

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ  
ЗВУКА ВЫСТРЕЛА ДЛЯ ЛЕГКОГО СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ***Институт технической механики**Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,  
ул. Лейко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: office.itm@nas.gov.ua*

Стаття містить інформацію про результати науково-дослідної роботи по конструюванню і відправцюванню приладів зниження рівня звуку пострілу (ПЗРЗП) в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України протягом 2013 – 2018 рр. В результаті роботи створені ПЗРЗП високої ефективності за рахунок нових конструктивних рішень і застосування сучасних технологій їх виготовлення. Дослідження теоретичного характеру дозволили уточнити фізичну модель, газодинамічну картину надзвукових потоків газів в порожнинах і на зрізі ПЗРЗП. Уніфіковано найбільш ефективні з розроблених конструкцій для легкої стрілецької зброї (ЛСЗ), які об'єднані за призначенням, калібром і типом вживаного боєприпасу, а саме для зброї калібрів 5,45 мм, 5,56 мм, 7,62 мм і 9,0 мм. Відпрацьована технологія виготовлення ПЗРЗП з нержавіючої сталі, титанових і алюмінієвих сплавів, що дозволило створити прилади, які не поступаються за технічними характеристиками кращим зарубіжним зразкам.

Обґрунтовано вибір форми і розташування перегородкових елементів, що утворюють розширювальні камери і визначають протікання термогазодинамічних процесів усередині глушника.

Розроблено ефективні ПЗРЗП зі сферичними перегородчастими елементами для ЛСЗ калібрів 5,45 мм – 9,0 мм. Найбільш перспективними конструкціями цього типу визнано глушники з:

- периферійним лабіринтово-вихровим контуром відведення газів;

- додатковою розширювальною камерою, що охоплює зовнішню частину стовбура, і газодинамічно пов'язаною з традиційним надульним глушником, виступаючим за зріз ствола.

Також створено і відпрацьовано ПЗРЗП з пружними конструктивними елементами, що деформуються, виконаними по традиційній схемі – плоскі рухомі перегородки, що підпружинені витими циліндровими пружинами стиснення.

Статья содержит информацию о результатах научно-исследовательской работы по конструированию и отработке приборов снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ) в Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины в течение 2013 – 2018 гг. В результате работы созданы ПСУЗВ высокой эффективности за счет новых конструктивных решений и применения современных технологий их изготовления. Исследования теоретического характера позволили уточнить физическую модель, газодинамическую картину сверхзвуковых потоков газов в полостях и на срезе ПСУЗВ. Унифицированы наиболее эффективные из разработанных конструкций для легкого стрелкового оружия (ЛСО), объединенных по назначению, калибру и типу применяемого боеприпаса, а именно для оружия калибров 5,45 мм, 5,56 мм, 7,62 мм и 9,0 мм. Отработана технология изготовления ПСУЗВ из нержавеющей стали, титановых и алюминиевых сплавов, позволившая создать приборы, не уступающие по техническим характеристикам лучшим зарубежным образцам.

Обоснован выбор формы и расположение перегородочных элементов, которые образуют расширительные камеры и определяют протекание термогазодинамических процессов внутри глушителя.

Разработаны эффективные ПСУЗВ со сферическими перегородочными элементами для ЛСО калибров 5,45 мм – 9,0 мм. Наиболее перспективными конструкциями этого типа являются глушители с:

- периферийным лабиринтно-вихревым контуром отвода газов;

- дополнительной расширительной камерой, охватывающей наружную часть ствола, и газодинамически связанной с традиционным надульным глушителем, выступающим за срез ствола.

Также созданы и отработаны ПСУЗВ с упругими деформируемыми конструктивными элементами, выполненными по традиционной схеме – плоские подвижные перегородки, подпружиненные витыми цилиндрическими пружинами сжатия.

This paper presents the results of the research into the design and development of firearm silencers conducted at the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine in 2013 – 2018. As a result, high-efficiency silencers were developed and made owing to new design solutions and modern production technologies. Theoretical studies made it possible to refine a physical model and the gas-dynamic pattern of supersonic gas flows in the silencer chambers and at the silencer exit. Among the designs developed for small arms and classified by purpose, caliber, and cartridge type, namely, for 5.45 mm, 5.56 mm, 7.62 mm, and 9.0 mm arms, the most efficient ones were unified. A technology was developed for the production of silencers made of stainless steel and titanium and aluminum allows, which made possible silencers competitive in performance characteristics with their best foreign counterparts.

The shape and location of baffles that form expansion chambers and govern the thermogasdynamic processes inside the silencer were chosen, and their choice was substantiated.

© О. В. Пилипенко, Н. А. Коновалов, В. И. Коваленко, Д. В. Семенчук, 2018

Техн. механіка. – 2018. – № 3.

Efficient silencers with spherical baffles were developed for 5.45 mm – 9.0 mm small arms. The most promising silencers of this type are those with:

- peripheral labyrinth vortex gas withdrawal circuit;
- additional expansion chamber that embraces the outside part of the barrel and is connected gas-dynamically to a traditional muzzle silencer, which extends beyond the muzzle end.

Silencers with deformable elastic structural components made by the traditional scheme – movable flat baffles loaded by coil compression springs – were developed and tried out too.

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

В Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и ГКАУ) с 1995 года проводятся работы по созданию приборов снижения уровня звука выстрела – глушителей для легкого стрелкового оружия (ЛСО) калибра 5,45 – 9,0 мм.

Разработано программно-методическое обеспечение для расчета конструктивных схем приборов, которые обеспечивают наибольшую эффективность снижения уровня звука выстрела.

Приборы снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ) предназначены для устранения травматизма органов слуха стрелка, уменьшения звуковой заметности, подавления вспышки выстрела, уменьшения отдачи, повышения точности и кучности при стрельбе в условиях выполнения боевых операций, а также учебных и тренировочных стрельб, уменьшения загрязненности окружающей среды.

В результате разработки конструкций ПСУЗВ и проведения исследований опубликовано 12 статей в научно-технических журналах [1 – 12], работа представлена докладом на международной научно-технической конференции [13]. Конструкции ПСУЗВ защищены 4 патентами Украины [14 – 17].

В течение 2013 – 2018 гг. в ИТМ НАНУ и ГКАУ был выполнен комплекс работ по созданию конструкций и исследованию характеристик ПСУЗВ.

Руководителями работ были: академик НАН Украины Пилипенко В. В., член-корреспондент НАН Украины Пилипенко О. В. и ведущий научный сотрудник к. т. н. Коновалов Н. А.

В процессе выполнения работ уточнены физические модели, газодинамическая картина сверхзвуковых потоков газов в полостях и на срезе ПСУЗВ и на этой основе – программы и методики определения их характеристик.

Разработанная вычислительная модель, используемая при расчете нестационарного течения пороховых газов в камерах ПСУЗВ, базируется на системе дифференциальных уравнений газовой динамики для невязкого сжимаемого газа с переменной удельной теплоемкостью.

Проведено сравнение результатов математического моделирования с натурным экспериментом. Сравнение результатов показало удовлетворительное их согласование.

Выполненные по различным методикам расчетные исследования течения пороховых газов в полости ПСУЗВ и результаты испытаний позволили выявить ряд закономерностей, присущих многократному расширению потока пороховых газов в камерах.

Отмечено, что:

– процесс установления течения во внутреннем объеме ПСУЗВ приводит к возникновению нестационарных ударных волн, давление на фронте которых соизмеримо с давлением в потоке, а также зон разрежения, давление в

которых ниже атмосферного; эти ударные волны обуславливают пульсирующий характер изменения давления в камерах, причем наиболее существенные пульсации возникают в первой камере, где интенсивность потока максимальна;

- режим установления течения приводит к возникновению знакопеременного тянущего усилия, действующего со стороны ПСУЗВ на оружие в процессе движения пули в камерах, что влияет на динамику движения оружия и точность стрельбы;

- наибольшая эффективность снижения уровня звука выстрела достигается, как правило, при количестве перегородок в полости ПСУЗВ не превышающем пяти.

Предложена модифицированная методика, позволяющая на этапе разработки определить предполагаемую эффективность снижения уровня звука выстрела глушителем с рассекателями оружейных газов сложной формы в широком диапазоне изменения конструктивных параметров глушителей с различной конфигурацией для различных типов оружия.

При проектировании и отработке приборов снижения уровня звука выстрела необходимо иметь информацию о термогазодинамических процессах в его внутренних каналах с учетом приведенных особенностей.

Создание универсальных методов и алгоритмов расчета параметров струйных течений при определении характеристик ПСУЗВ, основанных на численном решении полной системы уравнений Навье–Стокса, не всегда целесообразно. Это связано не столько с проблемами численного решения самих уравнений, сколько со многими неопределенностями в моделях турбулентности, кинетических параметрах горения, межфазном взаимодействии в многофазных течениях в ПСУЗВ и др. Поэтому, при определении характеристик ПСУЗВ целесообразна разработка упрощенных математических моделей и алгоритмов расчетов, максимально учитывающих особенности рассматриваемых течений.

В течение 2013 – 2018 гг. разработан ряд конструкций глушителей звука выстрела стрелкового оружия с учетом особенностей его типов, калибров и энергетики используемых боеприпасов (для снайперского оружия, автоматов, единых пулеметов, оружия подразделений специального назначения).

При разработке и изготовлении ПСУЗВ новых конструкций одновременно отрабатывалась технология их изготовления с учетом используемого материала – алюминиевых сплавов, нержавеющей стали или титана и его сплавов.

В последние несколько лет ведущие фирмы по разработке и изготовлению глушителей звука выстрела переходят на конструкции из титановых сплавов. Имеют в своем активе такие глушители ведущие фирмы Advanced Armament Corporation, AWC System Technology, GEMTECH, Sure Fire и другие.

Исходя из технологичности, удельной прочности и коррозионной стойкости, а также доступности необходимой номенклатуры полуфабрикатов и заготовок, с учетом применяемости титановых сплавов определенных марок в конструкциях зарубежных глушителей (Grade 5, Grade 9 по классификации США), для использования в конструкции глушителей были выбраны титановые сплавы марок BT1-0; BT5; BT5-1; BT6.

Созданы более двухсот конструкций ПСУЗВ для различных видов ручного огнестрельного оружия, определены базовые конструкции, прошедшие экспериментальную отработку и натурные испытания.

**Разработка и натурные испытания унифицированных приборов снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия.** Унифицированы разработанные конструкции ПСУЗВ для групп оружия калибров 5,45 мм; 5,56 мм, 7,62 мм и 9,0 мм. Ключевым параметром оценки конструкции считается эффективность снижения уровня звука выстрела. Для определения оптимальных конструктивных решений исследовано влияние следующих факторов: конфигурации составных элементов, расположенных в полости корпуса глушителя, их взаимного расположения и размеров, количества, объема и формы расширительных камер и т. п.

Предпочтение получили цельносварные образцы из титановых сплавов с коническими и сферическими перегородочными элементами, особенности конструкции и технологии изготовления которых изложены в [4].

Проанализировано использование ранее разработанных ПСУЗВ (рис. 1) в составе оружия:

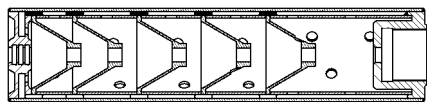
- калибра 7,62 мм – автомат Калашникова АКМ, автомат Калашникова со-той серии, карабины Blaser, Browning Bar, SAKO, Manlicher, Вулкан-С и др.;
- калибра 5,45 мм, 5,56 мм – автоматы Калашникова АК-74М, АКСУ-74, винтовка М-16, карабины Blaser, М4А1, SAKO, Вулкан ТК и др.

Испытания позволили выбрать две модели, служащие базой унификации:

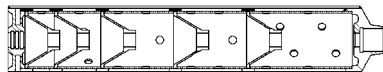
- для оружия калибра 5,45 мм – ПСУЗВ-11Т.12-5,45;
- для оружия калибра 7,62 мм – ПСУЗВ-19ТБ.12-7,62.

Целесообразность выбора моделей и их эффективность снижения уровня звука выстрела подтвердили сравнительные испытания с финским глушителем ASE Utra SL7-7,62, зарекомендовавшим себя высокой эффективностью среди зарубежных аналогов (табл. 1).

ПСУЗВ-11Т.12-5,45



ПСУЗВ-19ТБ.12-7,62



ASE Utra SL7-7,62



Рис. 1 – Конструктивные схемы ПСУЗВ с коническими и тороидальными перегородками

Проведенные испытания показали, что предложенные конструкции глушителей не только не уступают, а по некоторым параметрам существенно превосходят характеристики указанного зарубежного аналога. Кроме того, у глушителя ASE Utra SL7-7,62 было отмечено наличие, особенно на первых выстрелах, факела пламени длиной до 1 м от его среза. Его масса превыша-

ет на 15 % массу ПСУЗВ, изготовленных из нержавеющей стали, и почти в два раза – ПСУЗВ из сплавов титана разработки авторов.

Таблица 1 – Основные характеристики унифицированных ПСУЗВ и финского глушителя

Наименование параметра	Наименование глушителя		
	ПСУЗВ-19ТБ.12-7,62	ПСУЗВ-11Т.12-5,45	ASE Ultra SL7-7,62
Калибр	7,62 мм	5,45 мм, 5,56 мм	от .308 Win до .338 Lapua Mag
Диаметр, мм	44	44	45
Длина, мм	238	195	166
Присоединительная резьба	M14×1; M15×1; M16×1; M18×1; 9/16"-24; M14×1 (левая) и др.	M24×1,5; M18×1; 1/2"-284; 1/2'-20 M14×1 (левая) и др.	M24×1,5; M18×1; 1/2"-284; 1/2'-20 M14×1 (левая) и др.
Материал	титановый сплав (нержавеющая сталь)	титановый сплав (нержавеющая сталь)	нержавеющая сталь
Масса, г	435 (750)	400 (690)	до 800
Эффективность снижения уровня звука, дБ	от 32 до 36	от 28 до 32	от 32 до 35

При испытаниях отмечались преимущества разработанных ПСУЗВ: хорошая кучность и точность стрельбы, малая отдача, легкость в обращении с оружием во время стрельбы.

Испытания глушителей проводились на полигоне СБУ и на полигоне отряда специального назначения по борьбе с терроризмом – «Омега».

Таким образом приняты унифицированные образцы ПСУЗВ и отработана технология их изготовления из титановых сплавов для стрелкового оружия различного назначения и разных калибров, которые не уступают по эффективности, живучести, точности, кучности стрельбы и массогабаритным характеристикам лучшим зарубежным образцам глушителей звука выстрела.

**Разработка глушителей звука выстрела стрелкового оружия со сферическими перегородочными элементами.** 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 [1 – 13].

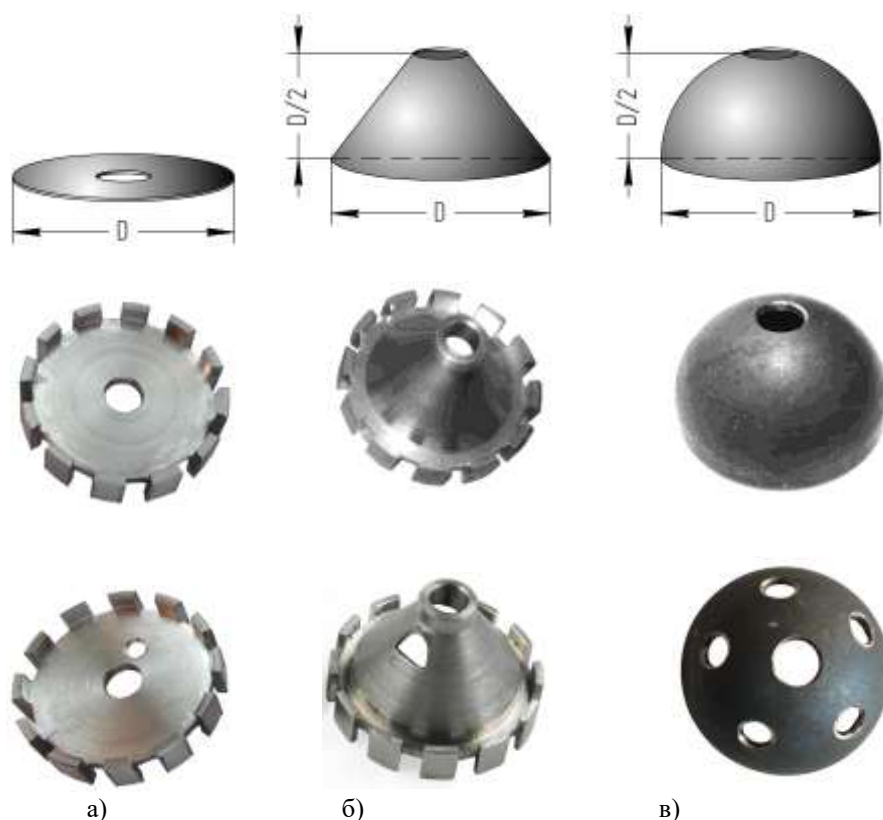
Можно выделить три основные формы перегородочных элементов ПСУЗВ: сферические, конические и плоские. Если эти элементы имеют одинаковую площадь основания, образуемую внутренним диаметром корпуса глушителя (рис. 2), соотношение площадей боковых поверхностей перегородок 1:1,41:2,0, т. е. площадь поверхности полусферической перегородки в

2 раза больше, чем площадь плоской перегородки, и в 1,41 раза больше, чем площадь боковой поверхности конической перегородки.

Полусферы обеспечивают наиболее эффективное использование объемов расширительных камер ПСУЗВ, обеспечивают турбулизацию потока, формирование и столкновение струй пороховых газов.

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).



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

Рис. 2 – Основные формы перегородочных элементов ПСУЗВ

Оценка эффективности разработанных приборов 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 [2, 3, 7, 8, 11, 12]. 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.

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 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 дБ 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.

Испытания проводились штатными боеприпасами с использованием автоматов Калашникова: АК-74М и АКСУ-74 калибра 5,45 мм для пяти видов ПСУЗВ с разной формой перегородочных элементов (таблица 2) и трех видов ПСУЗВ с автоматом Калашникова АКМ калибра 7,62 мм (таблица 3).

Таблица 2 – Конструктивные схемы ПСУЗВ для огнестрельного оружия калибра 5,45 мм с рассекателями, имеющими разную форму перегородочных элементов

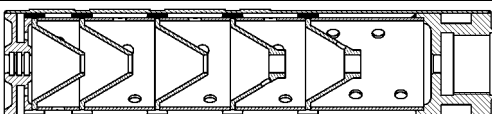
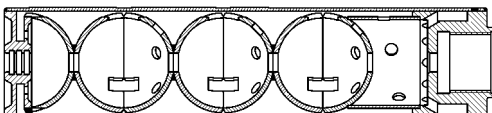
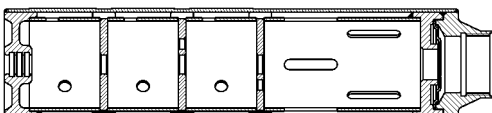
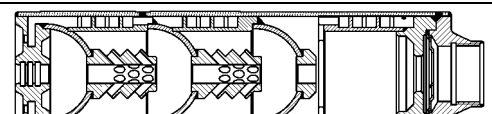
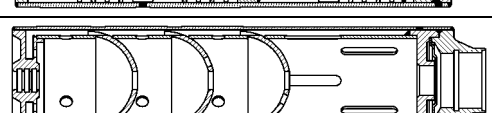
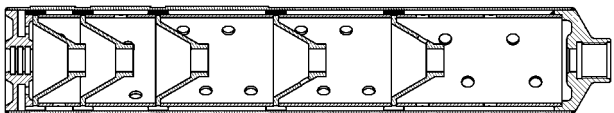
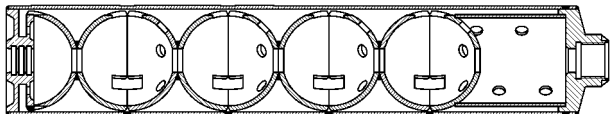
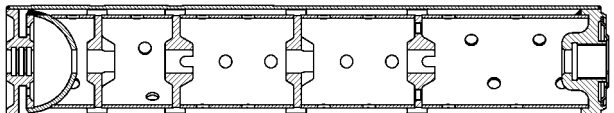
Наименование прибора, форма перегородочных элементов	Конструктивная схема	Габаритные размеры, мм; масса, г
ПСУЗВ-11ТМ.12-5,45 конусная		Ø44,0×195, 420
ПСУЗВ-01Т.15(2)-5,45 сферическая		Ø44,0×195, 420
ПСУЗВ-154А(Т.17)-5,45 плоская		Ø44,0×195, 470
ПСУЗВ-11Т.16-5,45 сферическая		Ø50,0×186, 550
ПСУЗВ-14Т.16-5,45 сферическая		Ø44,0×188, 425

Таблица 3 – 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

**ПСУЗВ для пистолетов-пулеметов.** Пистолеты-пулеметы – это оружие стало промежуточным видом между пистолетами и винтовками. Они обеспечивают высокую плотность огня на близких расстояниях. Пистолеты-пулеметы являются автоматическим оружием, в котором обычно используются пистолетные патроны и огонь ведется, как правило, очередями с боевой скорострельностью до 1000 выстрелов в минуту. Наиболее распространенным пистолетом-пулеметом является MP5, разработанный фирмой Heckler & Koch под патрон 9×19 мм.

Благодаря надежности и точности MP5 завоевал немалую популярность и официально принят на вооружение более чем в сорока странах мира. В Украине MP5 находится на вооружении силовых структур. Одна из модификаций пистолета-пулемёта MP5 – МКМ-091 – под патрон 9×21 мм выпускается в Украине, что обусловило необходимость разработки глушителя именно для пистолетов-пулеметов MP5.

Разработаны, созданы и успешно испытаны новые ПСУЗВ двух видов:

– ПСУЗВ-05АТ.18-9,0 с коротким стволом, предназначенный для использования в составе пистолета-пулемета модификации MP5 КА1/КА5 калибра 9,0 мм фирмы Heckler & Koch;

– ПСУЗВ-05АТ.18-9,0 и ПСУЗВ-04АТ.18-9,0 с наствольной расширительной камерой, предназначенные для использования в составе пистолета-пулемета MP5 А2/А4 калибра 9,0 мм фирмы Heckler & Koch.

Основной элемент профилирования – сферический газовый отражатель.

ПСУЗВ состоит из узла крепления к стволу оружия (короткий или наствольный) и задней профилированной крышки, сопряженной с полусферой, служащей дульным тормозом с выходным отверстием.

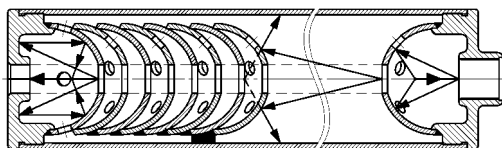


Рис. 3 – Конструктивная схема и распределение потока пороховых газов в ПСУЗВ-05АТ.18-9,0

Рассекатель без центральной трубки. Детали изготовлены из титана и алюминия. Конструктивная схема и распределение потока пороховых газов в ПСУЗВ-05АТ.18-9,0 показаны

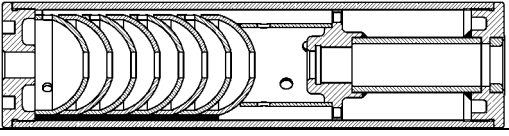
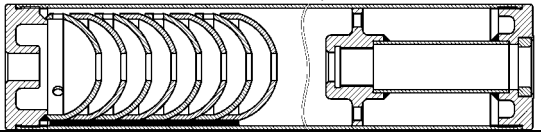
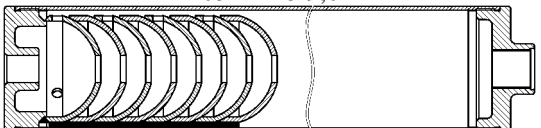


на рис. 3.

Приборы предназначены как для работы в режиме одиночных выстрелов, так и в автоматическом режиме огня.

В табл. 4 приведены конструктивные схемы и характеристики четырех созданных приборов. Из них три конструкции с коническими перегородочными элементами, о которых говорилось ранее в составе приборов для других видов оружия.

Таблица 4 – Конструктивные схемы и характеристики ПСУЗВ, созданных в ИТМ НАНУ и ГКАУ для пистолета-пулемета МР5

Наименование глушителя и его конструктивная схема	Габариты, масса, эффективность
ПСУЗВ-04АТ.18-9,0 мм СБ1 	Ø50×200 мм; 450 г; 28 дБ
ПСУЗВ-05АТ.18-9,0 мм СБ1 	Ø50×375 мм; 500 г; 34 дБ
ПСУЗВ-05АТ.18-9,0 мм СБ2 	Ø50×309 мм; 520 г; 30 дБ

\* Крепление – резьба М15×1 правая во всех глушителях.

Наибольшее внимание уделено новым приборам со сферическими перегородочными элементами, два из них созданы для пистолетов-пулемётов с коротким стволом и два с наствольной камерой – для пистолетов-пулемётов с длинным стволом. В табл. 5 представлены технические показатели разработанных ПСУЗВ и аналогичных приборов иностранного производства.

Таблица 5 – Сравнительная таблица технических показателей приборов, разработанных в ИТМ НАНУ и ГКАУ, с аналогичными глушителями иностранного производства

Параметр	Глушители иностранного производства	Глушители, созданные в ИТМ НАНУ и ГКАУ
Эффективность, дБ	от 17 до 33	от 28 до 34
Габариты, мм <sup>2</sup>	Ø35×226 Ø51×338	Ø50×200 Ø50×375

Как видно из сравнительной таблицы, разработанные приборы превосходят иностранные по эффективности, имеют меньшую массу. В новых приборах со сферическими перегородочными элементами полностью устраняется вспышка выстрела.

Таким образом, созданы эффективные и надежные приборы снижения уровня звука выстрела для пистолетов-пулемётов, которые по эффективности и надежности не уступают зарубежным образцам.

**Глушитель с периферийным лабиринтно-вихревым контуром отвода газов.** ПСУЗВ разработаны с учетом необходимости организации встречного потока пороховых газов перед их выходом из корпуса глушителя для получения ударных волн в газовом потоке путем столкновения встречного сверхзвукового газового потока с основным, который натекает на внутреннюю поверхность передней крышки.

Столкновение встречного и основного потоков приводит к повышению эффективности превращения энергии пороховых газов в тепловую и, таким образом, к повышению эффективности глушения.

Конструктивная схема выходной части глушителя и газодинамическая картина течения встречного и основного потоков представлены на рис. 4.

Предложенный периферийный лабиринтно-вихревой контур отвода газов обеспечивает уменьшение и изменение характера шума, а также изменение характера интенсивности демаскирующих факторов выстрела в видимой и инфракрасной областях.

Повышение эффективности снижения звука выстрела и снижения отрицательного воздействия на стрелка и механизмы оружия продуктов сгорания порохового заряда в глушителях с периферийным лабиринтно-вихревым контуром достигается за счет:

- увеличения объема истекающих в единицу времени из ствола газов и, как следствие, интенсивного снижения их давления и температуры;
- разделения потока газов на центральный и периферийный, что влечет за собой снижение их кинетической энергии;
- растягивания фазы выстрела, возникающего от задержки во времени между выходом в окружающую среду газов центрального и периферийного потоков;

– рассеивания звука, достигаемого за счет расположенных по периферии передней крышки газопроемных отверстий, сообщающихся с периферийным лабиринтно-вихревым контуром.

Большинство подобных приборов имеют дополнительный сброс газов из основного объема, помимо центрального, соосного каналу ствола. В данном ПСУЗВ периферийный поток изолирован от вторичной расширительной камеры и отсутствуют обтюрирующие элементы и термопоглователи.

Наличие в конструкции глушителя центральной перфорированной трубки значительно повышает эффективность преобразования энергии пороховых газов выстрела: на отверстиях образуются конические эллиптические струи, которые обеспечивают интенсивное перемешивание газа и преобразование его энергии. На этих отверстиях происходит также падение давления газов в результате протекания через отверстия в боковой поверхности центральной трубки.

В табл. 6 приведены технические характеристики разработанного прибора в сравнении с характеристиками прибора, выпущенного фирмой Serefire.

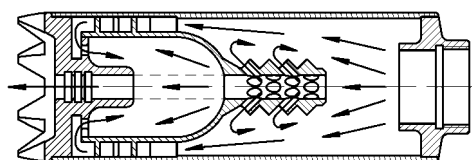


Рис. 4 – ПСУЗВ с периферийным лабиринтно-вихревым контуром отвода газов

Таблица 6 – Сравнительная таблица технических показателей приборов, разработанных в ИТМ НАНУ и ГКАУ, с глушителями фирмы Serefire

Наименование	Mini Monster	ПГ-01Т.14-5,45
Калибр, мм	5,56	5,45
Масса, г	400	299
Диаметр, мм	38	45
Длина глушителя, мм	133	130
Снижение уровня звука, дБ	до 134	до 132

Кроме того, предложена конструкция глушителя, внутренняя вставка которого вместо конического элемента имеет сферический элемент. Это сделано с целью повышения эффективности за счет увеличения площади внешней поверхности вставки.

Полусферическая поверхность вставки, в отличие от конусной, обеспечивает необходимую задержку во времени для изменения фазы давления в конструкции меньших размеров [12].

Таким образом, создан компактный и надежный глушитель звука выстрела с периферийным лабиринтно-вихревым контуром для автоматов, который по эффективности снижения уровня звука выстрела не уступает зарубежным образцам, обладает малыми габаритами и может использоваться с автоматами среднего калибра любого типа.

**ПСУЗВ с наствольной расширительной камерой.** Для получения приемлемых значений снижения уровня звука выстрела оружия с высокоэнергетичными боеприпасами необходимо увеличивать объем полости корпуса, что влечет увеличение габаритных размеров прибора. Это приводит к появлению проблем с удобством эксплуатации оружия с глушителем и обеспечением соосности ствола оружия и глушителя при одноточечном его креплении к срезу ствола.

Один из путей решения этой проблемы – глушитель с дополнительной расширительной камерой, охватывающей наружную часть ствола и газодинамически связанной с традиционным надульным глушителем, выступающим за срез ствола, через перфорированную перегородку.

Конструкции ПСУЗВ с наствольной расширительной камерой, которые в своем составе имеют рассекатели пороховых газов, построенные по традиционной схеме с коническим или сферическими перегородочными элементами (рис. 5). Прибор крепится на оружии в двух точках: резьбовым соединением штуцера 1 и охватывающей ствол капролоктановой втулкой 3. Наствольная камера 6 связана с основным объемом рассекателя через дренажные отверстия штуцера 4 и перегородки 5.

Изготовлены ПСУЗВ по предложенным конструктивным схемам и проведены их натурные испытания для карабинов MR223, ОП СВД, Blaser R93, Savage Arms Rem.233, Вулкан 7,62, Mauser 98, Heckler&Koch MR .338, CZ 525, снайперских винтовок С.Т.С.М.338 и С.Т.С.М.308 и др., всего более 50 приборов.

Эффективность снижения уровня звука выстрела созданными ПСУЗВ от 32 до 36 дБ.

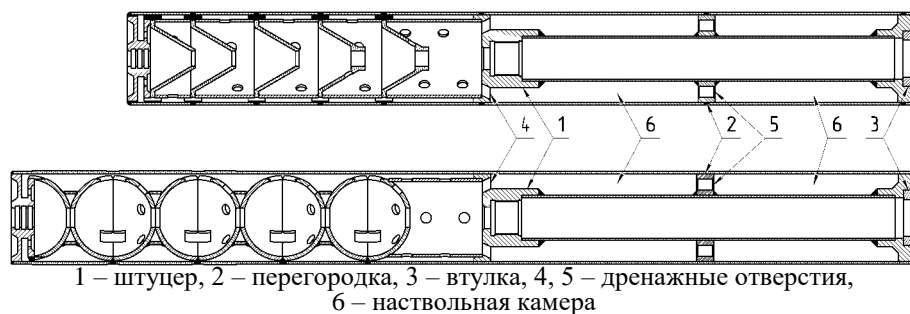


Рис. 5 – Конструктивные схемы наствольных ПСУЗВ с коническими и сферическими перегородочными элементами

Сравнительные натурные испытания разработанных ПСУЗВ с наиболее распространенными глушителями серии Reflex Suppressors (Финляндия) показали преимущества созданной конструкции по эффективности снижения уровня звука выстрела, надежности и ресурсу использования.

На основе предложенных конструктивных решений получен патент Украины на изобретение [16].

**Глушители звука выстрела стрелкового оружия с упругими деформируемыми конструктивными элементами.** Разработана конструкция и проведена отработка глушителей звука выстрела стрелкового оружия с упругими деформируемыми конструктивными элементами, выполненными по традиционной схеме – плоские подвижные перегородки, подпружиненные витыми цилиндрическими пружинами сжатия. Такая конструкция используется в серийных образцах лучших мировых аналогов.

Основным рабочим свойством пружин является способность существенно деформироваться под нагрузкой. После снятия нагрузки пружина восстанавливает свою форму и размеры [5]. Они работают при неограниченно кратном вибрационном воздействии, в условиях высокой температуры и давления.

При проектировании глушителей звука выстрела стрелкового оружия с упругими деформируемыми конструктивными элементами, построенными по традиционной конструктивной схеме, был решен ряд проблемных вопросов:

- установлены закономерности изменения в процессе выстрела взаимного расположения конструктивных элементов глушителя;
- установлена газодинамическая картина течения газов в полости корпуса глушителя, а также влияние расположения внутренних элементов на давление и температуру;
- оценены изменения (увеличение) эффективности снижения уровня звука выстрела за счет поглощения энергии пружинами.

В доступных источниках информации сведения по упомянутым проблемам применительно к рассматриваемым глушителям звука выстрела стрелкового оружия отсутствуют.

На рис. 6 приведено расположение внутренних конструктивных элементов ПСУЗВ, созданного авторами.

В таких глушителях имеют место ударные нагрузки и поглощение энергии многомассовым амортизатором.

В работе [5] решена задача определения оптимальных параметров многомассовых гасителей колебаний в замкнутом объеме при условии минимума

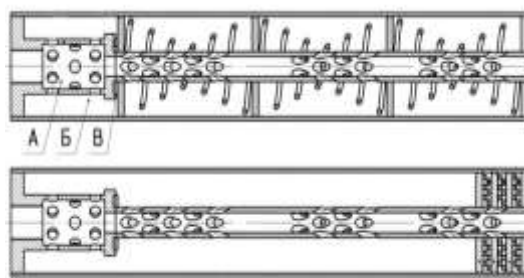


Рис. 6 – Конструктивные схемы ПСУЗВ с упругими элементами

перемещения главной массы. Полученные расчетные результаты используются при проектировании глушителей рассматриваемой конструкции и дают возможность принимать решение об оптимальном размещении пружин и их жесткости при подвижных перегородках, играющих также роль отдельных масс многомассового поглотителя энергии. На рис. 7, 8 показан внешний вид, конструктивная схема и составные элементы разработанных глушителей ПСУЗВ-22А.13-5,6 и ПСУЗВ-22А.13-9,0, а в табл. 7 приведены их технические характеристики.



Рис. 7 – ПСУЗВ-22А.13-5,6 с упругими деформируемыми элементами



Рис. 8 – ПСУЗВ-22А.13-9,0 с упругими деформируемыми элементами

Таблица 7 – Технические характеристики глушителей с упругими деформируемыми элементами

Параметр	ПСУЗВ-22А.13-5,6	ПСУЗВ-22А.13-9,0
Калибр, мм	5,6	9,0
Диаметр, мм	25	25
Длина, мм	200	200
Присоединительная резьба	M14×1 мм, 1/2-20"	M12×1 мм
Материал	алюминий, титан	алюминий, титан
Масса, г	140	140
Калибр патрона, мм	5,6	9,0
Предназначен для оружия	винтовки калибра 5,6 мм, Savage 64, Savage 93	пистолет ПМ

При оценке эффективности работы таких глушителей необходимо учитывать время цикла их работы. При автоматической стрельбе оно должно быть меньше или равно времени цикла автоматики оружия [10], чтобы к началу очередного выстрела глушитель полностью восстанавливал первоначальную внутреннюю конфигурацию.

Глушители для калибра 5,6 мм, созданные авторами, показали высокую надежность работы и эффективность снижения уровня звука выстрела, не уступающую глушителю MAE Kilwell Whisper .22LR.

При экспериментальной отработке глушителя для оружия калибра 9 мм была обнаружена недопустимая эрозия упругих деформируемых элементов, что привело к потере функциональных характеристик пружин.

С учетом результатов испытаний проведена доработка конструкции глушителя для оружия калибра 9,0 мм: заменен материал перегородок и увели-

чена жесткость пружины применением более прочной стали и её соответствующей термообработкой. Первоначально заложенные в конструкцию форма и размеры перегородок и пружин не изменились.

Авторы настоящей статьи разработали, испытали и запатентовали ряд конструкций глушителей с упругими деформируемыми элементами и подвижными перфорированными перегородками – для оружия калибра 5,6 мм (в двух модификациях) и оружия калибра 9,0 мм.

Таким образом в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований:

1. Создана модифицированная методика, позволяющая на этапе разработки определить предполагаемую эффективность снижения уровня звука выстрела глушителем с рассекателем оружейных газов сложной формы, например, сферической. Разработан также алгоритм, максимально учитывающий особенности рассматриваемых течений газов в полости глушителя.

2. Спроектированы новые высокоэффективные глушители звука выстрела стрелкового оружия с различными перегородочными элементами (плоскими, коническими и сферическими).

3. Приборы с перегородками в виде полусфер и сфер показали 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.

4. Проведена комплексная оценка характеристик глушителей с учетом боевых условий их применения.

5. Достигнуто:

- уменьшение стоимости глушителей за счет использования прогрессивных технологических процессов при изготовлении конструктивных элементов и глушителей в целом;
- устранение влияния ПСУЗВ на автоматику оружия, точность и кучность стрельбы.

6. Созданы и отработаны ПСУЗВ с упругими деформируемыми элементами, выполненными по традиционной схеме – плоские подвижные перегородки, подпружиненные витыми цилиндрическими пружинами сжатия. Достигнута высокая эффективность приборов этого класса на уровне лучших мировых аналогов.

1. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Загреба А. И., Пихотенко С. В., Яковлев А. А. Разработка конструкции и технологии изготовления глушителей из титановых сплавов для стрелкового оружия. *Техническая механика*. 2013. № 1. С. 78–95.
2. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И. Глушитель звука выстрела стрелкового оружия с использованием эффекта сверхзвуковой резонансной трубы. *Техническая механика*. 2013. № 2. С. 64–71.
3. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Стрельников Г. А., Кваша Ю. А., Коваленко В. И., Поляков Г. А., Чаплиц А. Д. Разработка приборов снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия и исследование их характеристик (2008 – 2013 гг.). *Техническая механика*. 2013. № 4. С. 16–31.
4. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Биленко А. И. Разработка и натурные испытания унифицированных приборов снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия. *Техническая механика*. 2014. № 1. С. 3–10.
5. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Глушители звука выстрела стрелкового оружия с упругими деформируемыми конструктивными элементами. *Техническая механика*. 2014. № 2. С. 3–11.

6. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Глушители звука выстрела стрелкового оружия с наствольной расширительной камерой. *Техническая механика*. 2014. № 3. С. 3–14.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Пилипенко О. В., Коновалов Н. А., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Отработка глушителей звука выстрела стрелкового оружия со сферическими перегородочными элементами. *Техническая механика*. 2017. № 3. С. 5–15.
12. Пилипенко О. В., Коновалов Н. А., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Глушители звука выстрела со сферическими перегородочными элементами для пистолетов-пулеметов. *Техническая механика*. 2018. № 2. С. 5–16.
13. Пилипенко О. В., Коновалов Н. А., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Семенчук Д. В. Перспективные конструкции глушителей звука выстрела стрелкового оружия. Перспективы развития вооружения и военной техники Сухопутных войск: Международная научно-техническая конференция: сб. тезисов докладов (14–15 мая 2015 года, г. Львов). Львов, 2015. С. 49–50.
14. 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. № а201310602; заявл. 02.09.13; опубл. 10.06.15, Бюл. № 11. 8 с.
15. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Коваленко В. И. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: пат. 110644 Україна, МПК F41A 21/30. № а201313818; заявл. 28.11.13; опубл. 25.01.16, Бюл. № 2. 7 с.
16. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Семенчук Д. В., Коваленко В. И. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї з наствольною розширювальною камерою: пат. 111772 Україна, МПК F41A 21/30. № а201409056; заявл. 11.08.14; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11. 9 с.
17. 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). № а201410885; заявл. 06.10.14; опубл. 10.08.15, Бюл. № 15. 8 с.

Получено 09.08.2018  
в окончательном варианте 01.10.2018