

Н. А. КОНОВАЛОВ, О. В. ПИЛИПЕНКО, А. Д. СКОРИК, В. И. КОВАЛЕНКО,
Д. В. СЕМЕНЧУК, С. П. МИХАЙЛОВ

РАЗРАБОТКА И НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ ЗВУКА ВЫСТРЕЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ПЕРЕГОРОДОЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В настоящей статье приведена информация о глушителях звука выстрела стрелкового оружия, в конструкции которых используются сферические перегородочные элементы.

Даны сведения о запатентованных изделиях этого типа начиная с 1910 года, когда впервые был выдан патент на конструкцию глушителя с такими основными существенными отличительными признаками. В хронологической последовательности описано устройство запатентованных глушителей и особенности их функционирования, как их представляют авторы запатентованных изобретений.

Приведена информация о разработанном авторами тестовом глушителе со сферическими перегородками, и представлены результаты анализа публикаций, в которых учтены особенности газодинамических процессов в глушителе.

Приведено описание штатной конструкции и работы глушителя со сферическими перегородочными элементами, на которую авторы направили заявку на изобретение.

Сделаны выводы по проведенной работе и полученным результатам, и намечено направление дальнейших исследований.

В цій статті наведена інформація про глушники звуку пострілу стрілецької зброї, в конструкції яких використовуються сферичні перегородкові елементи.

Дано відомості про запатентовані глушники такого типу починаючи з 1910 року, коли вперше було видано патент на конструкцію глушника з такими основними суттєвими відмінними ознаками. В хронологічній послідовності описано будову запатентованих глушників та особливості їх функціонування, як їх уявляють автори запатентованих винаходів.

Приведено інформацію про розроблений авторами тестовий глушник зі сферичними перегородковими елементами та результати аналізу публікацій, в яких враховано особливості газодинамічних процесів в глушнику.

Описано штатну конструкцію та роботу глушника зі сферичними перегородковими елементами, на яку автори направили заявку на винахід.

Зроблено висновки по проведеній роботі та отриманих результатах, та намічено напрям подальших дослідних робіт.

The paper presents information about sound suppressors for small arms using spherical baffles.

Data on patented products of this type are reported, beginning in 1910, when the sound suppressor design with such basic essential features was first patented. The design of patented sound suppressors and special features of their operation in accordance with inventors' description are considered in an orderly sequence.

Information about the test sound suppressor with spherical baffles developed by the authors and the results of the analysis of publications considering special features of gas dynamic processes in the sound suppressor are presented.

A standard design and the operation of the sound suppressor with spherical baffles are described. The authors filed a patent application for this design.

Conclusions relative to studies performed and the results obtained are reached and ways of further investigations are directed.

Ключевые слова: *глушители звука выстрела, сферические перегородочные элементы, эффективность, функционирование.*

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 термогазодинамических процессов в глушителе.

© Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И.,
Семенчук Д. В., Михайлов С. П., 2015

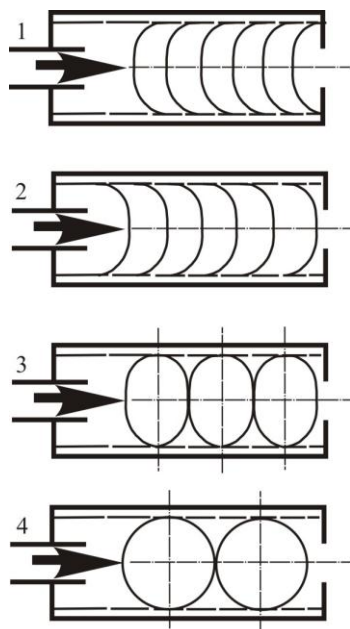


Рис. 1

Сферические перегородочные элементы устанавли-

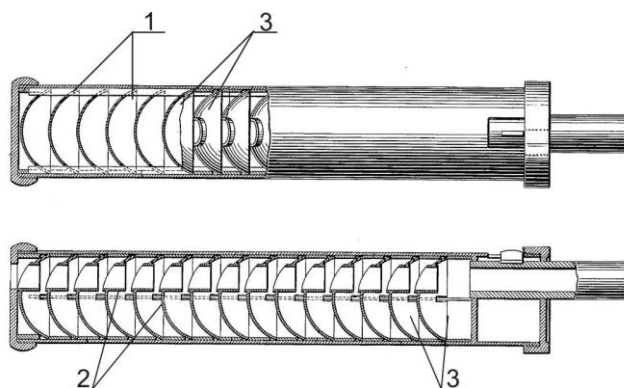


Рис. 2

ваются в полости корпуса вершинами против направления (рис. 1.1), либо по направлению стрельбы (рис. 1.2), образуют двояковыпуклые линзоподобные элементы (рис. 1.3) или полные сферы (рис. 1.4).

Первый известный авторам глушитель со сферическими перегородочными элементами описан в патенте США № 959.400 с приоритетом от 24.05.1910 года, выданном J. H. Stinson [1] (рис. 2). Он включает однотипные сферические перегородочные элементы 1, которые выпуклой частью ориентированы в направлении стрельбы, в каждом из них в отверстии для пролета пули установлены трубчатые элементы 2, которые формируют поток газов в расширительных камерах 3, образованных двумя смежными сферическими перегородками. Автор так описывает работу этого глушителя: «При выстреле из винтовки, оснащенной этим глушителем, устремляющиеся наружу пороховые газы тормозятся в последовательных точках с помощью выпуклых го-

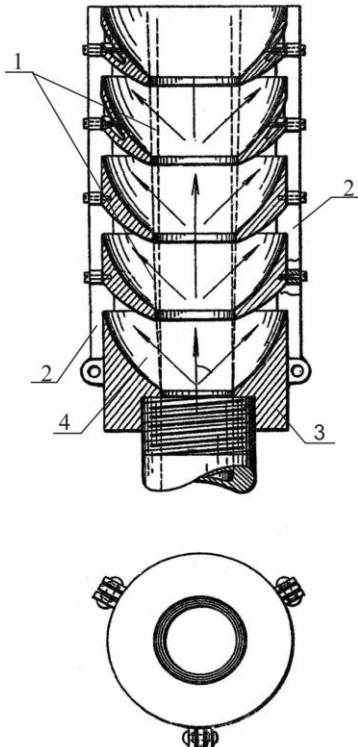


Рис. 3

ловок, и их направление изменяется с движения вперед до закручивающегося движения назад, что уменьшает скорость газов и позволяет им постепенно выходить без какого-то значительного звука» [1].

Глушитель звука выстрела по патенту США № 1.854.974 с приоритетом от 29.11.1930 года [2] (рис. 3) не имеет традиционного для глушителя выстрела корпуса и представляет собой четыре сферических перегородочных элемента 1, скрепленных стержнями 2. Выпуклой стороной сферические поверхности установлены против направления стрельбы, а на срезе ствола установлен базовый конструктивный элемент 3 с узлом крепления к стволу оружия, в котором выполнена сферическая расширительная камера 4 и к которому через три стержня 2 крепятся четыре сферических перегородочных элемента.

Передние сферы конструктивных элементов спрофилированы относительно задних предыдущей перегородки так, что радиальное сечение пространства между ними уменьшается к периметру колец.

шается к периметру колец.

Перегородочные элементы сферической формы используются и в конструкции глушителя по заявке РСТ/ЕР 2013/058451 от 24.04.2012 (WO 2013/160330 A1) (рис. 4) [3]. Он также не имеет традиционного корпуса и от ранее описанного глушителя отличается, по существу, только конструктивным выполнением рассекателя (преобразователя) энергии пороховых газов, что подтверждается сравнением рис. 3 и рис. 4.

Промежутки уменьшаются по направлению к внешним концам, но самая малая свободная площадь промежутков должна быть больше, чем площадь поперечного сечения канала ствола.

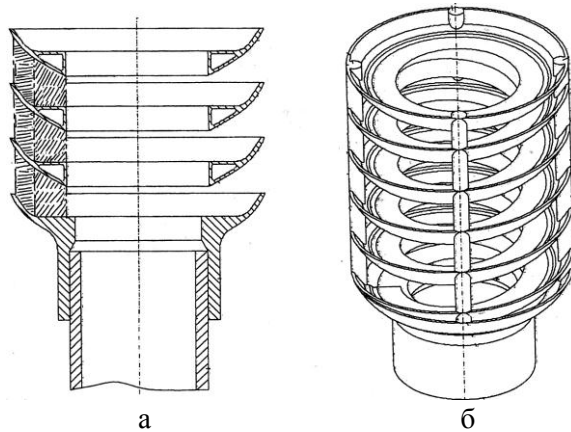


Рис. 4

Глушитель по патенту Франции № 864.735 с приоритетом от 10.04.1940 (рис. 5) [4] включает перегородочные элементы 1, причем «каждая перегородка или чашка имеет выгнутую форму по направлению к огнестрельному оружию, препятствует вибрациям этих перегородок и дополнительно способствует поглощению звуковых волн».

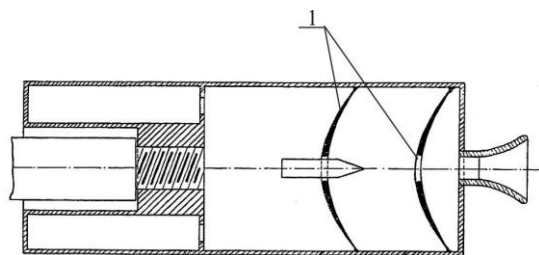


Рис. 5

Патентом предусмотрены разные модификации базового варианта глушителя (количество камер, перегородок и их взаимное расположение) в зависимости от огневой мощности оружия (энергии боеприпаса), с

которым глушитель используется. Также можно модифицировать форму перегородок в соответствии с потребностями эффективного использования глушителя.

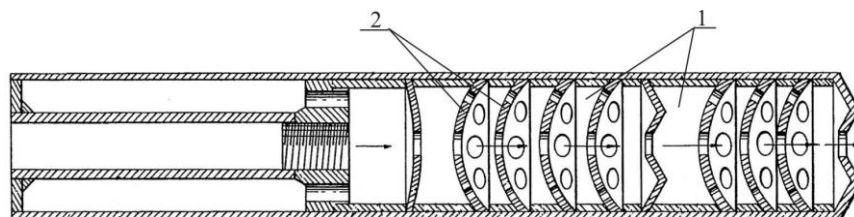


Рис. 6

Используются перегородочные элементы в глушителе по патенту США № 4.907.488 с приоритетом от 29.03.1988 [5] (рис. 6).

Надульная часть глушителя состоит из нескольких камер 1 и полусферических экранов 2 (перегородок), которые направляют часть газов и звуковых волн по иному от основных газов и звуковых волн, более длинному пути. Потом они сходятся в расширительной камере. Две волны с несовпадающими

фазами сталкиваются и гасят друг друга.

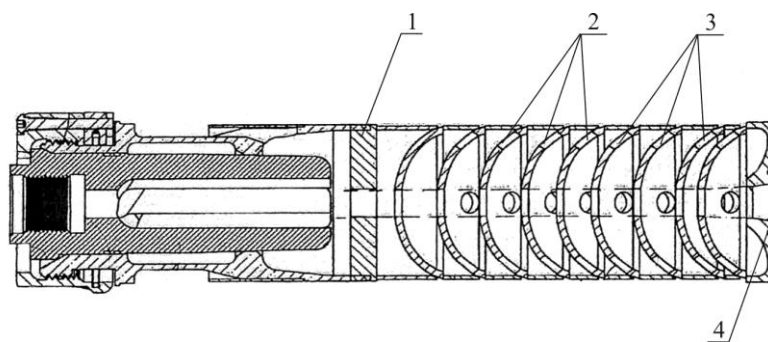


Рис. 7

Расстояние между полусферическими экранами установлено такое, что звук выстрела должен трансформироваться в ультразвук. Использование полусферических экранов с центрально размещенными отверстиями и отверстиями на внешней части этих экранов в глушителе по этому патенту характерно тем, что волны газа и звука, проходя через центральное отверстие глушителя, наталкиваются на смежную с центральным отверстием поверхность,

6

поскольку она почти перпендикулярна оси глушителя и, таким образом, волны газа и звука перенаправляются назад под углом, почти перпендикулярным этой поверхности, а отклоненная волна ударяется о поверхность повернутого вперед смежного экрана.

Полусферическая поверхность перегородок, по мысли автора, обеспечивает такую конструкцию глушителя, при которой необходимая задержка во

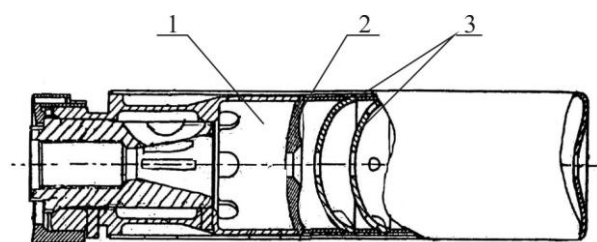


Рис. 8

времени для изменения фазы давления достигается в конструкции меньших размеров, чем для перегородок иной формы.

Описанные принципы работы глушителя и конструкция перегородочных элементов использованы

также в техническом решении по Европейскому патенту EP 2615 403A2 (по заявке № 1315 04243 от 07.01.2013) (рис. 7) [6]. В корпусе глушителя перед срезом ствола установлен плоский упрочненный дисковый перегородочный элемент 1 с отверстием для пролёта пули, а за ним по направлению выстрела – сферические перегородочные элементы 2, в каждом из которых выполнены по четыре дренажных отверстия 3. Корпус глушителя замыкается передним фланцем 4, имеющим профиль внутренней поверхности, обеспечивающей создание встречного потока газов основному потоку.

Сферические перегородочные элементы также используются в глушителе по заявке США (pub. us.2007/0266 844A1) с приоритетом от 26.02.2007 [7] (рис. 8).

На входе в глушитель (после пламегасителя) образована расширительная камера 1, на выходе из которой установлен упрочненный конструктивный перегородочный элемент, выполненный в виде части сферы 2, выпуклой стороной повернутой к срезу ствола, который воспринимает основную термогазодинамическую нагрузку и за которым поток газа становится дозвуковым (трансзвуковым). За ним расположено несколько сферических перегородочных элементов с отверстиями для пролета пули и перетекания газа из камеры в камеру 3.

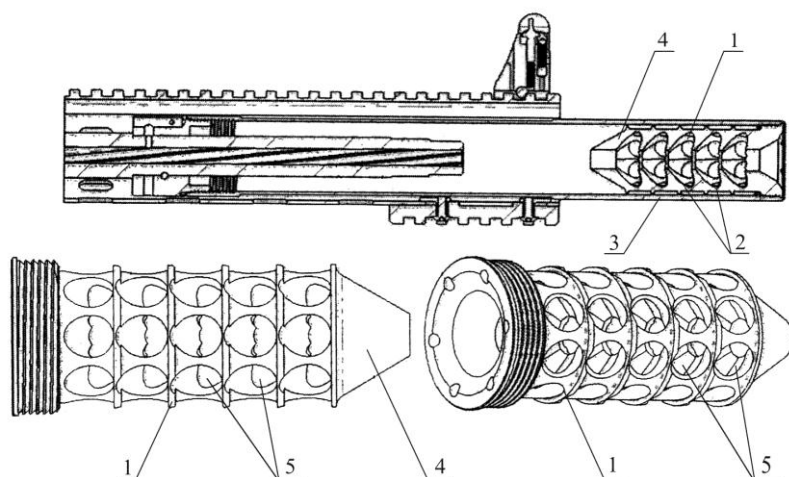


Рис. 9

Используются перегородочные элементы со сферической поверхностью и в техническом решении, описанном в W0 2014 / 120 401A2 по заявке № PCT/US 2014 / 010668 от 08.01.2014 (рис. 9) [8]. Расширитель-преобразователь энергии пороховых газов выполнен в виде блока перегородок 1, имеющих сферические поверхности 2, установленного на выходе из корпуса глушителя 3. Первый перегородочный элемент блока 4 выполнен коническим, а последующие имеют сферические поверхности, обращенные выпуклостью к срезу ствола и перфорированные отверстиями 5.

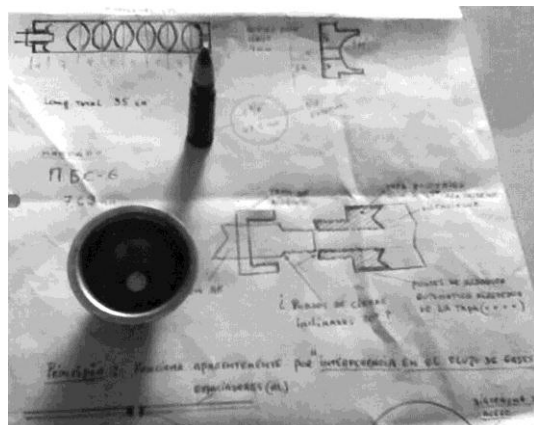


Рис. 10

Замкнутые (полные) сферические перегородочные элементы и их возможное размещение в корпусе глушителя приведены в [9]. В этом же источнике приведено изображение эскизов конструкции российского глушителя для автоматов Калашникова – ПБС-6 (хотя сведения об изготовлении и использовании такого глушителя во всех доступных источниках информации отсутствуют) (рис. 10) [9].

Из приведенных эскизов следует, что в качестве основных элементов рассекателя-преобразователя пороховых газов ПБС-6 было намерение использовать

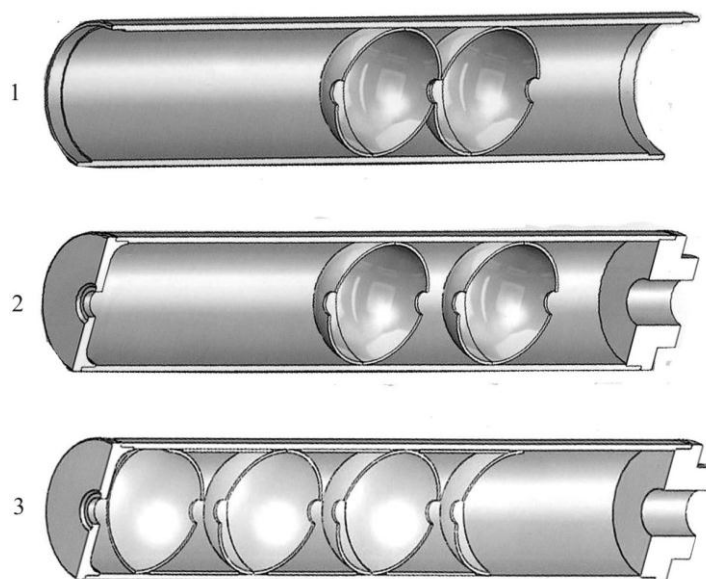


Рис. 11

пользовать шесть линзообразных, созданных каждая из двух сферических элементов, перегородок.

На рис. 11 [9] приведены варианты размещения перегородочных элементов в виде полных сфер в полости корпуса глушителя с целью выбора оптимальной конструкции в отношении массы глушителя и его эффективности.

Преимущества глушителя, варианты которого приведены на рис. 11, сложно оценить из-за следующего:

- не определены соотношения (или номиналы) размеров конструктивных элементов, которые влияют на основные характеристики глушителя;
- не приведена информация о наиболее эффективном количестве сферических элементов и их размещении;
- не предусмотрены конструктивные элементы, которые обеспечивали бы наиболее эффективное использование объемов расширительных камер;
- не отмечено, как ликвидируются технические сложности по обеспечению необходимой ориентации сфер в цилиндре, поскольку их контакт представляет собой одну линию-окружность;
- не приведены (не определены), не изображены конструктивные элементы, которые обеспечивают турбулизацию потока, формирование и столкновение струй пороховых газов, организацию встречного потока возле выходного отверстия глушителя.

Из результатов анализа приведенной информации, авторы с целью определения реальных возможностей и характеристик глушителя звука выстрела со сферическими перегородочными элементами разработали, изготовили и провели серию натурных испытаний глушителей, типовая конструкция одного из которых приведена на рис. 12. Основная исследуемая особенность конструкции – наличие сферических перегородочных элементов в количестве четырех, образующих пять расширительных камер. Первые по ходу пули две расширительные камеры равны по объему, объем остальных уменьшается к выходу из глушителя.

В результате проведенных натурных испытаний с использованием боеприпасов различной энергетикой следует:

- эффективность снижения уровня звука выстрела глушителя соответствует этому показателю для лучших ранее разработанных приборов снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ) при сопоставимых габаритно-массовых характеристиках;
- уменьшилась стоимость глушителя за счет использования прогрессивных технологических процессов при изготовлении конструктивных элементов и глушителя в целом;
- влияние на автоматику оружия, точность и кучность стрельбы, эксплуатационные характеристики не изменились.

С целью повышения эффективности разработанной конструкции и

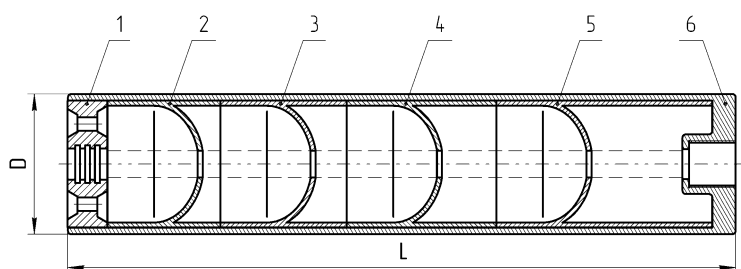


Рис. 12

надежности её работы, авторы продолжили поиски более рационального устройства глушителя звука выстрела с использованием сферических перегородочных элементов.

Авторы пришли к выводу, что 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 в натурных стрельбах факт привел к выводу: 25 – 30 процентов объема полости корпуса на входе в нее пороховых газов выстрела могут быть свободными от любых конструктивных элементов, что практически не влияет на характеристики глушителя. В связи с этим авторы приняли решение в разрабатываемой конструкции на входе в глушитель образовать расширительную камеру, которая имеет объем, равный 25 – 30 процентам от общего объема полости корпуса.

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

При выборе формы и конструктивных признаков этого элемента авторы руководствовались соображениями, которые следуют, например, из [10].

Осевая сила при обтекании тела вращения равна

$$X_p = C_x(q_\infty S_{md}),$$

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

Как видно из рис. 2.3.3. и 2.3.5 этого источника информации, при трансзвуковых скоростях ($M \leq 1$) коэффициенты осевой силы для конуса и сферы почти равны, но при переходе к сверхзвуковым скоростям коэффициент сопротивления сферы увеличивается в два раза, а конуса – в 7 – 8 раз.

Таким образом, для эффективного торможения сверхзвукового потока необходимо использовать конический перегородочный элемент, причем оптимальный угол при его вершине, обращенный против направления стрельбы, должен составлять 60 – 90°, а для обеспечения перетекания газов с дросселированием через боковую поверхность конуса в ней необходимо выполнить отверстия, продольные оси которых перпендикулярны боковой поверхности конуса [11].

Далее по направлению стрельбы за коническим перегородочным элементом авторы предложили с интервалом 0,4 – 0,5 величины калибра оружия, с которым используется глушитель, установить три тонкостенных перегородочных элемента, выполненные из секторов сферических оболочек, каждый из которых переходит в цилиндрическую оболочку с внешним диаметром, равным внутреннему диаметру полости корпуса, причем оптимальные радиусы сферических оболочек составляют 1,2 радиуса внутренней полости корпуса, а длину цилиндрической части тонкостенной оболочки выполнить равной 0,1 радиуса.

Для эффективного использования сферичности перегородочных элементов в каждом из них выполняется не менее 12 радиальных отверстий, равномерно расположенных на сферической поверхности. Такой выбор основных конструктивных размеров тонкостенных оболочек и их размещение дает возможность уравнивать внутренние объемы тонкостенных оболочек и объемы расширительных камер, образованных внутренней поверхностью полости

корпуса и внешними поверхностями оболочек. Как показал натурный эксперимент, это наиболее эффективное соотношение этих объемов с целью получения оптимальных характеристик глушителя.

Авторы предложили также увеличить эффективность использования потока пороховых газов, движущихся вдоль внутренней цилиндрической поверхности полости его корпуса, выполнением в конструктивных элементах конической и сферических перегородок, касающихся внутренней поверхности корпуса, по шесть пазов, равномерно размещенных по внешним окружностям поперечных сечений конструктивных элементов перегородок, причем в направлении полета пули каждая группа пазов смещена относительно предыдущей на 30° .

Такие конструктивные признаки глушителя со сферическими перегородочными элементами реализованы в результате анализа опубликованных теоретических и экспериментальных работ, в том числе ранее выполненных авторами [12 – 23].

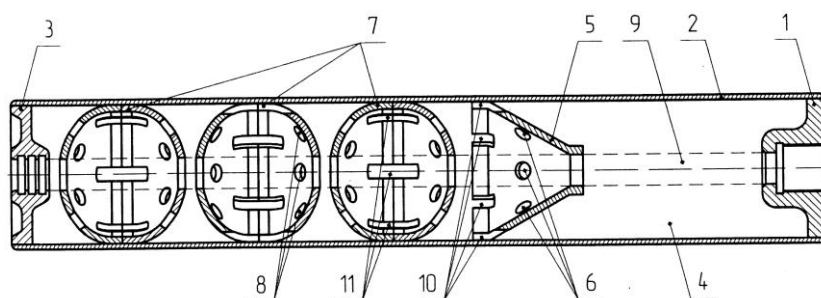


Рис. 13

На рис. 13 приведен продольный разрез предложенного авторами с учетом

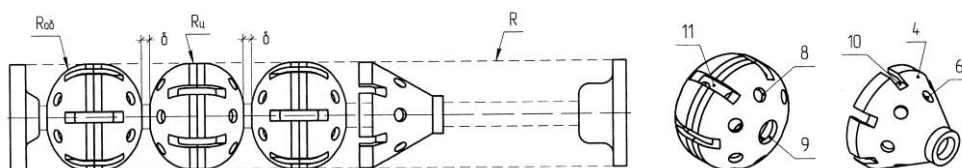


Рис. 14

изложенных соотношений глушителя с первым коническим и тремя последовательно установленными сферическими перегородочными элементами.

На рис. 14 приведен чертеж этого глушителя без корпуса и аксонометрические проекции рассекателей – перегородочных элементов, конического и сферического.

Глушитель состоит из узла крепления к стволу оружия с входным фланцем 1, цилиндрического пустотелого корпуса 2 радиусом R , выходного фланца 3, расширительной камеры 4 и осесимметричного перегородочного элемента в виде усеченного корпуса 5, перфорированного отверстиями 6, продольные оси которых перпендикулярны боковой поверхности конуса, за ним с интервалом $\delta = 0,4 - 0,5$ величины калибра оружия, с которым используется глушитель, установлены три тонкостенных сферически-цилиндрических элемента одинаковой конструкции 7, причем внешние радиусы оболочек $R_{об} = 1,2R$, внешний радиус цилиндрических частей оболочек $R_ц$ равен R , каждая оболочка перфорирована равномерно размещенными по ее поверх-

ности двенадцатью радиальными отверстиями 8, по их оси, совпадающей с продольной осью глушителя, выполнены отверстия для пролета пули 9.

В конструктивных элементах конического и сферических перегородочных элементов, касающихся внутренней поверхности корпуса глушителя, равномерно по внешним окружностям их поперечных сечений выполнено по шесть пазов 10 и 11, причем каждая группа пазов повернута относительно предыдущей на 30° .

Глушитель работает следующим образом. При прохождении пули по стволу оружия со сверхзвуковой скоростью впереди нее образуется отошедшая ударная волна, которая через узел крепления глушителя к стволу оружия 1 достигает первой расширительной камеры 4 глушителя. За пулей со сверхзвуковой скоростью двигаются пороховые газы, имеющие высокую температуру и давление. Часть газов прорывается между пулей и стенкой ствола и обгоняет ее.

Когда пуля входит в глушитель (рис. 15), газы заполняют первую расширительную камеру 4 (рис. 13). Основные характеристики течения пороховых

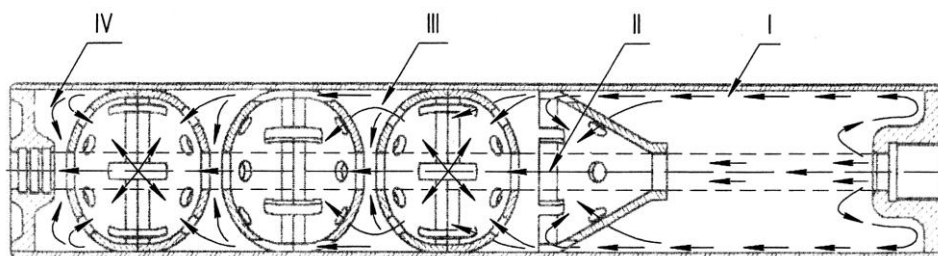


Рис. 15

газов в камере обусловлены образованием ударных волн при выходе сверхзвукового высокотемпературного потока газов выстрела при внезапном расширении канала (канал ствола – полость корпуса глушителя). После выхода из ствола фронт изначально плоской ударной волны искривляется в результате взаимодействия с веером волн разрежения.

После достижения фронтом ударной волны внутренней поверхности корпуса глушителя, он отражается и формируется сильная поперечная ударная волна. Процесс установления течения в полости корпуса глушителя приводит к возникновению нестационарных ударных волн, давление на фронте которых выше давления в потоке, а также зон разрежения, давление в которых ниже атмосферного.

Эти ударные волны обуславливают пульсирующий характер изменения давления в корпусе глушителя.

Как видно из рис. 15, образуются условно четыре газовых потока: I – поток вдоль внутренней поверхности корпуса глушителя; центральный поток II через отверстия для пролета пули вслед за пулей, область турбулизации потока в сферических перегородочных элементах III и встречный поток IV перед входом газа в выходной фланец.

Поток I движется через пазы 10 и 11 (рис. 13) к заднему фланцу и после прохождения каждой группы пазов наталкивается на сферическую поверхность, что обеспечивает уменьшение его энергии, а перед выходным фланцем он движется к оси глушителя по встречной для потока II траектории, что обеспечивает их столкновение, турбулизацию и гашение энергии.

Основная масса газа протекает через конический перегородочный элемент, и после этого его скорость становится дозвуковой (трансзвуковой).

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.

Таким образом, авторы в настоящей статье приводят информацию о начальном этапе разработки глушителей звука выстрела стрелкового оружия, в конструкции которых используются сферические перегородочные элементы. Показано, как полной мерой использовать преимущества перегородочных элементов конической и сферической формы. Авторы обеспечили изготовление (рис. 16) и натурные испытания указанных глушителей для различных образцов ручного огнестрельного оружия калибра 5,45; 5,56 и 7,62 мм. Эти глушители показали эффективность около 36 дБ при конкурентных габаритно-массовых характеристиках. Кроме того, они обеспечивают полное гашение пламени выстрела, в ночных условиях имеют меньшую тепловую замет-



Рис. 16

ность из-за более низкой температуры корпуса, ствола оружия и выходящих из глушителя газов.

Однако, для определения характеристик оружия и выстрела, при которых предпочтительно использование глушителей со сферическими перегородочными элементами, требуются дальнейшие теоретические и экспериментальные работы и совершенствование конструкции таких глушителей.

На разработанную конструкцию авторы подали заявку на изобретение [24].

1. Patent 959400 USA, Int. Cl. F41A21/30. Gun Muffler / *Janus Henry Stinsan*. – 503830 ; Filed : 23.06.1909 ; Pub. Date : 24.05.1910. – 3 p.
2. Patent 1854974 USA, Int. Cl. F41A21/30, F41A21/00. Silence / *Samuel Bernat*. – 505382 ; Filed : 29.12.1930 ; Pub. Date : 19.04.1932. – 3 p.
3. Patent 2013/160330 A1 World Patent, Int. Cl. F41A21/30. Attenuateurs de bruit pur mortier / *Destuz Anne, Hubert Vincent, Salignon Denis*. – PCT/EP 201305845 ; Filed : 24.04.2013 ; Pub. Date : 31.10.2013.
4. Patent 864735 France, Int. Cl. F41A21/30. Dispositif silencieux et anti-flammes posis armes a feu / *M. Edouard Pister*. – Filed : 10.04.1940 ; Pub. Date : 03.05.1941. – 6 p.

5. Patent 4907488 USA, Int. Cl. F41F17/12. Device for Silencing Firearms and Cannon / *Oswald F. Seberger*. – 175039 ; Filed : 29.03.1988 ; Pub. Date : 13.03.1990. – 7 p.
6. Patent 2615403 A2 European, Int. Cl. F41A21/30, F41A21/32, F41A21/34. Mounting Apparatus for Firearm Sound Suppressor / *Dueck Barry W.* – 13150424 ; Filed : 07.01.2013 ; Pub. Date : 17.07.2013, Bulletin 2013/29. – 30 p.
7. Patent 2007/0266844 A1 USA, Int. Cl. F41A21/30. Sound Suppressors for Firearms / *Barry W. Dueck*. – US 11/711430 ; Filed : 26.02.2007 ; Pub. Date : 22.11.2007. – 7 p.
8. Patent 2014/120401A2 World Patent, МПК F41A21/30. Suppressors Assembly for a Firearm / *Daniel, Marvin C., Thompson, Dewayne Lee*. – PCT/US 2014/010668 ; Filed : 08.01.2014 ; Pub. Date : 07.08.2014.
9. Замкнутые (полные) сферические перегородочные элементы (10.06.2009) [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу : <http://www.silencertalk.com/forum/viewtopic.php?1=40014>.
10. *Краснов Н. Ф.* Основы аэродинамического расчета. Аэродинамика летательных аппаратов: учебное пособие для студентов вузов / *Н. Ф. Краснов*. – М : Высшая школа, 1981. – 496 с.
11. Глушитель звука выстрела стрелкового оружия с коническими перегородочными элементами / *Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, Г. А. Стрельников, А. Д. Скорик, А. Н. Авдеев* // *Техническая механика*. – 2011. – №1. – С. 86 – 98.
12. Математическое моделирование газодинамического процесса работы прибора снижения уровня звука выстрела / *Н. А. Коновалов, Ю. А. Кваша, А. Д. Кулик, В. И. Коваленко, Н. И. Лахно, А. Д. Скорик* // *Техническая механика*. – 1999. – № 1. – С. 13 – 17.
13. Математическая модель быстропротекающих процессов в приборах снижения уровня звука выстрела с учетом двумерности течения в канале прибора / *Н. А. Коновалов, В. И. Коваленко, Н. И. Лахно, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик* // *Техническая механика*. – 2005. – № 1. – С. 77 – 88.
14. Экспериментальное исследование течения газа в плоской модели глушителя звука выстрела стрелкового оружия с применением методов визуализации / *Н. А. Коновалов, А. И. Астапов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, С. В. Тынына, А. Д. Скорик, А. Д. Чаплиц* // *Техническая механика*. – 2007. – №2. – С. 142 – 150.
15. Разработка средств и методов визуализации течения газа в приборах снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия / *Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Стрельников, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, А. Д. Чаплиц, А. И. Астапов* // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – №2 (59). – С. 53 – 61.
16. Исследование течения газа в приборах снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия методом визуализации / *Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, Г. А. Стрельников, А. Д. Чаплиц, А. И. Астапов* // *Оптические методы исследования потоков : X Юбилейная Международная научно-техническая конференция : сб. трудов*. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – С. 474 – 477.
17. Визуализация картины течения газа в полости прибора снижения уровня звука выстрела [Электронный ресурс] / *Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик, Г. А. Стрельников, С. П. Михайлов, В. И. Коваленко, А. Д. Чаплиц, А. И. Астапов* // *Оптические методы исследования потоков : XI Межд. науч.-технич. конференция : труды конференции*. – Электрон. дан. – М. : МЭИ (ТУ), 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Доклад №66, 10 с. – ISBN 978-5-9902974-1-8 – № гос. регистрации 0321101669.
18. Пат. на винахід № 98164 Україна, МПК G01M 9/00, F41A 21/30. Спосіб візуалізації газових потоків при моделюванні процесів в приладах зниження рівня звуку пострілу / *Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Стрельников Г. О., Чаплиц О. Д., Семенчук Д. В., Астапов А. І.* ; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. – а 2010 04890 ; заявл. 23.04.2010 ; опубл. 25.04.2012, Бюл.№ 8. – 6 с.
19. Термогазодинамические процессы в приборах снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия / *Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, А. Д. Чаплиц* // *Техническая механика*. – 2012. – № 4. – С. 13 – 26.
20. *Хлебников В. С.* Об аэродинамическом сопротивлении пары тел при и сверхзвуковом обтекании / *В. С. Хлебников* // *Известия АН СССР. Механика жидкости и газа*. – 1990. – №3. – С. 152.
21. *Хлебников В. С.* Картина сверхзвукового обтекания пары тел и перестройка течения между ними / *В. С. Хлебников* // *Известия РАН. Механика жидкости и газа*. – 1994. – №1. – С. 158 – 165.
22. *Плюгин Н. И.* Исследование трехмерного течения при сверхзвуковом обтекании двух тел / *Н. И. Плюгин, В. С. Хлебников* // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2001. – Т. 42, №4. – С. 52 – 61.
23. *Хлебников В. С.* Осесимметричное сверхзвуковое обтекание тела с протоком, расположенного в следе / *В. С. Хлебников* // *Труды ЦАГИ*. – 1987. – Вып. 2370. – С. 13 – 20.
24. Заявка а 201410885 Україна, МПК F41 21/30. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї зі сферичними перегородковими елементами / *Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Коваленко В. І., Піхотенко С. В., Яковлев О. А.* ; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДАКУ. – заявл. 06.10.2014.

Институт технической механики
 Национальной академии наук Украины и
 Государственного космического агентства Украины,
 Днепрпетровск

Получено 18.11.14,
 в окончательном варианте 15.01.15