

ОТРАБОТКА ГЛУШИТЕЛЕЙ ЗВУКА ВЫСТРЕЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ПЕРЕГОРОДОЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

*Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лещко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: imkask@ukr.net*

Мета роботи – створення перспективних багатокамерних глушників звуку пострілу зі сферичними перегородковими елементами. Для досягнення цієї мети обґрунтовано доцільність застосування в поглиначі енергії порохових газів сферичних перегородкових елементів. Показана можливість розрахунку ефективності глушіння звуку пострілу з урахуванням їх розташування. Розроблено і створено нові конструктивні схеми високоефективних глушників для вогнепальної зброї різних калібрів. Новизна виконаної роботи підтверджена чотирма патентами України на винахід і результатами порівняльних натурних випробувань приладів з конічними, сферичними і плоскими перегородковими елементами. Комплексна оцінка характеристик глушників зі сферичними перегородковими елементами з урахуванням бойових умов застосування показала їх високу ефективність і конкурентоспроможність в порівнянні з зарубіжними аналогами. Практична значимість проведеної роботи полягає в можливості створення високоефективних глушників звуку пострілу, що відрізняються малою масою і поліпшеною технологією виготовлення в порівнянні з існуючими аналогами.

Цель работы – создание перспективных многокамерных глушителей звука выстрела со сферическими перегородочными элементами. Для достижения этой цели обоснована целесообразность применения в поглотителе энергии пороховых газов сферических перегородочных элементов. Показана возможность расчета эффективности глушения звука выстрела с учетом их расположения. Разработаны и созданы новые конструктивные схемы высокоэффективных глушителей для огнестрельного оружия разных калибров. Новизна выполненной работы подтверждена четырьмя патентами Украины на изобретение и результатами сравнительных натурных испытаний приборов с коническими, сферическими и плоскими перегородочными элементами. Комплексная оценка характеристик глушителей со сферическими перегородочными элементами с учетом боевых условий применения показала их высокую эффективность и конкурентоспособность по сравнению с зарубежными аналогами. Практическая значимость проведенной работы заключается в возможности создания высокоэффективных глушителей звука выстрела, отличающихся малой массой и улучшенной технологией изготовления по сравнению с существующими аналогами.

The aim of this work is to develop promising multi-chamber firearm silencers with spherical baffles. To achieve this objective, the advisability of using spherical baffles in the powder gas energy absorber has been substantiated. It is shown that the sound suppression efficiency can be calculated taking into account the arrangement of the baffles. New designs of high-efficiency silencers for firearms of different calibers have been developed. The novelty of the work performed is confirmed by four Ukrainian patents for an invention and the results of full-scale comparison tests of silencers with conical, spherical, and flat baffles. A comprehensive evaluation of the performance of silencers with spherical baffles with account for the field conditions of their application has shown their high efficiency and competitive ability in comparison with their foreign counterparts. The practical importance of the work performed lies in the feasibility of high-efficiency firearm silencers distinguished from their existing counterparts by their small mass and improved fabrication technique.

Ключевые слова: *глушитель звука выстрела, сферические перегородочные элементы, снижение уровня звука выстрела.*

Введение. Основными конструктивными элементами преобразования энергии газов выстрела, обеспечивающими эффективное снижение уровня звука глушителями, служат перегородки, установленные в полости корпуса, которые образуют ряд расширительных камер и определяют протекание термодинамических процессов в глушителе [1 – 10].

Используются перегородочные элементы различных форм и конструкций: плоские (рис. 1) и конические поверхности, геликоидальные конструкции, сложные составные преобразователи, тороидальные.

Применяются для этой цели и тонкостенные сферические и полусферические перегородки с центральными отверстиями для пролета пули, которые

внутри и между собой образуют расширительные камеры (рис. 2) [1, 3, 4, 6, 9, 11].

Информация о том, какие преимущества имеют глушители со сферическими перегородочными элементами, в каких случаях отдавать им предпочтение и как сферическая форма перегородок сказывается на характеристиках глушителя, стала известной после всеобъемлющего патентно-информационного поиска, расчета эффективности и проведения сравнительных испытаний приборов снижения уровня звука выстрела (далее ПСУЗВ) с различными перегородочными элементами.

Цель работы – создание перспективных многокамерных глушителей звука выстрела со сферическим перегородочным элементами.

Конструктивные схемы эффективных ПСУЗВ со сферическими перегородочными элементами разработаны на основании глубокого патентно-информационного поиска, теоретических расчетов и натуральных испытаний вариантов конструкций глушителей.

Расширительная камера на входе пороховых газов выстрела в полость корпуса обеспечивает наиболее эффективное преобразование энергии потому, что давление и температура газов на срезе ствола при выстреле имеют наибольшие величины, и их трансформация практически не зависит от того, размещены или нет какие-либо конструктивные элементы на входе в полость корпуса. Этот доказанный теоретически и при натуральных стрельбах факт привел к выводу: от 25 до 30 процентов объема полости корпуса на входе в нее пороховых газов выстрела может быть свободным от любых конструктивных элементов, что практически не влияет на характеристики глушителя.

На выходе из первой расширительной камеры необходимо установить конструктивный элемент, который бы эффективно снижал скорость пороховых газов выстрела до трансзвуковой (дозвуковой).

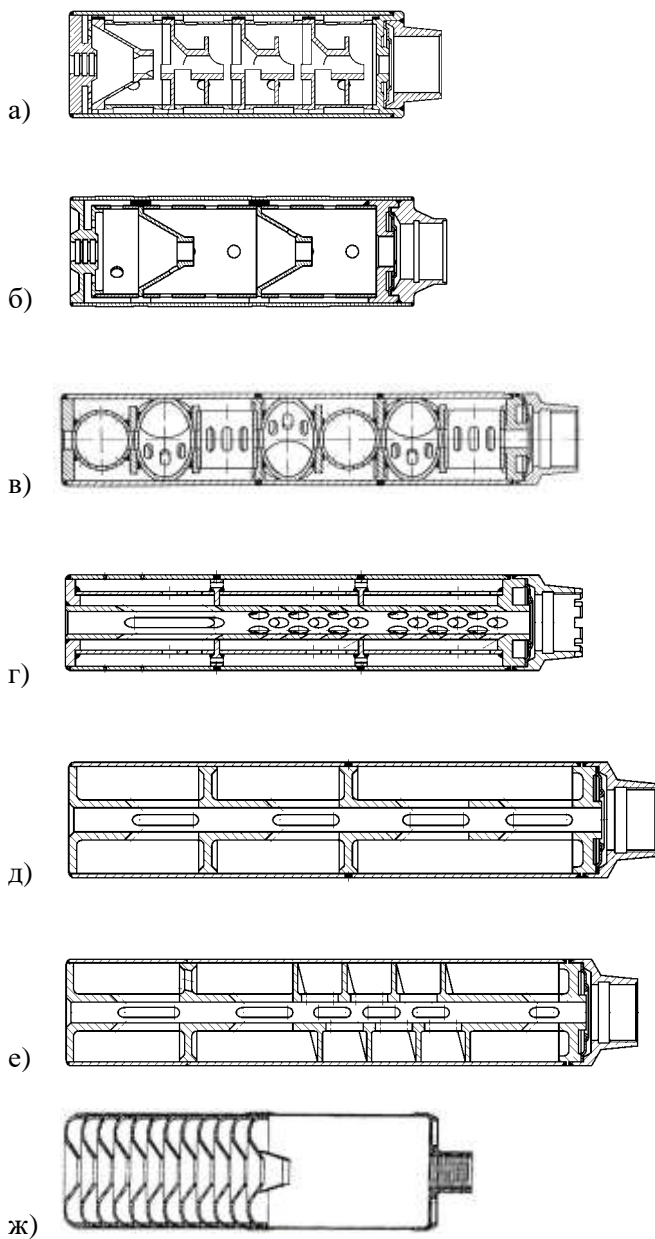
Выбор формы и конструктивных параметров этого элемента может базироваться на основании положений, приведенных в работе [10].

Осевая сила при обтекании тела вращения равна

$$X_p = C_x \cdot (q_\infty \cdot S_{mid}), \quad (1)$$

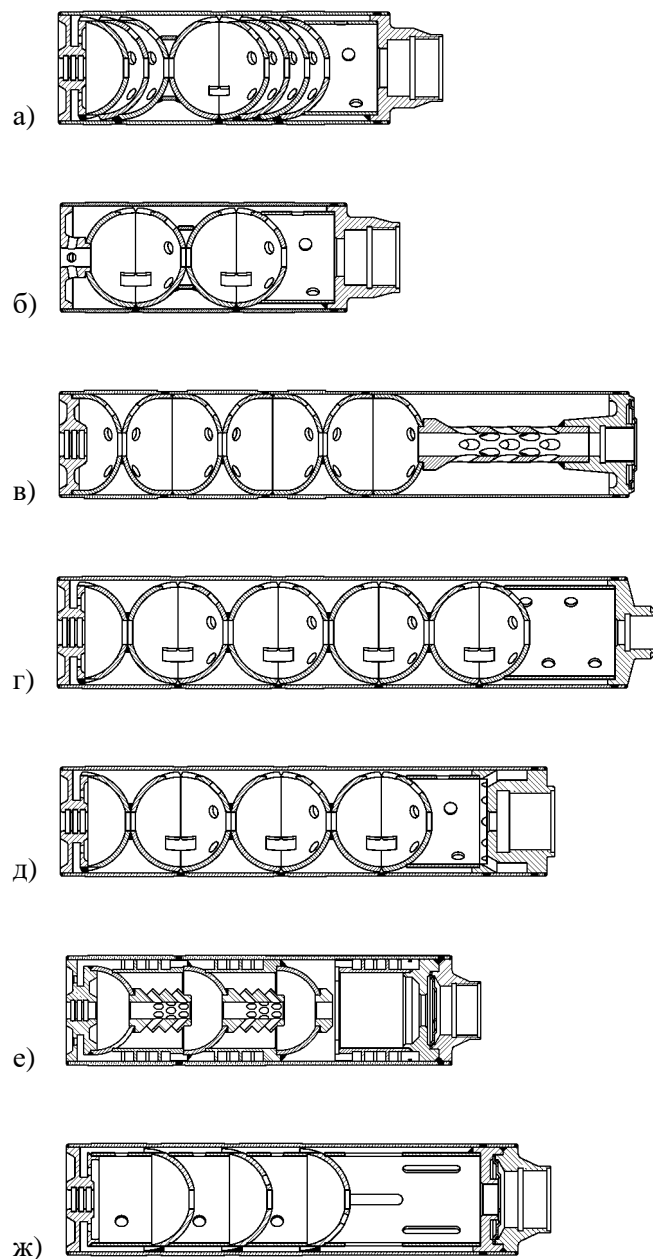
где C_x – полный коэффициент осевой силы; q_∞ – скоростной напор невозмущенного потока; S_{mid} – площадь миделя обтекаемого тела.

Как видно из [11], при трансзвуковых скоростях (число Маха не более 1) коэффициенты осевой силы для конуса и сферы почти равны, но при переходе к сверхзвуковым скоростям коэффициент сопротивления сферы увеличивается в два раза, а конуса – от 7 до 8 раз.



- а) – ПСУЗВ-21.11-5,45 с конически-цилиндрическими перегородками;
- б) – ПСУЗВ-132ГТ-5,45 с коническими перегородками;
- в) – ПСУЗВ-118Ш-5,45 с перегородками в виде цилиндрических оболочек;
- г) – ПСУЗВ-130-7,62 с плоскими и цилиндрическими перегородками, имеющими отверстия для перетока пороховых газов;
- д) – ПСУЗВ-131-7,62 с плоскими перегородками;
- е) – ПСУЗВ-83-5,45 с перегородками, имеющими форму шнека;
- ж) – глушитель Reflex с тороидальными перегородками

Рис. 1 – Конструктивные схемы ПСУЗВ с перегородочными элементами разной формы



- а) – ПСУЗВ-01Т.16-5,45 для автомата АК-74 калибра 5,45 мм;
- б) – ПСУЗВ-10Т.15-5,45 СБ2 для автомата АК-74 калибра 5,45 мм;
- в) – ПСУЗВ-02.14-7,62 СБ1 для автомата АКМ калибра 7,62 мм;
- г) – ПСУЗВ-02Т.15(2)-7,62 СБ6 для автомата АКМ калибра 7,62 мм;
- д) – ПСУЗВ-01Т.15(2)-5,45 для автомата АК-74 калибра 5,45 мм
- е) – ПСУЗВ-11Т.16-5,45 для автомата АК-74 калибра 5,45 мм;
- ж) – ПСУЗВ-14Т.16-5,45 для автомата АК-74 калибра 5,45 мм

Рис. 2 – Варианты размещения перегородочных элементов в виде сфер и полусфер в полости корпуса ПСУЗВ

Рассматривая рис. 1, можно выделить три основные формы перегородочных элементов ПСУЗВ: сферические, конические и плоские. Эти элементы имеют одинаковую площадь основания, образуемую внутренним диаметром корпуса глушителя (рис. 3). Плоская конфигурация перегородки имеет такую же площадь, как основание полусферы и конуса

$$S_i = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2)$$

где S_o – площадь поверхности плоской перегородки. D – диаметр основания.

Площадь боковой поверхности конуса

$$S_e = 1,41 \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3)$$

где S_k – площадь боковой поверхности конуса.

Площадь поверхности полусферы

$$S_{ин\phi} = 2 \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4)$$

где $S_{nc\phi}$ – площадь поверхности полусферы.

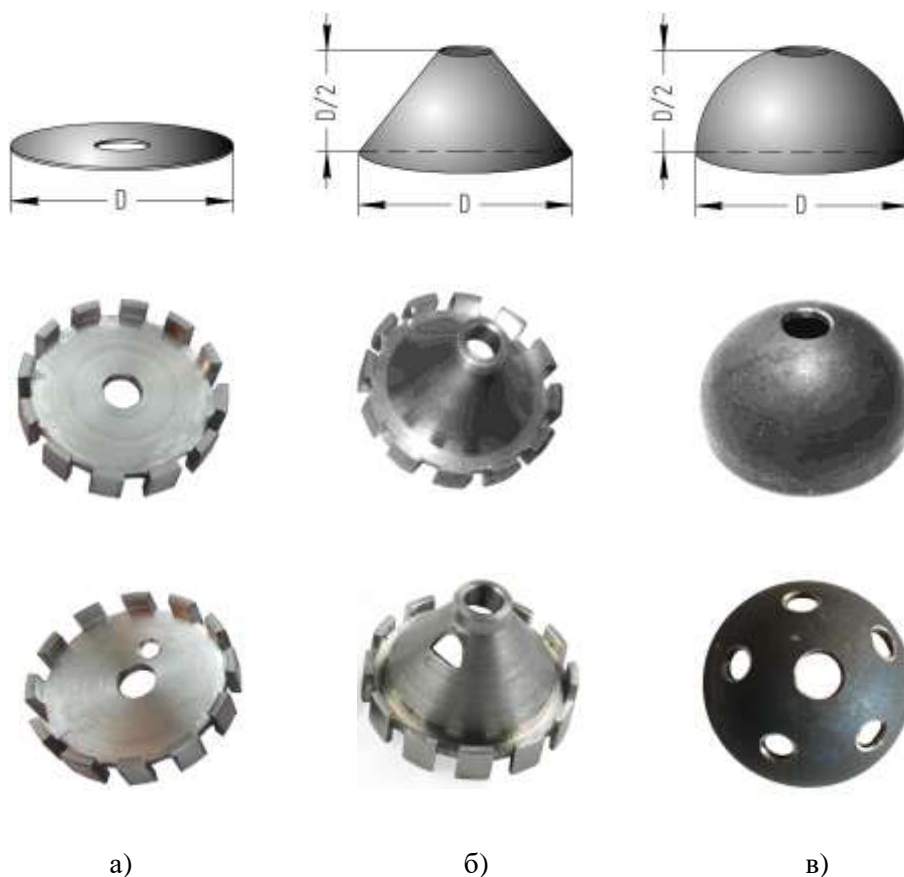
Из формул следует, что соотношение площадей перегородок 1:1,41:2,0, т. е. площадь поверхности полусферической перегородки в 2 раза больше, чем площадь плоской перегородки, и в 1,41 раза больше, чем площадь боковой поверхности конической перегородки.

Эти соотношения позволяют сделать вывод о том, что полусферы обеспечивают наиболее эффективное использование объемов расширительных камер ПСУЗВ, обеспечивают турбулизацию потока, формирование и столкновение струй пороховых газов, организацию встречного потока в непосредственной близости от отверстия глушителя.

Перегородочные элементы сферической формы используются редко (по сравнению, например, с плоскими и коническими перегородками). Основные схемы их компоновки в плоскости корпуса представлены на рис. 2. Сферические перегородочные элементы устанавливаются в полости корпуса вершинами против направления стрельбы (рис. 2, а) и образуют двояковыпуклые линзоподобные элементы (рис. 2, б) или полые сферы (рис. 2, в).

Полусферическая поверхность перегородок обеспечивает такую конструкцию глушителя, при которой необходимое запаздывание времени для изменения фазы давления достигается в конструкции меньших габаритных размеров, чем для перегородок иной формы.

В схемах со сферическими и полусферическими перегородочными элементами каждый сферический перегородочный элемент образует узел – турбулизатор, который формирует радиальные струи газа и обеспечивает их столкновение. Такая газодинамическая картина наблюдается как в фазе заполнения, так и в фазе истечения газа из глушителя, что значительно повышает эффективность снижения уровня звука выстрела (далее эффективность) [12].



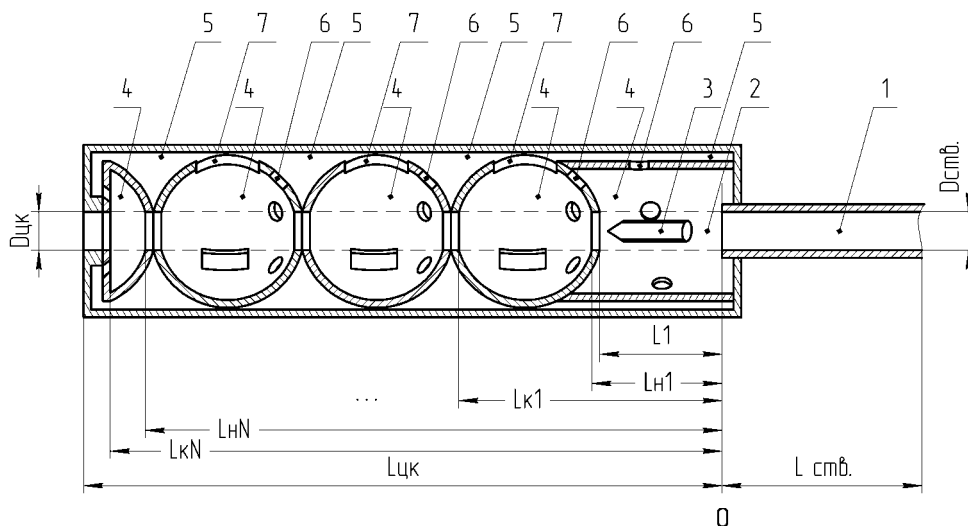
D – диаметр основания;
 а) – плоская перегородка; б) – конус; в) – полусфера

Рис. 3 – Основные формы перегородочных элементов ПСУЗВ

Оценка эффективности разработанных приборов (рис. 4) производилась моделированием газодинамического процесса в глушителе камерного типа на основе законов сохранения массы и энергии газа, представленных в интегральной форме. Теоретическое обоснование моделирования этих процессов подробно изложено в работах [12, 13]. На данном этапе проведения работ рассматривалась возможность расчета движения пули в глушителе со сферическими перегородочными элементами. При проведении расчета учитывается:

- нестационарный характер истечения струи пороховых газов из дульного среза оружия;
- влияние пули на процесс заполнения расширительных камер глушителя пороховыми газами;
- режим установления процесса истечения струи пороховых газов через дульный срез в полузамкнутые объемы камер глушителя;
- формирование газодинамических параметров потока в выходном отверстии.

Структурная схема элементов глушителя для расчета газодинамических параметров приведена на рис. 4.



О – срез ствола (начало отсчета параметров глушителя);

Dств. – диаметр (калибр) ствола, мм;

Dцк – диаметр центрального канала, мм;

Lств. – длина хода нарезов ствола, мм;

Lцк – длина центрального канала глушителя, мм;

$L_{n1}, L_{k1}, \dots, L_{nN}, L_{kN}$ – расстояние от среза ствола (точка О) до конца обобщенных отверстий расширительных камер 1, ..., N;

1 – ствол;

2 – центральный канал глушителя;

3 – пуля;

4 – основные расширительные камеры;

5 – дополнительные расширительные камеры;

6 – отверстия перетока пороховых газов;

7 – пазы перетока пороховых газов

Рис. 4 – Структурная схема для расчета газодинамических параметров глушителя со сферическими перегородочными элементами

Основные узлы прибора:

– канал ствола 1;

– центральный канал глушителя 2, имеющий цилиндрическую форму;

– основные расширительные камеры 4, разделенные сферическими перегородками и соединенные с центральным каналом 2 отверстиями для перетока газов;

– дополнительные расширительные камеры 5, сообщающиеся между собой и с основными камерами через отверстия и пазы.

Движение пули по центральному каналу ствола происходит под действием избыточного давления, созданного в результате сгорания пороха в малом объеме камеры сгорания. Во время движения пули осуществляется отвод пороховых газов из канала в расширительные камеры через отверстия и пазы. Формируется центральный поток в центральной трубке и дополнительные потоки в основных и дополнительных расширительных камерах. После вы-

хода пули из глушителя движение газа внутри него продолжается за счет массообмена с расширительными камерами и окружающей средой.

Для выполнения расчетов необходимы следующие исходные данные:

- калибр ствола, мм;
- длина хода нарезов ствола, мм;
- давление пороховых газов на срезе ствола, атм;
- температура газов на срезе стола, град. К;
- скорость пули на срезе ствола, м/с;
- длина центрального канала глушителя от среза ствола, мм;
- диаметр центрального канала глушителя, мм;
- количество камер (начиная с камеры 2, исключая камеру центрального канала 1) и их объемы, мм³;
- число обобщенных отверстий и их параметры, что предусматривает указание:

- 1) номера камеры, из которой поступают газы;
- 2) номера камеры, в которую поступают газы;
- 3) площади отверстий перепуска, мм²;
- 4) начала участка от среза ствола, мм;
- 5) конца участка от среза ствола, мм;
- 6) угла наклона отверстия к оси, град.;
- 7) поправочного коэффициента.

В результате выполнения расчета получены следующие параметры, соответствующие концу выстрела (выходу пули из центрального канала глушителя):

- эффективность снижения уровня звука выстрела, дБ;
- давление газов в каждой камере, атм;
- температура газа в каждой камере, град. К;
- плотность газа в каждой камере, кг/м³;
- объем каждой камеры, мм³;
- скорость пули, м/с.

Таким образом, моделирование позволяет оценить параметры газодинамического процесса в глушителе со сферическими перегородочными элементами во время выстрела, что дает возможность рационально выбрать состав, расположение и размеры элементов рассекателя пороховых газов при разработке новых приборов.

Изготовлены ПСУЗВ и проведены их натурные испытания для различных образцов ручного огнестрельного оружия калибра 5,45 мм; 5,56 мм; 6,2 мм; 7,62 мм; 8,6 мм и 9,0 мм. Эффективность составила от 20 до 36 дБ при конкурентных габаритно-массовых характеристиках. Кроме того, они обеспечивают полное гашение пламени выстрела, в ночных условиях имеют меньшую тепловую заметность из-за более низкой температуры корпуса, ствола оружия и выходящих из глушителя газов.

Ниже приведены результаты сравнительных натурных испытаний ПСУЗВ для оружия калибров 5,45 мм и 7,62 мм, рассекатели которых содержат перегородочные элементы разной формы: конусные, сферические и плоские.

Испытания проводились на полигоне в 2016 и 2017 гг.

Цель испытаний: субъективная оценка эффективности работы ПСУЗВ с рассекателями двух типов (первый содержит сферические, второй – плоские перегородочные элементы) и выявление особенностей их работы по сравнению с выбранным эталонным ПСУЗВ, перегородочные элементы которого имеют коническую форму.

Испытания проводились с использованием автоматов Калашникова: АК-74М и АКСУ-74 калибра 5,45 мм и АКМ калибра 7,62 мм со штатными боеприпасами.

Объекты испытаний: три ПСУЗВ с разной формой перегородочных элементов для оружия калибра 5,45 мм (таблица 1) и три ПСУЗВ с разной формой перегородочных элементов для оружия калибра 7,62 мм (таблица 2).

Таблица 1 – Конструктивные схемы ПСУЗВ для огнестрельного оружия калибра 5,45 мм с рассекателями, имеющими разную форму перегородочных элементов

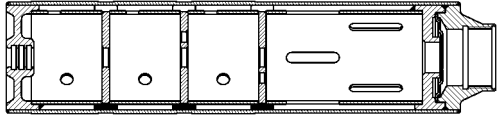
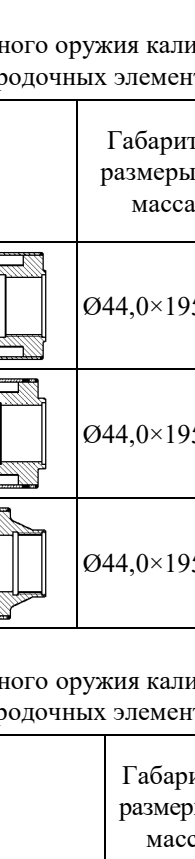
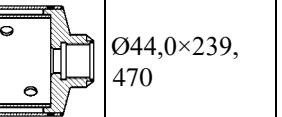
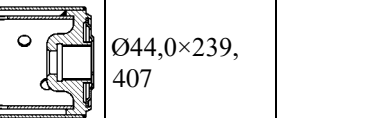
Наименование прибора, форма перегородочных элементов	Конструктивная схема	Габаритные размеры, мм; масса, г
ПСУЗВ-11ТМ.12-5,45 конусная		Ø44,0×195, 420
ПСУЗВ-01Т.15(2)-5,45 сферическая		Ø44,0×195, 420
ПСУЗВ-154А(Т.17)-5,45 плоская		Ø44,0×195, 470

Таблица 2 – Конструктивные схемы ПСУЗВ для огнестрельного оружия калибра 7,62 мм с рассекателями, имеющими разную форму перегородочных элементов

Наименование прибора, форма перегородочных элементов	Конструктивная схема	Габаритные размеры, мм; масса, г
ПСУЗВ-19ТБ.12-7,62 конусная		Ø44,0×241, 475
ПСУЗВ-02Т.15(2)-7,62 сферическая		Ø44,0×239, 470
ПСУЗВ-09Т.17-7,62 плоская		Ø44,0×239, 407

В качестве эталонов выбраны ПСУЗВ, эффективность которых измерялась шумомерами в различных условиях и составляет от 30 до 36 дБ: ПСУЗВ-11ТМ.12-5,45 для оружия калибра 5,45 мм и ПСУЗВ-19ТБ.12-7,62 для оружия калибра 7,62 мм.

По результатам сравнительных испытаний в светлое время суток установлено:

– звук выстрела ПСУЗВ с коническими перегородочными элементами (эталонного) несколько похож на звук выстрела малокалиберной винтовки, только более короткий и нет раската эхо;

– звук выстрела ПСУЗВ со сферическими перегородками элементами несколько тише, чем у эталонного прибора;

– звук выстрела ПСУЗВ с плоскими перегородочными элементами более протяжный, чем у эталонного прибора, по частоте немного ниже, присутствует эхо.

По результатам сравнительных испытаний в темное время суток установлено:

– первый выстрел ПСУЗВ с коническими перегородочными элементами (эталонного) сопровождается одиночными искрами, последующие выстрелы без пламени и без искр;

– звук выстрела ПСУЗВ со сферическими перегородками элементами несколько тише, чем у эталонного прибора;

– первый выстрел ПСУЗВ с плоскими перегородочными элементами сопровождается пучком искр, при последующих выстрелах присутствуют одиночные искры. По уровню звука он немного громче, чем эталонный прибор, присутствует эхо, по частоте немного ниже, звук выстрела несколько протяжнее.

Отмечено, что ПСУЗВ со сферическими перегородочными элементами в достаточной степени снижают уровень звука выстрела, исключают пламя на срезе ствола. Приборы целесообразно использовать в подразделениях специального назначения в определенных видах операций и при тренировочных стрельбах.

Выводы.

1 Разработаны и созданы новые высокоэффективные глушители звука выстрела стрелкового оружия со сферическими перегородочными элементами.

2 Проведена комплексная оценка характеристик глушителей с учетом боевых условий их применения, в том числе обеспечения малой световой и тепловой заметности.

3 Натурные испытания приборов с перегородками в виде полусфер и сфер показали их превосходство по эффективности снижения уровня звука выстрела над базовыми конструкциями с прямыми и коническими перегородочными элементами и зарубежными образцами. Они имеют ресурс не менее 5000 выстрелов сверхзвуковыми боеприпасами, обладают малыми габаритами и массой и могут использоваться с оружием среднего калибра любого типа.

1. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Семенчук Д. В., Михайлов С. П. Разработка и натурные испытания глушителей звука выстрела стрелкового оружия со сферическими перегородочными элементами. Техническая механика. 2015. № 1. С. 3–14.

2. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Семенчук Д. В., Устинов С. Д. Профилирование внутренней поверхности корпуса глушителя звука выстрела стрелкового оружия как средство повышения эффективности его работы. *Техническая механика*. 2015. № 2. С. 6–22.
3. Пилипенко О. В., Коновалов Н. А., Скорик А. Д., Поляков Г. А., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Перспективные конструкции глушителей звука выстрела стрелкового оружия. *Техническая механика*. 2015. № 4. С. 44–65.
4. Пилипенко О. В., Коновалов Н. А., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Глушитель с периферийным лабиринтно-вихревым контуром отвода газов. *Техническая механика*. 2016. № 2. С. 7–15.
5. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Семенчук Д. В., Коваленко В. И. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: пат. 108783 Україна, МПК F41A 21/20. № а 2013 10602; заявл. 02.09.13; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11. 8 с.
6. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Коваленко В. И., Піхотенко С. В., Яковлев О. А. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї зі сферичними перегородковими елементами: пат. 109381 Україна, МПК F41A 21/30 (2006.01). № 2014 10885; заявл. 06.10.14; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. 8 с.
7. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Коваленко В. И. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: пат. 110644 Україна, МПК F41A 21/30. № а 2013 13818; заявл. 28.11.2013; опубл. 25.01.2016, Бюл. № 2. 7 с.
8. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Семенчук Д. В., Коваленко В. И. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї з настольною розширювальною камерою: пат. 111772 Україна, МПК F41A 21/30. № а 2014 09056; заявл. 11.08.14; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 11. 9 с.
9. Пилипенко О. В., Коновалов Н. А., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Перспективные конструкции глушителей звука выстрела стрелкового оружия. *Материалы Международной научно-технической конференции (14–15 мая 2015, г. Львов)*. Львов, 2015. С. 49–50.
10. Замкнутые (полные) сферические перегородочные элементы. URL: <http://www.silencertalk.com> (дата обращения 10.06.2009).
11. Краснов Н. Ф. Основы аэродинамического расчета. *Аэродинамика летательных аппаратов: учебное пособие для студентов вузов*. М., 1981. 496 с.
12. Коновалов Н. А., Кваша Ю. А., Кулик А. Д., Коваленко В. И., Лахно Н. И., Скорик А. Д. Математическое моделирование газодинамического процесса работы прибора снижения уровня звука выстрела. *Техническая механика*. 1999. № 1. С. 13–17.
13. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Кваша Ю. А., Коваленко В. И. Ручное огнестрельное оружие бесшумного боя. Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов. Проектирование и экспериментальная отработка. *Днепропетровск*, 2008. 303 с.

Получено 19.09.2017
в окончательном варианте 04.10.2017