта.

Формулировка цели исследований

Целью работы является создание нового профиля и определение геометрических параметров канала ствола СО, форма которого позволяет повысить КПД пороховых газов, снизить трение оболочки пули с поверхностями контакта, образующими профиль, и повысить дульную скорость пули.

Изложение основного материала исследования

Поставленная цель достигается за счёт использования т.н. эвольвентного профиля (рис. 2) с асимметричной формой дорожки, которая состоит из двух частей: прямолинейной (боевая грань) и криволинейной – эвольвентной (холостая грань).

Для определения геометрических параметров канала ствола стрелкового оружия с эвольвентным профилем предлагается использовать методику расчѣта, принятую при проектировании нарезного профиля [9].

Поперечное обжатие оболочки пули имеет место в том случае, если площадь поперечного сечения ствола F_{cm} меньше площади поперечного сечения ведущей части пули F_n . Обычно, при нарезном профиле, относительное поперечное обжатие равно:

$$\frac{\Delta F}{F_n} = \frac{F_n - F_{cm}}{F_n} = 0,01...0,02. \tag{1}$$

Этого достаточно, чтобы обеспечить надёжную обтюрацию пороховых газов и не допустить разрыва оболочки. Если принять такое же значение поперечного обжатия и для профиля эвольвентного типа, то задавшись количеством дорожек можно определить их форму (соотношение прямого и эвольвентного участков) и размеры (длины участков).

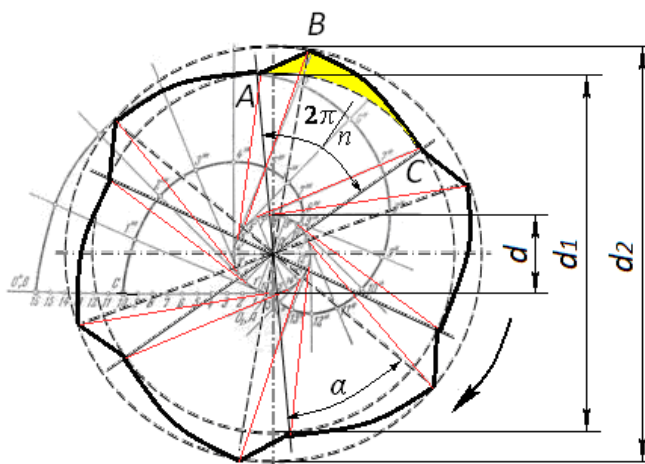


Рис. 2. Расчѣтная схема эвольвентного профиля ствола

При проведении расчѣта принимаем следующее допущение: длины кривых равны длинам прямых отрезков, соединяющих их концы, т.е. криволинейный (на рис. 2 – треугольник ABC) и прямолинейный треугольники – имеют равную площадь (рис. 3).



Рис. 3. Переход от криволинейного к прямоугольному треугольнику (схема упрощения)

С учётом равенства (1), определим соотношение диаметров d_1 и d_2 :

$$\frac{F_n - F_{cm}}{F_n} = 0,02;$$

$$F_n = \frac{\pi d_n^2}{4} = \frac{\pi d_2^2}{4}; F_{cm} = \frac{\pi d_1^2}{4} + n \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi d_1}{n} \left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right) \right] = \frac{\pi d_1 d_2}{4};$$

$$\frac{F_n - F_{cm}}{F_n} = \frac{d_2^2 - d_1 d_2}{d_2^2} = 0,02.$$

Таким образом:

$$d_1 = 0,98d_2. \tag{2}$$

Определяем размеры эвольвентного участка. С учётом равенства (1):

$$\frac{\pi d}{12} \cdot x = 0,98 \frac{\pi d}{12} \cdot \left(x + 12 \frac{\alpha}{2\pi} \right) \rightarrow x = 294 \cdot \frac{\alpha}{\pi};$$

$$d_1 = \frac{49}{2} d \cdot \alpha; d_2 = 25d \cdot \alpha, \tag{3}$$

где α – угол сектора эвольвенты (криволинейного участка профиля);
 x – количество отрезков, равных $1/12$ длины окружности диаметра d , эвольвенту которой мы строим (12 – число частей, на которое разделена окружность). Число x , по сути, определяет ту часть эвольвенты (виток кривой), которая образует криволинейный участок дорожки профиля (холостую грань).

Для определения других геометрических параметров рассмотрим $1/6$ часть эвольвентного профиля, вид в сторону пульного среза (рис. 4, а) и вид в сторону казённого среза (рис. 4, б).

На основании третьего закона Ньютона, в результате взаимодействия пороховых газов и пули, происходит их взаимное перемещение в противоположные стороны по каналу ствола. Так как профиль канала имеет винтовую поверхность (в нашем случае – правостороннюю), то продольное перемещение пули и потока газов сопровождается с вращением относительно центральной оси (на рис. 4.а и 4.б – вращение показано сплошной линией в виде стрелки-дуги). Таким образом, если создать сопротивление перемещению пороховых газов (на рис. 4.б – показано пунктирной линией в виде стрелки-дуги), то давление на пулю увеличится (на рис. 5) и, соответственно, дульная скорость пули возрастет.

Предполагая равномерное распределение давления пороховых газов на контактных поверхностях канала в поперечном сечении, запишем уравнение суммы моментов реактивных контактных сил давления, образованных в результате взрыва порохового заряда, относительно центра канала (рис. 4, б):

$$R_э \cdot \frac{d}{2} = R_п \cdot b \Leftrightarrow l_э \cdot \frac{d}{2} = l_п \cdot b.$$

Таким образом, условие, при котором моменты реактивных сил будут создавать сопротивление реактивному движению пороховых газов (назовём это – «условием реактивного сопротивления»), выразится:

$$R_э \cdot \frac{d}{2} \leq R_п \cdot b \Leftrightarrow l_э \cdot \frac{d}{2} \leq l_п \cdot b. \tag{4}$$

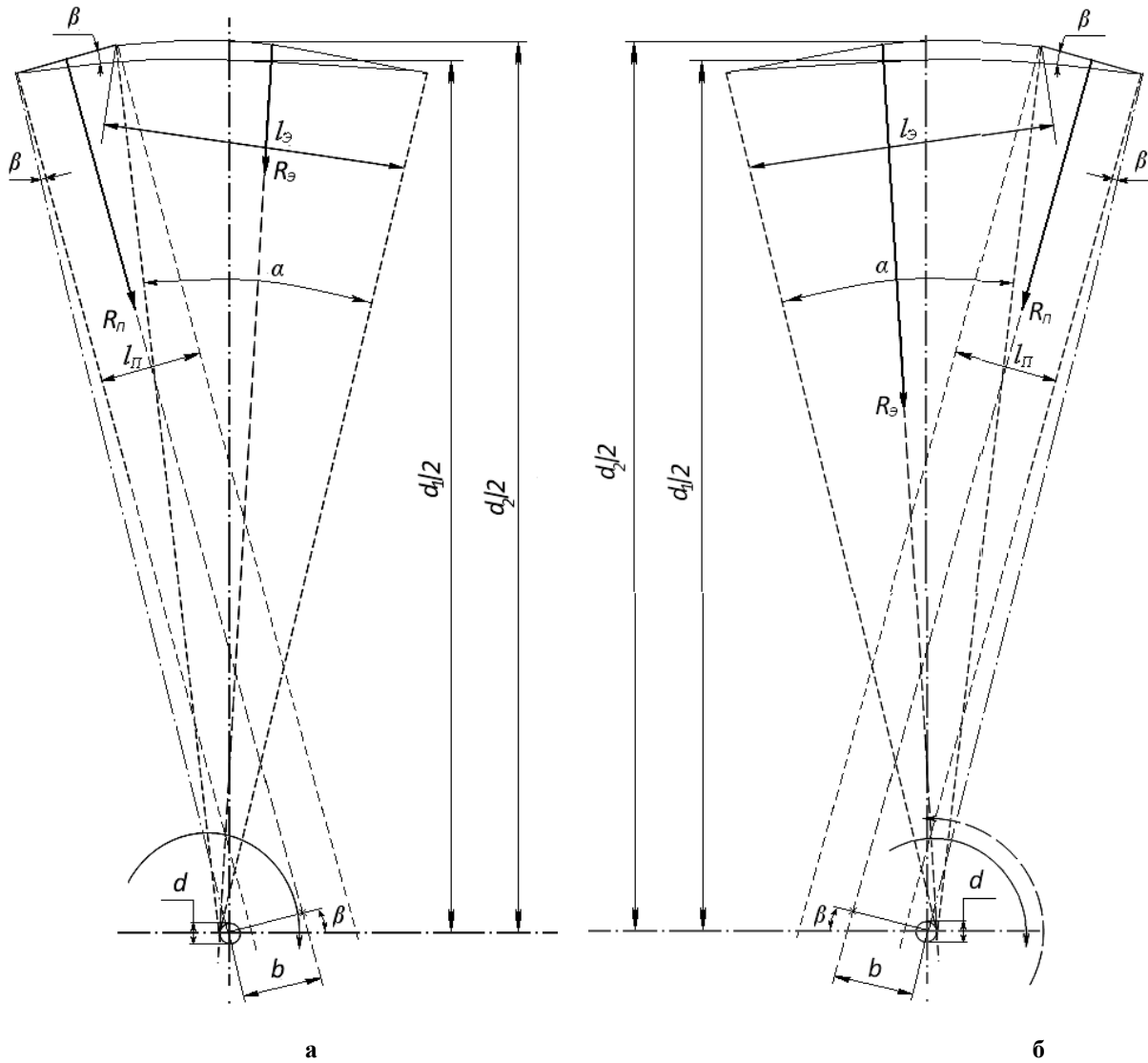


Рис. 4. К определению геометрических параметров эвольвентного профиля поперечного сечения ствола: а – 1/п часть профиля, вид в сторону пульного среза; б – 1/п часть профиля, вид в сторону казённого среза (п – число дорожек)

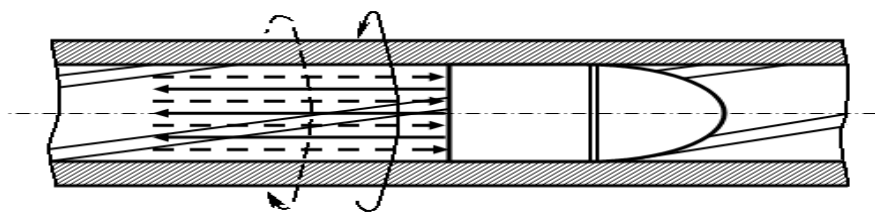


Рис. 5. Схема направлений линий движения (сплошные стрелки) и сопротивления (пунктирные стрелки) пороховых газов в канале ствола

Анализируя геометрию эвольвентного профиля (рис. 4, б), запишем последовательное решение неравенства (4):

$$l_3 \approx \frac{d_2}{2} \cdot \alpha; l_n \approx \frac{d_2}{2} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right); b = \frac{l_n}{2} + \frac{d_1}{2} \cdot \beta; \beta = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \cdot \frac{1}{\left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right)};$$

$$\frac{d_2}{2} \cdot \alpha \cdot \frac{d}{2} \leq \frac{d_2}{2} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right) \cdot \left[\frac{d_2}{4} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right) + \frac{d_1}{2} \cdot \frac{d_2 - d_1}{d_1} \cdot \frac{1}{\left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right)} \right];$$

$$\alpha \cdot d \leq \frac{d_2}{2} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right)^2 + d_2 - d_1; \alpha \cdot d \leq d_2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right)^2 + 0,02 \right];$$

$$1 \leq 25 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2\pi}{n} - \alpha \right)^2 + 0,02 \right].$$

Решая последнее неравенство относительно угла α , получим условие реактивного сопротивления:

$$\alpha \leq \frac{2\pi}{n} - 0,2. \tag{5}$$

Таким образом, например, при $n = 6$ (6 дорожек), $\alpha \leq 0,847$ ($\alpha \leq 48,55^\circ$).

Используя полученные расчёты, а также учитывая, что давление оболочки пули на боевую грань гораздо больше, чем на холостую, очевидно, что предлагаемый профиль (форма дорожек) и соотношение сил и моментов (рис. 4, а) будут способствовать увеличению крутящего момента, сообщающего пуле вращательное движение.

С учётом полученных в работе формул (2), (3) и (5), в качестве примера, рассчитаем геометрические параметры для эвольвентного профиля с шестью дорожками, калибра 9 мм:

при $n = 6, d_2 = d_n = 9$ мм:

принимая (формула (5)): $\alpha = 45^\circ (< 48,55^\circ)$;

$$d_1 = 0,98d_2 = 8,82 \text{ мм (формула (2))};$$

$$d = \frac{d_2}{25\alpha} = 0,459 \text{ мм (формула (3))}.$$

Во время полёта пуля, имеющая форму эвольвентного профиля (что соответствует требованию, предъявляемому к стволу по обеспечению максимального заполнения профиля оболочкой пули при её движении по каналу), например с правосторонним винтовым профилированием (рис. 6), будет вращаться, как показано на рисунке. При этом сопротивление воздуха по боковой поверхности пули будет минимизировано, что положительно скажется на её скорости и дальности полёта.

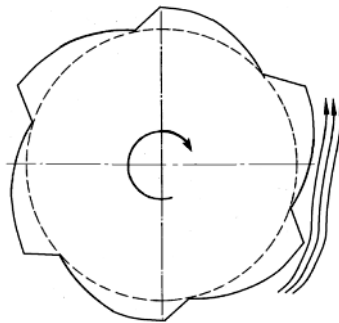


Рис. 6. Схема взаимодействия боковой поверхности пули эвольвентного профиля с воздушным потоком

Выводы

1. Предложен новый эвольвентный профиль, разработана методика и определены геометрические параметры канала ствола стрелкового оружия, с асимметричной формой дорожки, состоящей из двух частей: прямолинейной (боевая грань) и криволинейной – эвольвентной (холостая грань).

2. Новый профиль позволяет повысить КПД пороховых газов, снизить трение оболочки пули с поверхностями контакта, образующими профиль, и повысить дульную скорость пули.

Список использованной литературы

1. Бабак Ф. К. Основы стрелкового оружия / Ф. К. Бабак. – СПб. : Изд-во "Полигон", 2003. – 252 с.
2. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия / А. Г. Туктанов. – М. : Машиностроение, 2007. – 375 с.
3. Стеблюк В. І. Перспективи використання у артилерії стволів з полігональним профілем / В. І. Стеблюк, Ю. Г. Розов, Д. Б. Шкарлута, О. В. Холявік // Проблеми експлуатації і розвитку ракетно-артилерійського озброєння військово-морських сил збройних сил України : зб. доповідей II наукової конференції, 5–7 жовт. 2011 р., Севастополь, Україна. – С. 19–22.
4. Розов Ю. Г. Оценка влияния профиля канала ствола на прочность стрелкового оружия / Ю. Г. Розов, В. И. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // Артиллерийское и стрелковое вооружение. Международный научно-технический журнал. – 2012. – № 1. – С. 35–39.
5. Розов Ю. Г. Динамическое взаимодействие пули и внутренней поверхности ствола с полигональным профилем / Ю. Г. Розов, В. И. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // Артиллерийское и стрелковое вооружение. Международный научно-технический журнал. – 2012. – № 2. – С. 31–36.
6. Пистолеты-пулемёты ГЛОК-17 и другие (Австрия) [Электронный ресурс], URL : <http://www.arms.ru/Guns/pistmin/glock.htm>.
7. АЕК-919К, пистолет-пулемёт "Каштан" [Электронный ресурс], URL : <http://www.arms-expo.ru/049056049055124052054054057.html>.
8. Пасечник С. Пистолет-пулемёт "Эльф-2" / С. Пасечник // Охота и оружие. – 2000. – № 6. – С. 6–7.
9. Розов Ю.Г., Стеблюк В. І. «Методика определения геометрических параметров канала ствола стрелкового оружия с полигональным профилем» / Ю. Г. Розов, В. І. Стеблюк // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №59784 від 22.05.2015 р. – Державна служба інтелектуальної власності України, 2015.