

### ГЛУШИТЕЛЬ ЗВУКА ВЫСТРЕЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА СВЕРХЗВУКОВОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТРУБЫ

В статье приведена информация о разработке авторами надульного глушителя звука выстрела стрелкового оружия расширительного типа с коническими перегородками и использованием эффекта преобразования энергии сверхзвукового потока газа в тепловую при втекании его в цилиндрическую, коническую или ступенчатую полости. Даны сведения об основных результатах исследований этого явления и предпосылках его использования в работе авторов. Выбраны основные геометрические соотношения элементов глушителя, образующих резонансную трубу. Приведена расчетная схема глушителя и дано описание его конструкции и работы. Приведены основные характеристики разработанного глушителя и показаны его преимущества по сравнению с ранее созданными. Даны сведения об изготовлении и испытаниях глушителя предложенной конструкции и заключение о том, что впервые разработан, изготовлен и прошел натурные испытания глушитель звука выстрела стрелкового оружия с использованием эффекта преобразования энергии потока пороховых газов в тепловую в сверхзвуковой резонансной трубе.

В статті наведено інформацію про розробку авторами надульного глушника звуку пострілу стрілецької зброї розширювального типу з конічними перегородками та з використанням ефекту перетворення енергії надзвукового потоку газу в теплову при втіканні його в циліндричну, конічну або ступінчасту порожнину. Надано відомості про основні результати досліджень цього явища та передумов його використання в роботі авторів. Вибрано основні геометричні співвідношення елементів глушника, які утворюють резонансну трубу. Наведено розрахункову схему глушника та надано опис його конструкції і роботи. Надано основні характеристики розробленого глушника та показано його переваги в порівнянні з раніше створеними. Наведено дані про виготовлення і випробування глушника запропонованої конструкції та висновок про те, що вперше розроблено, виготовлено та випробувано глушник звуку пострілу стрілецької зброї з використанням ефекту перетворення енергії потоку порохових газів в теплову в надзвуковій резонансній трубі.

The paper deals with the barrel sound suppressor for small arms of the expanded type with the conical baffles and the effect of conversion of the supersonic gas flow energy to thermal one when the gas is discharged into cylindrical, conical or stepped cavities. Data about the principal research results for this phenomenon and preconditions of its use for the authors' study are presented. The basic geometrical relations of the sound suppressor elements forming a resonance tube are chosen. The calculating model of the sound suppressor is proposed, and its design and operation are described. The basic performance of the sound suppressor developed and its advantages in comparison with previously known sound suppressors are reported. Data about manufacturing and testing the sound suppressor proposed are presented and the conclusion is reached that for the first time the sound suppressor for small arms is developed, manufactured and tested using a full-scale model, based on the effect of conversion of energy of the powder gases to thermal energy in a supersonic resonance tube.

Наибольшее распространение получили надульные глушители звука выстрела стрелкового оружия расширительного типа с коническими перегородочными элементами [1, 2], как имеющие эффективную и простую конструктивную схему, обеспечивающую лучшее сочетание их основных характеристик.

Для повышения эффективности снижения уровня звука выстрела такими глушителями используется ряд физических явлений, сопровождающих импульсное сверхзвуковое течение высокотемпературных пороховых газов выстрела и улучшающих степень преобразования их энергии в тепловую.

Многообещающее, но ранее не используемое в конструкции глушителей для повышения эффективности снижения уровня звука выстрела (редуцирования) явление – преобразование энергии сверхзвукового потока газа в тепловую при его втекании в цилиндрическую (коническую, ступенчатую) глухую или с отверстием в дне полости трубу Гартмана–Шпренгера (Hartmann–Sprenger), особенности и закономерности которого описаны, в частности, в работах [3 – 15].

Это явление использовано в ряде устройств для преобразования энергии

© Н.А. Коновалов, О.В. Пилипенко, А.Д. Скорик, В.И. Коваленко, 2013

сверхзвукового потока газа в тепловую (в основном предназначенных для зажигания горючих смесей) [9, 11, 16 – 20].

Целью настоящей работы было создание конструкции глушителя звука выстрела стрелкового оружия, имеющего лучшее по сравнению с существующими сочетание эффективности и габаритно-массовых характеристик путем использования упомянутого эффекта преобразования энергии потока пороховых газов.

В основу разработки были положены выводы об оптимальных геометрических соотношениях элементов трубы Гартмана–Шпренгера как преобразователя энергии сверхзвукового потока газа в тепловую, изложенные в [3 – 15, 18], и конструктивные особенности глушителей звука выстрела стрелкового оружия расширительного типа с коническими перегородочными элементами [1, 2].

Конструкция глушителя с коническими перегородочными элементами была дополнена изменением конструкции проставочных тонкостенных оболочек – выполнением их не цилиндрическими, а коническими с геометрическими характеристиками, обеспечивающими образование в полости глушителя профиля конической резонансной трубы с оптимальными соотношениями геометрических параметров, которые выбраны по результатам теоретических и экспериментальных исследований [3 – 20].

Руководствуясь этими соображениями и указанными результатами, авторы разработали конструкцию прибора снижения звука выстрела (ПСУЗВ), получившую индекс ПСУЗВ 16М.12-7,62. Схема устройства и конструкция этого глушителя приведены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1:

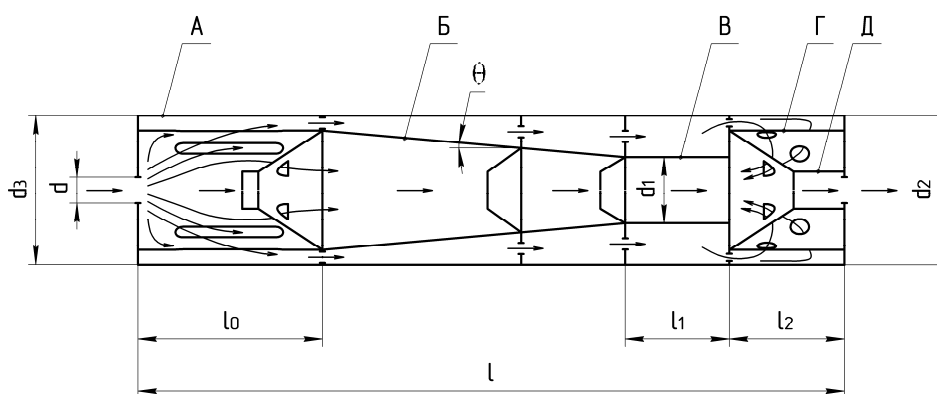


Рис. 1

А – входная цилиндрическая часть глушителя (резонансной трубы);

Б – коническая часть глушителя;

В – цилиндрическая промежуточная часть глушителя;

Г – конечная цилиндрическая часть глушителя;

Д – коническо-цилиндрическая оболочка фокусирования газового потока;

$l$  – длина внутренней полости корпуса глушителя;

$d_3$  – внутренний диаметр корпуса глушителя – максимальный диаметр конусной тонкостенной осесимметричной оболочки во второй расширительной камере;

$\theta$  – угол наклона образующих конусных поверхностей тонкостенных осесимметричных оболочек во второй и третьей расширительных камерах к продольной оси глушителя;

$l_1$  – длина тонкостенной осесимметричной цилиндрической оболочки в четвертой расширительной камере;

$d_1$  – минимальный диаметр тонкостенной осесимметричной конической оболочки в третьей расширительной камере – внутренний диаметр тонкостенной осесимметричной цилиндрической оболочки в четвертой расширительной камере;

$l_2$  – длина конечной расширительной камеры;

$d_2$  – внутренний диаметр тонкостенной осесимметричной цилиндрической оболочки в конечной расширительной камере;

$l_0$  – длина первой расширительной камеры, равная

$$l_0 = l - \left( l_1 + l_2 + \frac{d_3 - d_2}{2tg\theta} \right).$$

Относительное повышение температуры, которое дает представление о нагреве неподвижного газа при прохождении по нему ударной волны со скоростью  $M_1$ , описывается выражением [9]:

$$\frac{T_{02}^1 - T_2}{T_1} = \frac{k-1}{k+1} 2(M_1^2 - 1),$$

где  $T_1$  – температура неподвижного газа перед ударной волной,  $T_2$  – начальная температура газа за ударной волной,  $T_{02}^1$  – температура торможения газа после ударной волны,  $M_1$  – скорость движения ударной волны относительно неподвижного газа,  $k$  – показатель адиабаты.

Эксперименты показали, что размеры и конструкция резонансной трубы имеют решающее значение для повышения температуры газа в ее концевой области.

Если резонатор выполнен в виде цилиндра постоянного радиуса, то температура нагрева будет выше  $400^\circ\text{C}$ , а при угле конусности  $\theta = 3^\circ - 4^\circ$  температура нагрева достигает максимальных значений [9].

При прочих равных условиях наибольший нагрев реализуется в полости с углом  $\theta = 3,5^\circ$  и достигает  $\sim 1200^\circ\text{C}$  [7].

Исходя из этого и особенностей конструкции глушителей звука выстрела для наиболее распространенных образцов стрелкового оружия, для конических осесимметричных тонкостенных проставочных оболочек во второй и третьей расширительных камерах выбран угол наклона образующих к продольной оси глушителя  $\theta = 3,5^\circ - 4^\circ$ .

Для эффективного нагрева газа важное значение имеет соотношение диаметров входа и выхода в конической части резонансной трубы ( $d_3/d_1$ ). Установлено, что чем больше это соотношение, тем выше температура нагрева газа в конечной части резонатора [7].

Для глушителей звука выстрела с учетом особенностей их конструкций это соотношение составляет  $d_3/d_1 = 2,5 \div 3,0$ , а отношение длины  $l_1$  к диаметру  $d_1$   $l_1/d_1 = 1,8 \div 2,1$ .

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований и параметрических расчетов течения газа, в которых варьировались размеры, состав и форма резонансной трубы [8], показал, что для интенсификации процесса преобразования энергии потока в тепловую и увеличения его температурного нагрева эффективно использование фокусирования ударных волн на вогнутой поверхности в торце канала.

В этом случае возможно в некоторой точке оси симметрии, которая будет газодинамическим фокусом нагревателя, получить температуру, существенно превышающую температуру торможения набегающего потока [12].

При дифракции ударной волны на вогнутой поверхности, за отошедшей ударной волной появляются продольно ориентированные волны, которые движутся к оси и сталкиваются в определенный момент времени, что приводит к повышению температуры на оси в несколько раз. Для реализации этого эффекта в конечной расширительной камере глушителя установлена коническо-цилиндрическая оболочка 16 (рис. 2).

Размеры конечной расширительной камеры ( $d_2$  и  $l_2$ ) выбраны из следующих соображений. Как показано в [8], для увеличения эффективного преобразования энергии набегающего газового потока в тепловую нужно увеличивать объем полости возле торцевой поверхности, что достигается присоединением к резонатору пустотелой цилиндрической емкости (конечной расширительной цилиндрической камеры глушителя).

Показано, что наиболее эффективным будет преобразование энергии при отношении  $0,5 \leq l_2/d_2 \leq 2$ , и  $3 \leq d_2/d_1 \leq 10$  [9]. Для глушителей звука выстрела стрелкового оружия это соотношение составляет  $0,4 \leq l_2/d_2 \leq 0,6$ ;  $2,5 \leq d_2/d_1 \leq 3$ .

Для обеспечения высокой эффективности глушителя такой конструктивной схемы нужно диаметр  $d_1$  выполнять наименьшим из возможных, что с учетом калибра оружия приводит к соотношениям  $2,0 d \geq d_1 \geq 1,2 d$ .

Так были определены основные геометрические соотношения для выбора оптимальной конструкции глушителя звука выстрела с использованием принципа преобразования энергии в сверхзвуковой резонансной трубе.

Глушитель (рис. 2) содержит передний фланец 1 с устройством крепления к стволу оружия, связанный с ним цилиндрический корпус 2, конечный фланец 3, а также расположенные в полости корпуса соосно с ним перфорированные конические перегородки 4, 5 и 6 и установленные между ними проставочные элементы, выполненные в виде перфорированных осесимметричных тонкостенных оболочек, образующих расширительные камеры I, II, III, IV и V, а во фланцах осесимметричных оболочек выполнены отверстия 7, которые соединяют смежные расширительные камеры I – II, II – III, III – IV, IV – V.

В передней расширительной камере I проставочный элемент 8 выполнен цилиндрическим, цилиндрические проставочные элементы 9 и 10 установлены также в четвертой и пятой расширительных камерах.

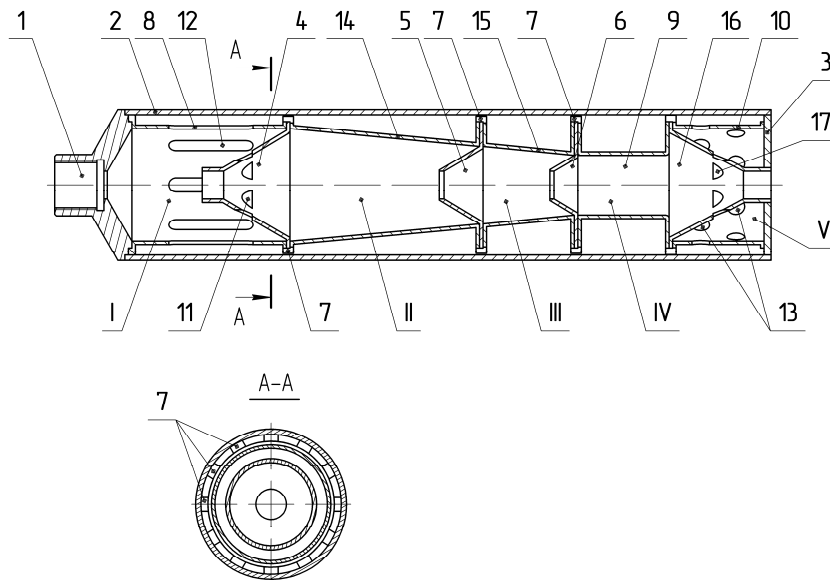


Рис. 2

В конических перегородочных элементах выполнены отверстия (перфорация) 11, а в цилиндрических – перфорация 12 и 13.

Осесимметричные тонкостенные проставочные элементы в расширительной камере II – 14, и расширительной камере III – 15 выполнены в виде усеченных конусов с углом наклона образующих их конусных поверхностей к продольной оси глушителя  $\theta$  (рис. 1). В конечной расширительной камере установлена коническо-цилиндрическая оболочка 16 с перфорациями 17.

Глушитель работает следующим образом.

При прохождении пули по стволу оружия со сверхзвуковой скоростью впереди нее образуется слой сжатого воздуха (отошедшая ударная волна), которая через устройство крепления глушителя к стволу оружия 1 достигает внутренней полости корпуса 2 глушителя. За пулей со сверхзвуковой скоростью движутся пороховые газы, имеющие высокую температуру и давление.

Когда пуля входит в глушитель, газы заполняют первую расширительную камеру и через отверстия 12 в цилиндрическом проставочном элементе 8 заполняют объем, образованный внутренней поверхностью корпуса глушителя и внешней поверхностью цилиндрического проставочного элемента 8, а далее через отверстия 7 движутся в объемы расширительных камер, образованных внутренней поверхностью корпуса глушителя в расширительных камерах II и III и внешними поверхностями конических проставочных элементов расширительных камер II и III, а также в объемы, образованные внешними поверхностями цилиндрических проставочных элементов 9 и 10 и внутренней поверхностью корпуса глушителя.

В пятой расширительной камере этот поток пороховых газов проходит через отверстия 13 и 17 в коническую часть коническо-цилиндрической оболочки 16 и движется навстречу основному центральному потоку газа.

Основная часть газа в первой расширительной камере через центральное отверстие конической перегородки 4 и ее перфорацию 11 начинает заполнять внутренний объем конической оболочки 14 расширительной камеры II, а далее – конической оболочки 15 расширительной камеры III и цилиндрической оболочки 9 расширительной камеры IV.

В основном центральном газовом потоке возникают прямые скачки уплотнения. В движущемся потоке газа в объемах, ограниченных оболочками 14 и 15, образуются ударные волны, что приводит к пульсациям давления. Ударные волны доходят к конечной части оболочки 9 и коническо-цилиндрической оболочки 16. Ударная волна отражается от конической поверхности оболочки 16, образуются продольно ориентированные волны, движущиеся к оси глушителя. Они сталкиваются, что приводит к повышению температуры на оси в несколько раз.

Ударные волны образуются с периодичностью, равной собственной частоте резонатора А – Б – В (рис. 1), поступают в конечную расширительную камеру, отражаются и фокусируются конической частью оболочки 16, в результате чего наблюдается повышение эффективности преобразования энергии потока порохового газа в тепловую энергию. В зоне внутреннего объема конической части оболочки 16 накапливается тепло, температура газов повышается до  $> 1200^{\circ}\text{C}$ , эффективность снижения уровня звука выстрела растет.

В следующий период работы газы, заполнившие полость конуса глушителя, истекают из него, имея значительное аэродинамическое сопротивление, что также ведет к увеличению эффективности снижения уровня звука выстрела.

По итогам описанной разработки авторы подали заявку на изобретение [21].

Глушитель был изготовлен цельносварным из стали 08Х18Н10Т и имел характеристики: длина 220,0 мм, диаметр 42,0 мм, масса 700 г, биение 0,15 мм.

Внешний вид конструктивных элементов глушителя до сварки приведен на рис. 3, перед сваркой корпуса глушителя с внутренней конструкцией – на рис. 4, готового изделия – на рис. 5.

Для определения эффективности снижения уровня звука выстрела этим глушителем, кучности, точности стрельбы и живучести были проведены на-



Рис. 3

турные испытания в составе автомата АКМ калибра 7,62 мм при стрельбе штатными патронами с дульной энергией пули 1991 – 2206 Дж.

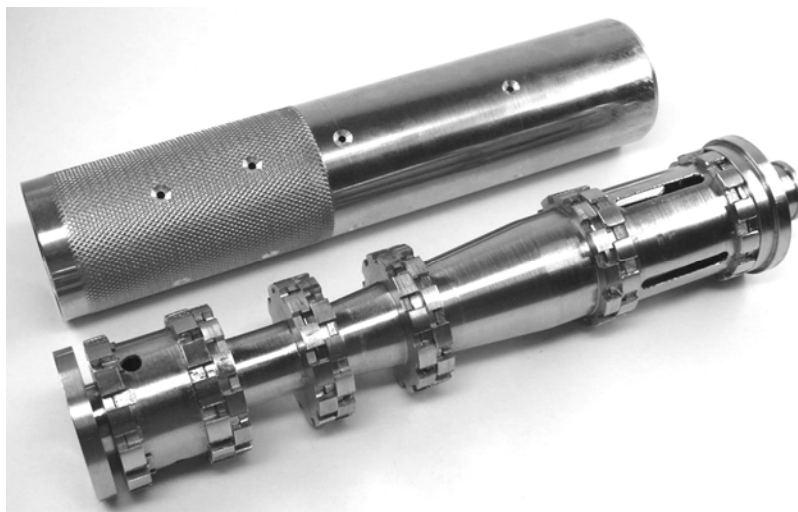


Рис. 4



Рис. 5

Измеренная в процессе испытаний эффективность снижения уровня звука выстрела глушителя составила 32 – 34 дБ, для глушителей традиционной конструктивной схемы – 28 – 32 дБ. Масса глушителя на ~ 15% меньше массы глушителей традиционных конструкций. Точность и кучность стрельбы, живучесть и эксплуатационные характеристики были не хуже этих показателей у ранее разработанных глушителей.

Таким образом, создан и испытан глушитель звука выстрела стрелкового оружия, конструкция которого обеспечивает повышение эффективности и снижение массы по сравнению с глушителями традиционных конструктивных схем путем реализации эффекта преобразования энергии сверхзвукового потока пороховых газов в тепловую при их втекании в коническую резонансную трубу с оптимальными для целей преобразования характеристиками.

1. Глушители звука выстрела стрелкового оружия с коническими перегородочными элементами / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Стрельников, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, А. Н. Авдеев / Техническая механика. – № 1. 2011. – С. 86 – 98.

2. Патент 6575074B1 США, МПК<sup>7</sup> F41A21/00. Omega Firearms Suppressor / Gaddini Joseph Daniel. – 10/202, 110, заявл. 23.07.2002 ; опубл. 10.06.2003.
3. Томпсон Р. А. Резонансная труба с возбуждением от струи газа / Р. А. Томпсон // Ракетная техника и космонавтика. – 1964. – Т. 2, № 7. – С. 85 – 89.
4. Brocher E. Etude des phenomenes thermiques dans und tube de Hartmann-Sprenger / E. Brocher, C. Maresca // Int. J. Heat. Mass Transfer. – Vol. 16 : Pergamon Press, 1973. – P. 529 – 548.
5. Brocher E. Stude of Thermal Phenomena in a Hartmann-Sprenger Tube / E. Brocher, C. Mazhesca. – NASA Technical Translation, NASA TT F-14 796, 1974. – 37 p. – № 75-13195, NASA.
6. Куццов В. М. Пульсации давления и нагрев газа при втекании сверхзвуковой струи в цилиндрическую полость / В. М. Куццов, С. И. Остроухова, К. Н. Филиппов // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1997. – № 5. – С. 104 – 111.
7. Куццов В. М. Пульсация давления и нагрев газа при втекании сверхзвуковой струи в коническую полость / В. М. Куццов, К. Н. Филиппов // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1981. – № 3. – С. 167 – 170.
8. Иванов И. Э. Пульсационные режимы течения в газодинамическом воспламенителе / И. Э. Иванов, И. А. Крюков // Математическое моделирование. – 1999. – Т. 1, № 2. – С. 48 – 54.
9. Сергиенко А. А. Газодинамический воспламенитель / А. А. Сергиенко, В. В. Семенов // Изв. ВУЗов. Авиационная техника. – 2000. – № 2. – С. 44 – 47.
10. Кесаев Х. В. Термодинамика резонансной трубы / Х. В. Кесаев // Вестник МАИ. – 2008. – Т. 15. – С. 15 – 24.
11. Газодинамический блок зажигания для дизеля [Электронный ресурс] / В. В. Семенов, Ли Чжун Мин, И. Э. Иванов, Н. А. Крюков. – 6 с. – Режим доступа к статье <http://www.chair36/msin.ru/articles/10-2/html/semenov.htm>.
12. Иванов И. Э. Численный метод для исследования фокусировки ударной волны / И. Э. Иванов, И. А. Крюков // Математическое моделирование. – 1992. – Т. 4, №12. – С. 47 – 55.
13. Ли Чжун Мин. Исследование термо-акустического нагрева газа в газоструйных генераторах Гартмана : дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук / Ли Чжун Мин. – Москва, 2004. – 160 с. – Код специальности ВАК 05.07.05.
14. Соколов А. И. Расчетное исследование газодинамического течения в дисковом генераторе Гартмана : дис. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук / А. И. Соколов. – 2006. – 119 с. – Код специальности ВАК 01.02.05.
15. Ляхов В. Н. Воздействие ударных волн и струй на элементы конструкций : Математическое моделирование в нестационарной газодинамике / В. Н. Ляхов, В. В. Подлубный, В. В. Титаренко. – М. : Машиностроение, 1989. – 392 с.
16. А. с. 1067301 СССР, МПК F23Q 13/00, F24J 3/04. Воспламенитель / Н. А. Бувайло, Э. А. Батулин, А. И. Кравцов, В. А. Фисейский, В. А. Карелин. – 3484586/28-06 ; заявл. 09.08.1982 ; опубл. 15.01.1984, Бюл. № 2.
17. А. с. 1657883A1 СССР, МПК F23Q 13/00. Газодинамический воспламенитель / Х. В. Кесаев, В. В. Демченко, В. Г. Зиновьев. – 470 4520/06 ; заявл. 14.06.89 ; опубл. 23.06.91, Бюл. № 23.
18. Патент 2029 121 Российская Федерация, МПК F02C 7/264. Газодинамический способ воспламенения горючего газа в глухом канале / Головачев В. И. , Третьяков П. К.; заявитель и патентообладатель Институт технической и прикладной механики СО РАН. – 4891188/06 ; заявл. 17.12.1990 ; опубл. 20.02.1995.
19. Патент 2225574 Российская Федерация, МПК F23Q 13/00. Газодинамический нагреватель / Семенов В. В., Ли Чжун Мин. – 2003109364/06 ; заявл. 03.04.2003 ; опубл. 10.03.2004.
20. Патент 3994232 США. Pneumatic Match Through use of a Conical Nozzle Flare / Rakowsky Edward L., Marchese Vincent P., Page Robert H., Corrado Anthony P. – 606816 ; заявл. 22.08.1975 ; опубл. 30.11.1976.
21. Заявка а 201207534 Украина, МПК<sup>7</sup> F41A 21/30; F41A 21/34. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї / Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик О. Д., Коваленко В. І. ; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. – заявл. 20.06.2012.

Институт технической механики  
НАН Украины и ГКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 11.04.13,  
в окончательном варианте 11.04.13