

КОМПАКТНІ ГЛУШНИКИ ДЛЯ ЛЕГКОЇ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

*Інститут технічної механіки Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Лопеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: office.itm@nas.gov.ua*

У статті представлено результати створення в Інституті технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) приладів зниження рівня звуку пострілу (ПЗРЗП), характерною особливістю конструкції яких є наявність центральної перфорованої трубки. Доцільність створення таких приладів підтверджена надійністю експлуатації та ефективністю зниження рівня звуку пострілу в реальних умовах їх використання в складі різних видів легкої стрілецької зброї.

Для конструювання сучасних приладів високої ефективності розроблено технічні вимоги до конструкції ПЗРЗП. В статті описано можливість використання центральної перфорованої трубки в якості основного елемента розсікача порохових газів. В якості додаткових елементів, що формують потік порохових газів всередині глушника, використовуються елементи різної форми або їх поєднання: конічні і сферичні осесиметричні перегородки, коаксіальні корпуси глушника; циліндричні, в тому числі і перфоровані, оболонки із забезпеченням перетікання порохових газів між розширювальними камерами уздовж внутрішньої осі центрального каналу; гелікоїдальні елементи; периферійні лабіринтно-вихрові контури. Один із шляхів підвищення ефективності глушника – створення додаткової розширювальної камери, яка охоплює зовнішню частину ствола і газодинамічно пов'язана з традиційним надульним глушником.

При виборі раціональної конструкції компактних ПЗРЗП уточнювалися кількість розширювальних камер, конструкція перетворювача енергії порохових газів, вид перегородок, наявність та величина перетікання газів між камерами вздовж внутрішньої поверхні корпусу глушника.

Оптимізація проводилася на підставі моделювання процесів всередині глушника по розробленій методиці розрахунку ефективності ПЗРЗП з центральною перфорованою трубкою і різними внутрішніми елементами. Приведено опис методики і результати розрахунку, які отримано завдяки використанню цієї методики.

Порівняльні випробування створених зразків ПЗРЗП з іноземними глушниками підтвердили високу ефективність конструкцій.

Таким чином, в ІТМ НАНУ і ДКАУ створено прилади зниження рівня звуку пострілу для легкої стрілецької зброї з центральною перфорованою трубкою, які не поступаються за своїми характеристиками кращим зарубіжним зразкам. Конструкції ряду зразків захищені патентами України.

Ключові слова: *прилад зниження рівня звуку пострілу, центральна трубка, розширювальні камери, методика розрахунку, ефективність зниження рівня звуку пострілу.*

This paper presents the results of the development of silencers, whose design feature is a central perforated tube, at the institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine (ITM of NASU and SSAU). The advisability of silencers of this type is confirmed by their operational reliability and shot sound suppression efficiency in their actual service as part of light small arms of different types.

To design high-efficiency advanced silencers, technical requirements for their design were developed. The paper describes the possibility of using a central perforated tube as the key component of a powder gas spreader. Differently shaped elements or a combination thereof are used as additional elements that form a powder gas flow inside a silencer: conical and spherical axisymmetric baffles coaxial with the silencer body, cylindrical shells (including perforated ones) that provide a powder gas flow between the expansion chambers along the internal axis of the central channel, helicoidal elements, and peripheral labyrinth-vortex contours. One way to increase silencer efficiency is an additional expansion chamber that embraces the external part of the barrel and is gas-dynamically connected to a traditional muzzle silencer.

In deciding on an advisable design for compact silencers, the following was redetermined: the number of expansion chambers, the powder gas energy converter design, the baffle type, the presence of a gas flow between the chambers along the inner surface of the silencer body, and, if so, the gas flow rate.

The silencer design was optimized based on simulating the silencer gas dynamics using the authors' efficiency calculation procedure for silencers with a central perforated tube and different internal components. The paper describes the procedure and presents the results calculated with its help.

Comparison tests of the silencers developed and foreign silencers confirmed a high efficiency of the former.

The silencers with a central perforated tube for light small arms developed at the ITM of NASU and SSAU compare well in performance with their best foreign counterparts. The designs of some of them are covered by Ukrainian patents.

Keywords: *silencer, central tube, expansion chamber, computational procedure, shot sound suppression efficiency.*

У цій статті викладено результати робіт, виконаних в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) по розробці і впровадженню в силових відомствах України перспективних високоефективних приладів зниження рівня звуку пострілу (ПЗРЗП) стрілецької зброї (глушників). Такий напрямок робіт в інституті з'явився в 1994 році.

Вирішальне значення для досягнення успіху в збройних конфліктах має застосування сучасної стрілецької зброї, оснащеної ефективними глушниками звуку пострілу, які зменшують звукову та оптичну помітність і ускладнюють визначення виду зброї, з якої зроблено постріл [1 – 8].

Необхідність і умови застосування глушників розглянуто в роботах [1, 2]. Відзначено, що використання ПЗРЗП маскує активні бойові дії. Також глушники корисно застосовувати в людних місцях для зменшення психологічного впливу на громадян.

Системно розглянуто ці питання в роботі [9].

Виконання завдань у складі підрозділу вимагає постійного зв'язку об'єктів взаємодії, зокрема за допомогою звукових сигналів, що приводить до необхідності постійної гостроти слуху.

При створенні нових конструкцій глушників звуку пострілу стрілецької зброї слід враховувати, що на озброєння сил спеціальних операцій і армійських підрозділів різних країн надійшли комплекси акустичного визначення координат пострілу і зброї, з якої він здійснений. Особливості пристрою і застосування цих систем, їх характеристики приведено, наприклад, в [10 – 14].

Поява акустичних систем визначення пострілу повинна активізувати роботи зі створення глушників звуку пострілу стрілецької зброї, використання яких в найбільшій мірі сприяло б зменшенню ефективності цих систем.

Розробці, характеристикам, експериментальному відпрацюванню і натурним випробуванням глушників звуку пострілу стрілецької зброї присвячено ряд публікацій, основні з яких [1 – 9, 15 – 31].

Дульні глушники здатні знижувати гучність пострілу до такого рівня, що при стрільбі чутний тільки брязкіт затвору. Застосування глушника не робить стрільбу безшумною, але в бою утрудняє виявлення джерела звуку, полегшує голосове управління; крім того, прилад працює як полум'ягасник.

Ефективність глушника залежить від конструктивних особливостей і калібру зброї, довжини ствола, конструкції і розмірів, а також боєприпасів, які застосовуються.

Аналіз конструкцій і характеристик глушників звуку пострілу стрілецької зброї різних виробників Російської Федерації (РФ) вказує на те, що в їх розвитку зберігаються принципи, закладені в конструкції ПБС-1, використовуються прості і надійні технічні рішення (етажеркові з центральною перфорованою трубкою, конічні, плоскі похилі еліптичні розсікачі-завихрювачі порохових газів, традиційні матеріали, дозвуків боєприпаси тощо).

За кордоном існує значна кількість фірм-розробників і виробників глушників звуку пострілу стрілецької зброї [23 – 28].

З 1994 до 2021 рік ІТМ НАНУ і ДКАУ розробив понад 300 різних глушників за різними конструктивними схемами [1 – 2, 15 – 22, 29 – 41].

Для співставлення характеристик глушників, що виготовляються зарубіжними фірмами, і наших конструкцій, авторами проаналізовано ряд джерел інформації і результати спільних випробувань глушників звуку пострілу з

використанням різних боеприпасів, які показали близькі результати з ефективності (25,0 – 36,0) дБА.

У конструкції глушників використовуються нержавіючі сталі, титанові і алюмінієві сплави, сплав інконель і карбон.

В Україні використовуються, в основному, глушники власної розробки, імпорту глушників зарубіжного виробництва незначний.

ІТМ НАНУ і ДКАУ спільно з науково-виробничою фірмою «ІМКАС» з 1994 року веде теоретичні, експериментальні і практичні роботи із створення перспективних, конкурентоздатних приладів зниження рівня звуку пострілу.

Для забезпечення високого рівня виробів створено методики і проведено теоретичні розрахунки параметрів газодинамічних процесів в порожнинах глушників, експериментальні дослідження на спеціально створених стендах, натурні випробування, розроблена технологія виготовлення глушників із сучасних матеріалів. Відпрацьовано базові конструкції глушників для стрілецької зброї кожного виду, що по ефективності зниження рівня звуку пострілу і експлуатаційним характеристикам не поступаються кращим зразкам глушників провідних зарубіжних фірм. Ефективність глушників забезпечується технічними рішеннями, що базуються на всебічному аналізі і враховують особливості термогазодинамічних процесів, які протікають в порожнині корпусу глушника. Всі технічні рішення, закладені в основу конструкції створених глушників, захищено патентами на винаходи України [17, 18, 20, 21, 34 – 40].

Глушники нашої розробки не погіршують бойову якість зброї, для якої вони призначені. Ресурс розроблених глушників – до 30 тисяч пострілів, а ефективність для зброї середнього калібру – (25 – 36) дБА.

Налагоджено виробництво глушників. При їх виготовленні використовуються технології ракетно-космічної техніки. За замовленням "Укрспецекспорту" дрібними серіями (100 – 300 шт.) виготовлено глушники різного призначення, зокрема для Національної гвардії України, СБ України і ін.

Оптимізовано уніфіковані конструкції глушників звуку пострілу для груп зброї найпоширеніших калібрів (5,45; 5,56 і 7,62) мм.

При проведенні робіт по оптимізації конструкції глушників основним параметром є ефективність зниження рівня звуку пострілу.

Способи дії на об'єкт, що оптимізується (чинники оптимізації) – змінена конфігурація конструктивних елементів в порожнині корпусу глушника, їх взаємне розташування і розміри, кількість, об'єм і форма розширювальних камер тощо.

Ефективність використання уніфікованих моделей ПЗРЗП підтверджена їх застосуванням у складі зброї:

- калібру 7,62 мм – автомат Калашникова АКМ, автомат Калашникова сотої серії, карабіни Blaser, Browning Bar, SAKO, Manlicher, ВУЛКАН-С і ін.;

- калібру 5,45 мм (5,56 мм) – автомат Калашникова АК-74М, АКСУ-74, гвинтівка М-16, карабіни Blaser, М4А1, SAKO, Вулкан ТК і ін.

Таким чином, задачі розробки уніфікованих глушників було успішно вирішено: автори розробили і оптимізували уніфіковані ефективні конструкції глушників звуку пострілу стрілецької зброї для груп стрілецької зброї, об'єднаних за призначенням, калібром і типом боеприпасу, який застосовується.

За результатами аналізу конструктивних особливостей відомих компактних глушників для автоматів спецпідрозділів було вибрано напрям створення глушників на основі комбінації пристроїв, що використовують як перетворю-

вачі енергії порохових газів: центральну перфоровану трубку, конічні осесиметричні і коаксіальні корпусу глушника, циліндричні оболонки із забезпеченням перетікання порохових газів між розширювальними камерами уздовж внутрішньої поверхні корпусу глушника [9].

При виборі раціональної конструкції компактних глушників уточнювалися кількість розширювальних камер, конструкція перетворювача енергії порохових газів, вид перегородок, наявність і величина перетікання газів між камерами біля внутрішньої поверхні корпусу глушника і наявність центральної перфорованої трубки.

При розробці і виготовленні ПЗРЗП нових конструкцій одночасно відпрацьовувалася технологія їх виготовлення з урахуванням застосовуваного матеріалу – алюмінієвих сплавів, нержавіючої сталі або титану і його сплавів, а також інконелю і карбону.

Проведені випробування показали, що розроблена конструкція і технологія виготовлення ПЗРЗП з титанових сплавів не погіршує їх характеристики в порівнянні з раніше виготовленими глушниками з нержавіючих сталей. При цьому маса глушника зменшилася майже в два рази [16].

Оригінальним і високоефективним конструктивним рішенням стрілецької зброї є застосування центральної перфорованої трубки в ПЗРЗП з різними елементами розсікача.

Як правило, конструкції цих приладів використовуються для зброї з боеприпасами високої енергетики.

ПЗРЗП з центральною перфорованою трубкою

Глушник (рис. 1) стикується зі стволом стрілецької зброї різьбовим з'єднанням 1. Всередині пустотілого корпусу гільзи 2 розміщена перфорована трубка 3, що має центральний канал для проходження кулі і отвори в бічній стінці 4. В глушнику є розширювальні камери 5 – 7, утворені внутрішньою поверхнею корпусу, зовнішньою поверхнею перфорованої трубки, кільцевими перегородками 8 і торцевим фланцем 9 (кришкою). Розширювальні камери (одна або більше) можуть бути заповнені теплозвукопоглинаючим матеріалом.

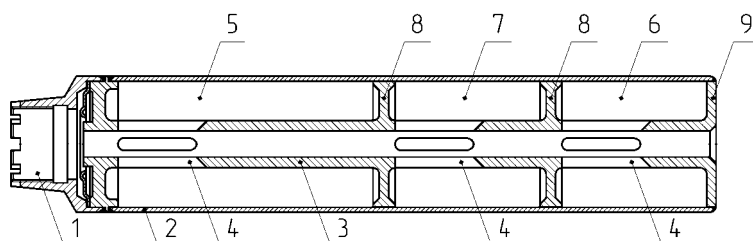


Рис. 1 – Конструктивна схема глушника з центральною перфорованою трубкою [37]

При проходженні кулі по стволу зброї з надзвуковою швидкістю попереду кулі утворюється шар стиснутого повітря, яке, потрапляючи в камери 4, 5 і 6, затримується в них, а куля проходить по каналу перфорованої трубки. В розширювальні камери слідом надходять порохові гази, прямуючі за кулею, і теж затримуються в них, оскільки забезпечують значний опір надзвуковому газовому потоку, що призводить до ефекту відсікання газового струменя і утворення вихрового руху газу в розширювальних камерах, який спричиняє втрату енергії і швидкості.

Після виходу кулі за межі глушника тиск в каналі перфорованої трубки падає, а гази з розширювальних камер надходять через отвори в центральний канал, а потім – назовні.

Глушники з центральною трубкою розроблено для широкого кола легкої стрілецької зброї. Крім того, глушники такого виконання призначено для зниження величини віддачі при стрільбі з різного типу стрілецької зброї [1, 2].

Корпус глушника. Корпус глушника може бути виготовлений з алюмінієвого або сталевих сплаву, а також з титану або його сплавів. Рекомендована товщина стінки корпусу (1,6 – 3,2) мм. Діаметр – (32,0 – 102,0) мм. Довжина корпусу повинна знаходитися в діапазоні (127,0 – 625,0) мм; оптимальна довжина 240,0 мм.

Відношення загального об'єму глушника до об'єму внутрішньої трубки від 10:1 до 40:1 (переважно – від 20:1 до 30:1).

Центральна перфорована трубка. Внутрішній діаметр трубки повинен бути рівним калібру зброї або перевищувати його на (0,254 – 1,270) мм. Матеріал внутрішньої трубки – суцільнотягнутий алюміній, титан або сталь з відхиленням 0,43 мм/м.

Діаметр отворів в трубці повинен складати (50 – 75) % від діаметру центрального отвору.

Товщина стінки трубки 50 % від діаметру поздовжнього отвору (3,2 – 4,8) мм. Отвори розташовуються непаралельно внутрішній трубці під кутом 30 ° – 60 ° (можуть бути щілинні отвори – фрезовані).

Радіальні перегородки Перевага надається перегородкам без отворів, вони можуть бути плоскими, конічними, напівсферичними і ін.

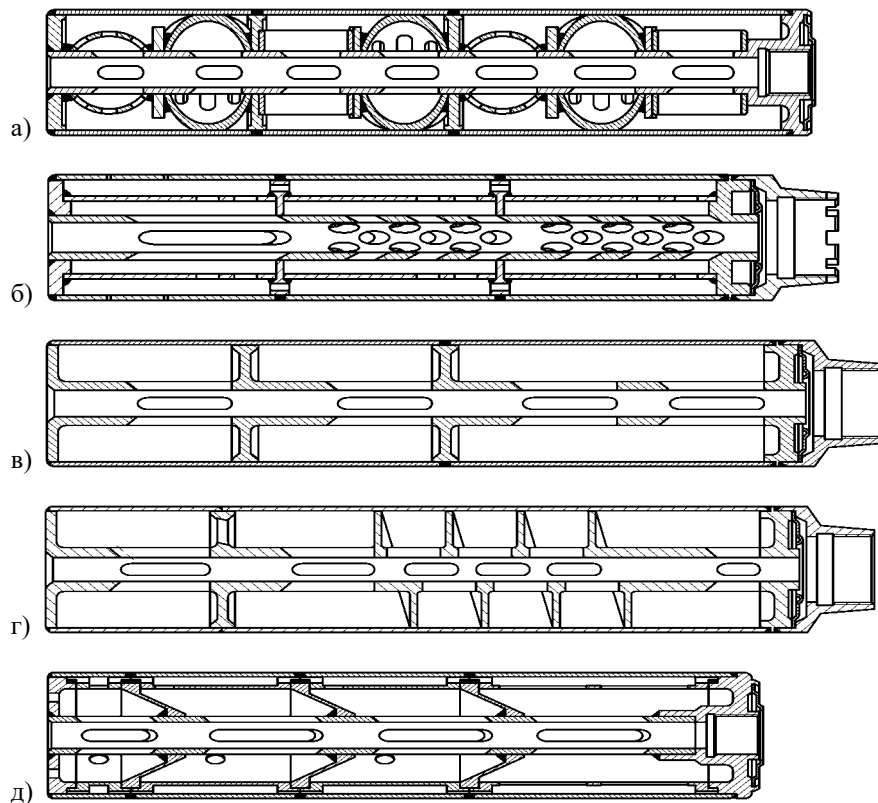
Наповнювач. Наповнювачем може бути фосфорна бронза, берилієва мідь у вигляді спресованих дротяних шайб або стружки.

Проведена велика кількість випробувань ПЗРЗП з центральною трубкою різної конструкції і калібрів. Ефективність приладів цієї конструкції складає (20,0 – 32,0) дБА. Вони надійні і мають великий термін експлуатації.

Деякі конструктивні рішення ПЗРЗП з центральною перфорованою трубкою для штурмових гвинтівок і карабінів. В глушниках (рис. 2) розсікачі є об'єднуючою конструкцією з центральною перфорованою трубкою, в якій одночасно виконано перегородки, що утворюють розширювальні камери.

По ефективності ПЗРЗП такої конструкції при стрільбі надзвучовими патронами показали добрі результати.

Глушники цієї модифікації мають декілька варіантів розсікачів (кількість, форма і нахил отворів, що перфорують центральну трубку, форма перегородок, утворюючих розширювальні камери, отвори в них, додаткові канали, що сполучають розширювальні камери, об'єми і кількість розширювальних камер тощо).



- а) – ПСУЗВ-134А-7,62 з центральними оболонками [41];
- б) – ПСУЗВ-130-7,62 з плоскими і циліндричними перегородками, що мають отвори для перетікання порохових газів [40];
- в) – ПСУЗВ-131-7,62 с плоскими перегородками [35 – 37];
- г) – ПСУЗВ-83-5,45 з перегородками у формі шнека [38 – 39];
- д) – ПСУЗВ-151В-7,62 с конічними перегородками

Рис. 2 – Конструктивні схеми ПЗРЗП з центральною трубкою і перегородковими елементами різної форми

Надалі розробка глушників велася на основі отриманого досвіду, який був використаний при конструюванні, виготовленні і експериментальному відпрацюванні ПЗРЗП з центральною трубкою.

За основу створюваних конструкцій були взяті надульні багатокамерні глушники розширювального типу, оскільки вони не потребують змін в конструкції зброї, не впливають на їх технічні характеристики, а їх ефективність така ж, а іноді перевищує характеристики шумоглушіння інтегрованих глушників.

При розробці глушника основна увага зверталася на збереження бойових якостей зброї при її використанні з ПЗРЗП, збереження дульної енергії, відсутність його шкідливого впливу на точність, кучність, прицільність стрільби, можливості використання зброї без ПЗРЗП.

Слід було врахувати і такі важливі чинники, як універсальність застосування ПЗРЗП для тих зразків, що знаходяться на озброєнні, і тих, що розробляються, великий ресурс, порівнянний з ресурсом ствола, мінімальний обсяг технічного обслуговування.

Для того щоб врахувати при створенні ПЗРЗП весь комплекс вимог, в ІТМ НАНУ і ДКАУ було розроблено Технічні умови (ТУ) на ПЗРЗП, введені в дію з 1 липня 1998 року.

Ці технічні умови розповсюджуються на прилади зниження рівня звуку пострілу, призначені для зниження рівня звуку при стрільбі з автоматів і кулеметів Калашникова і іншої зброї подібного класу в умовах учбових і тренувальних стрільб, а також при проведенні бойових операцій.

Сформульовані в ТУ основні вимоги до ПЗРЗП вказано в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Найменування параметра і розміри	Одиниця вимірювання	Величина параметра
Ефективність зниження рівня звукового тиску, ΔL , не менше	дБА	22 – 30
Утримуючий від розгвинчування момент вузла стикування-розстикування, $M_{уд}$, не менше	Н·м	7
Радіальне биття вихідного отвору каналу відносно осі ствола зброї, Δr , не більше	мм	0,3
Маса, не більше	кг	0,75
Габаритні розміри: діаметр, не більше	мм	50
довжина, не більше	мм	240

Надійність ПЗРЗП повинна характеризуватися такими показниками:

– вірогідність безвідмовної роботи ПЗРЗП до досягнення 2 тисяч пострілів в режимі одиночної стрільби короткими чергами, а також до 100 пострілів в режимі безперервної стрільби;

– ресурс ПЗРЗП в режимі одиночної стрільби і стрільби короткими чергами, а також в режимі безперервної стрільби з кількістю пострілів до 100 і перервою між чергами не менше 30 хвилин, не менше 2000 пострілів;

– ресурс вузла стикування-розстикування ПЗРЗП із зброєю – не менше 200 циклів.

Критерієм відмови ПЗРЗП повинне бути зниження кучності стрільби з його застосуванням на 50 % від початкової для даного типу зброї.

Критерії граничного стану ПЗРЗП:

– поява тріщин або дефектів корпусу;

– поломка деталей ПСУЗВ;

– викид продуктів горіння через кришку ствольної коробки зброї.

Для виготовлення глушника повинні використовуватися нержавіючі сталі, титан і його сплави, а також алюміній і його сплави, інконель і карбон.

Всі матеріали, що використовуються для виготовлення ПЗРЗП, повинні пройти вхідний контроль на наявність сертифікату.

ПЗРЗП підлягають приймально-здавальним і періодичним випробуванням, а також контрольним випробуванням на надійність за вимогами замовника.

Згідно ТУ було розроблено ряд модифікацій ПЗРЗП різної оригінальності і новизни [1, 2].

Методика розрахункової оцінки ефективності приладу зниження рівня звуку пострілу з центральною перфорованою трубкою і різними внутрішніми елементами

Вище приведено конструкції ПЗРЗП з центральною перфорованою трубкою і внутрішніми елементами розсікача різної конфігурації.

Створена методика дозволяє розрахувати конструктивні параметри ПЗРЗП зі складними внутрішніми елементами, наприклад, гелікоїдальними (рис. 3) [41]. Точність методики в порівнянні з раніше розробленими підви-

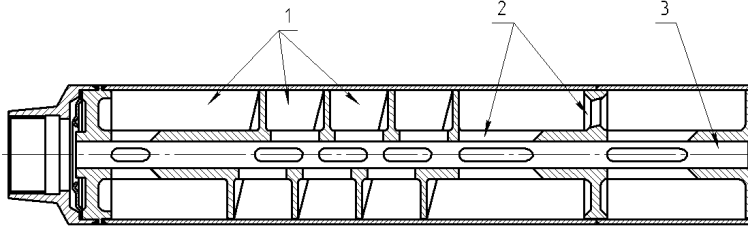


Рис. 3 – ПЗРЗП з гелікоїдальним розсікачем

щена за рахунок можливості розбивати камери на послідовно розташовані елементи і враховувати перетікаючі гази через розділяючі межі елементів.

В роботах [1, 2] запропоновано методику розрахунку параметрів процесу заповнення пороховими газами камер 1 приладу, схематично показаного на рис. 1, і центральної трубки 3 з урахуванням перетікання газу через отвори 2. Вважається, що параметри газу в кожній камері протягом всього процесу від моменту входу кулі в прилад до моменту виходу з нього є постійними по об'єму камери, але змінними в часі. Швидкість газу в центральній трубці прийнята рівною швидкості кулі, в камерах – рівною нулю.

Для розрахунку параметрів даного нестационарного процесу використовується така система рівнянь.

$$\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{1}{V_i} \sum_{j=1}^{K_i} G_{i,j}, \quad i=1,2,..., N, \quad (1)$$

$$\frac{dw_i}{dt} = \begin{cases} S_1(p_1 - p_a)/m & npu \quad i=1, \\ 0 & npu \quad i=2,3,..., N, \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{dV_i}{dt} = \begin{cases} S_1 w_1 & npu \quad i=1, \\ 0 & npu \quad i=2,3,..., N, \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = w_{1,}, \quad (4)$$

$$\frac{dT_i}{dt} = -\frac{w_i}{c_v} \frac{dw_i}{dt} - \frac{1}{\rho_i c_v} (c_v T_i + \frac{w_i^2}{2}) \frac{d\rho_i}{dt} + \frac{1}{V_i \rho_i c_v} \sum_{j=1}^{K_i} (c_p T^*)_{i,j} G_{i,j}, \quad i=1,2,..., N, \quad (5)$$

$$\frac{dp_i}{dt} = RT_i \frac{d\rho_i}{dt} + \rho_i R \frac{dT_i}{dt}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

де N – загальна кількість камер (при нумерації камер номер 1 відповідає камері змінного об'єму, що об'єднує канал ствола зброї і частину центральної трубки до кулі); t – час; ρ_i, p_i, T_i, w_i – густина, тиск, температура і швидкість газу в i -й камері; V_i – об'єм i -й камери; K_i – кількість отворів в стінках i -й камери (при $i = 1$ в якості одного з отворів слід розглядати прохідний перетин центральної трубки); $G_{i,j}$ – масова витрата газу через j -й отвір (додатна, якщо газ втікає в i -у камеру, і від'ємна, якщо газ витікає із i -ї камери); S_1 – площа прохідного перерізу центральної трубки; p_1 – тиск в 1-й камері; p_a – атмосферний тиск; m – маса кулі; X – відстань від входу в глушник до кулі; C_v, C_p – теплоємність газу відповідно при постійному об'ємі і тиску; $(C_p T^*)_{i,j}$ – повна теплоємність газу, що втікає в i -у камеру через j -й отвір (при $i = 1$ в якості одного із отворів слід розглядати прохідний переріз центральної трубки); R – газова стала.

Витрата газу $G_{i,j}$ через кожен отвір визначається за співвідношеннями [42] з урахуванням значень повного тиску і температури газу в отворі і величини статичного тиску в камері, в яку надходить газ.

При заданих початкових значеннях система рівнянь (1) – (6) інтегрується за часом методом Ейлера. Після інтеграції ефективність роботи приладу визначається на основі загального виразу [1]

$$E = 20 \lg \frac{p_1(t^*)}{p_1(0)} \text{ дБ}, \quad (7)$$

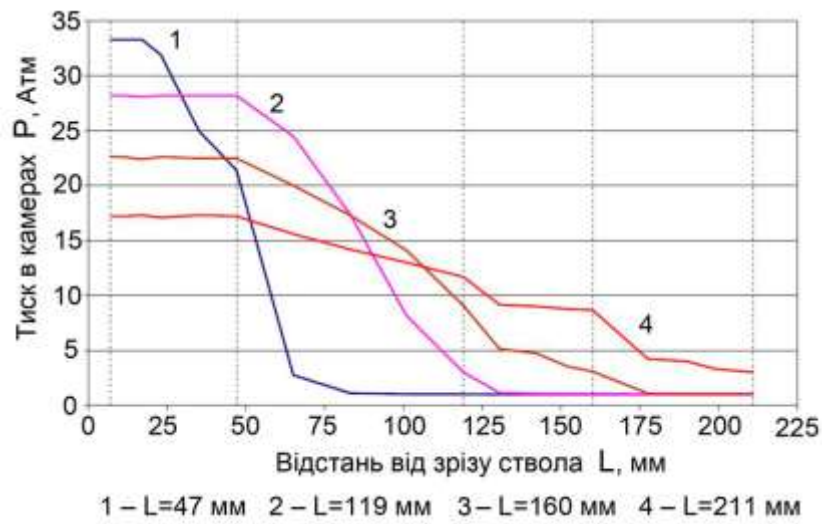
де E – зниження рівня звукового тиску при роботі приладу; $p_1(t^*)$ – тиск газу в 1-й камері при вильоті кулі з приладу; $p_1(0)$ – тиск газу в каналі ствола зброї при вході кулі в прилад.

Недоліком описаної методики, що обмежує її точність, є припущення про постійність параметрів потоку у всьому об'ємі кожної камери приладу. В той же час камери можуть мати різну довжину і містити різні вставки (наприклад, шнек, рис. 3).

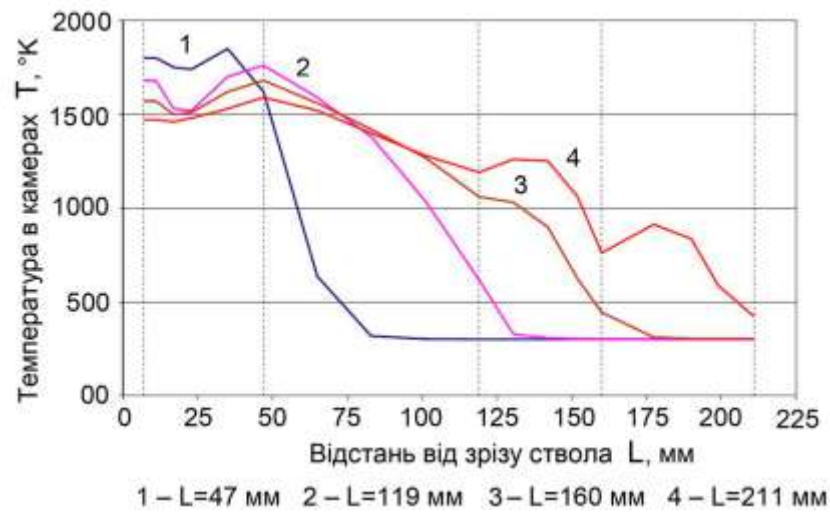
За розробленою методикою були проведені розрахунки основних характеристик ПЗРЗП з різними розсікачами.

Зокрема для ПЗРЗП з гелікоїдальним розсікачем до автомата АК-74, конструктивну схему якого показано на рис. 3, отримано залежності тиску і температури в камерах глушника (рис. 4), величини швидкості польоту кулі (рис. 5), ефективності ПЗРЗП від довжини (рис. 6) і діаметру (рис. 7) корпусу глушника.

Із графіків на рис. 6 і рис. 7 видно, що для глушників з центральною трубкою, починаючи з довжини 280 мм і діаметру 70 мм, ефективність ПЗРЗП практично не росте, тобто подальше збільшення об'єму глушника не має сенсу.



а)



б)

Рис. 4 – Графік тиску а) і температури б) в камерах ПЗРЗП з гелікоїдальним розсікачем для автомата АК-74У в залежності від знаходження кулі на відстані L от зрізу ствола



Рис. 5 – Графік швидкості кулі в ПЗРЗП з гелікоїдальним розсікачем для автомата АК-74

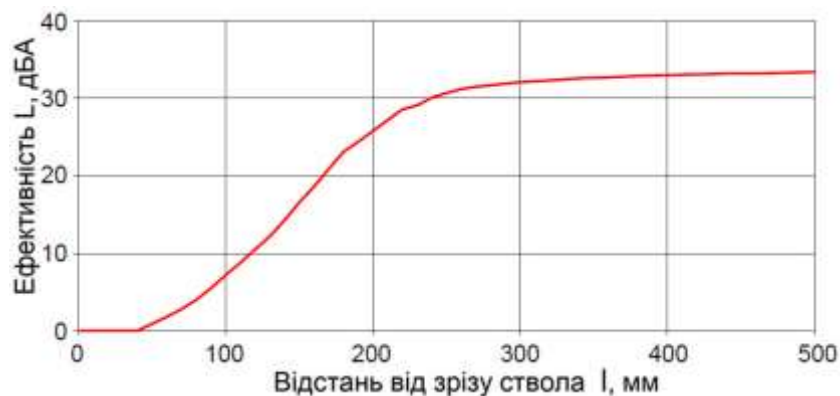


Рис. 6 – Графік залежності ефективності ПЗРЗП з центральною трубкою від довжини приладу

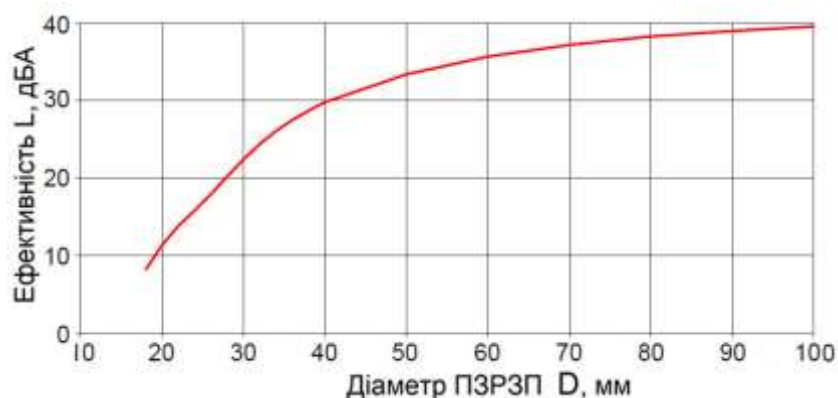


Рис. 7 – Графік залежності ефективності ПЗРЗП з центральною трубкою від діаметру корпусу приладу

ПСУЗВ з центральною перфорованою трубкою і наствольною розширювальною камерою. Для отримання прийнятних значень зниження рівня звуку пострілу зброї з високоенергетичними боєприпасами, необхідно збільшувати об'єм порожнини корпусу, що спричиняє збільшення габаритних розмірів приладу. Це призводить до появи проблем із зручністю експлуатації зброї з глушником і забезпеченням співвісності ствола зброї і глушника при одноточковому його кріпленні до зрізу ствола.

Один із шляхів вирішення цієї проблеми – глушник з додатковою розширювальною камерою, що охоплює зовнішню частину ствола, і газодинамічно пов'язаною з традиційним надульним глушником, виступаючим за зріз ствола через перфоровану перегородку.

Конструкції ПЗРЗП з наствольною розширювальною камерою, які в своєму складі мають розсікачі порохових газів, побудовано по традиційній схемі з конічними або сферичними перегородковими елементами в різному поєднанні з втулками і шнеками, а також з периферійним лабіринтово-вихровим контуром і перфорованими трубками показано на рис. 2 – рис. 3.

Розроблено конструкції глушників з гелікоїдальними внутрішніми елементами, з периферійними лабіринтно-вихровими контурами і півсферами, а також центральною перфорованою трубкою. Розроблено методику розрахунку ефективності приладів з такими внутрішніми елементами.

Теоретична оцінка ефективності створених приладів здійснювалася моделюванням газодинамічних процесів в приладах камерного типу на основі законів збереження маси та енергії газу, представлених в інтегральній формі. Отримано задовільне узгодження результатів теоретичних розрахунків і експериментальних даних.

За запропонованими конструктивними схемами виготовлено ПЗРЗП і проведено їх натурні випробування на карабінах MR223, ОП СВД, Blaser R93, Savage Arms Rem.233, Вулкан 7,62, Mauser 98, Heckler&Koch MR .338, CZ 525, снайперських гвинтівках С.Т.С.М.338 і С.Т.С.М.308 і ін., всього більше 150 приладів.

Ефективність зниження рівня звуку пострілу створеними ПЗРЗП від 32 дБА до 36 дБА (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні характеристики базових моделей глушників з наствольною розсікаючою камерою

Найменування параметра	Наствольні ПЗРЗП
Ефективність зниження рівня звукового тиску, не менше, дБА	34 – 36
Діаметр, мм	від 43 до 50
Довжина, мм	від 250 до 465
Довжина наствольної частини, мм	від 62 до 250
Маса, г	від 900
Приєднувальна різьба	M13×1 ліва; M14×1 ліва; M14×1; M15×1; M16×1; M18×1; 1/2-28; 5/8-24; 9/16-28

Порівняльні натурні випробування розроблених ПЗРЗП (рис. 8, рис. 9) з найпоширенішими глушниками серії Reflex Suppressors (Фінляндія) показали переваги створеної конструкції по ефективності зниження рівня звуку пострілу, надійності і ресурсу використання.

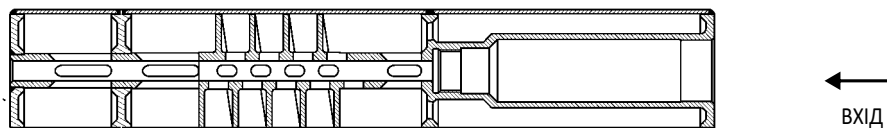


Рис. 8 – PCSUZB-115-5,56 для карабіна MR 223 калібра 5,56 мм

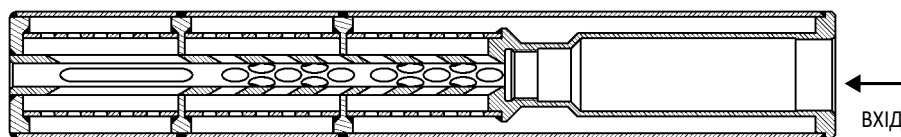


Рис. 9 – PCSUZB-116-5,56 для карабіна MR 223 калібра 5,56 мм

Прилад зниження рівня звуку пострілу для кулемета ПКМ отримав позначення ПСУЗВ-76. Конструктивні схеми модифікацій приладу приведено на рис. 10.

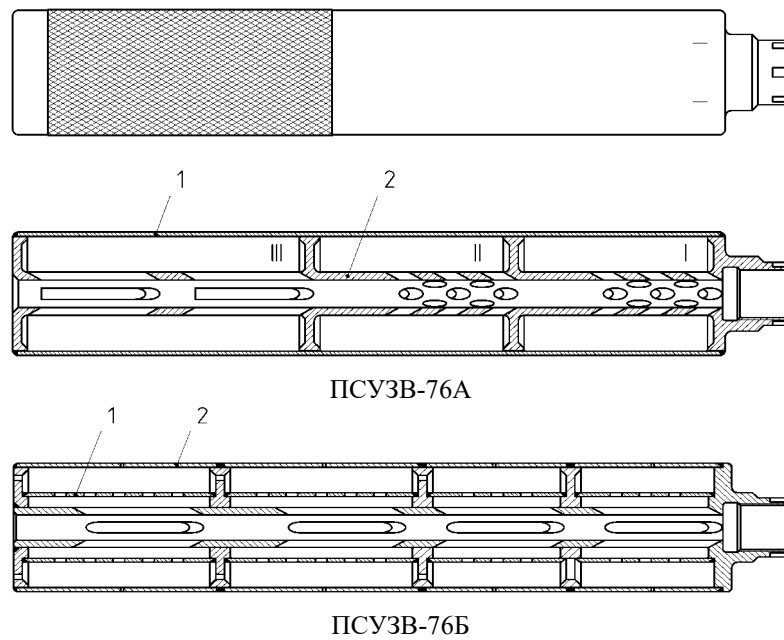


Рис. 10 – Прилади зниження рівня звуку пострілу для кулемета ПКМ

ПЗРЗП виготовлено з нержавіючої сталі. Корпус глушника є трубою діаметром $\sim 43,0$ мм, в якому розміщується розсікач, виготовлений заодно зі штуцером. Кріплення до ствола здійснюється за допомогою різьблення $M18 \times 1,5$, ліва [30].

Розсікач порохових газів, що поєднує центральну перфоровану трубку, дві поперечні перегородки і передню кришку, створює три розширювальні камери. Конструкція приладу зварна. Габаритні розміри глушника: $\varnothing 43$ мм, $L=262,0$ мм і маса – 750,0 грам.

При випробуванні цієї модифікації на живучість прилад витримав 200 безперервних пострілів штатними боєприпасами, далі відбулося руйнування [30].

Подальша модернізація приладу ПСУЗВ-76Б полягала в наступному.

Коаксіально центральній трубці встановлено відрізки циліндричних тонкостінних оболонок, в яких виконано дренажні отвори діаметром 4 мм, збільшена кількість розширювальних камер до чотирьох, в передній кришці виконано шість отворів $\varnothing 2$ мм для виходу порохових газів, такі ж отвори виконано в перегородках 3 і 4 і корпусі глушника (рис. 11).

Діаметр корпусу було збільшено до $\sim 48,0$ мм, а довжину – до 264 мм, маса глушника збільшилася до 900,0 грам. Конструкція посадочного місця не змінилася.

Глушник випробовувався на спеціалізованому полігоні.

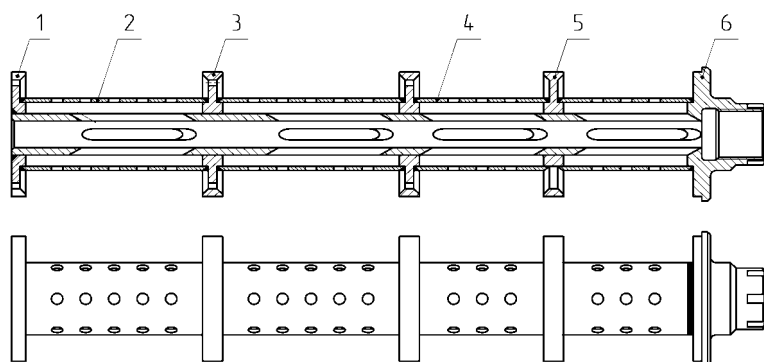


Рис. 11 – Розсікач PCSUZB-76A і PCSUZB-76B

Метою випробувань було:

- встановлення характеристик приладу і порівняння їх з попередніми моделями;
- перевірка надійності (ресурсу) приладу при інтенсивній стрільбі;
- визначення впливу приладу на нагрів зброї;
- фіксація викиду порохових газів в ствольну коробку.

В режимі безперервної стрільби було виконано 450 пострілів, режим ведення вогню – довгі черги практично без пауз між чергами. Час на зміну стрільця (стрічки) не більше 30 секунд.

PCSUZB-76B перевершує раніше розроблені зразки по ефективності зниження рівня звуку пострілу:

- нагрів кулемета з PCSUZB-76B значно менший, ніж з раніше випробуваними глушниками;
- надалі цей глушник був випробуваний при стрільбі штатними боеприпасами з кулемета ПКТ.

У режимі безперервного вогню (за ~ 3 хвилини) було відстріляно довгими чергами більше 500 патронів з паузами на перенесення вогню по мішенях.

В ході стрільби ПЗРЗП нагрівся до «прозорого» стану. Ефективність зниження рівня звуку пострілу була штатною.

Таким чином, в результаті проведених досліджень, проектування і натурних випробувань авторами створена надійна і ефективна (~ 27 дБА) конструкція глушника з центральною трубкою для єдиного кулемета ПКМ, що не поступається по ефективності зарубіжним зразкам і забезпечує надійне використання кулеметів ПКМ з ПЗРЗП в реальних умовах.

Висновки

1. Тенденції розвитку стрілецької зброї і особливостей його застосування, а також поява звукометричних засобів визначення координат пострілу і типу зброї, з якої його здійснено, дали новий поштовх розвитку і вдосконаленню глушників звуку пострілу.

2. При проведенні антитерористичних операцій необхідне використання як високоефективних засобів зменшення звукової помітності стрілецької зброї, так і акустичних систем визначення пострілу.

3. В ІТМ НАНУ і ДКАУ створено різні конструкції компактних високоефективних глушників звуку пострілу з центральною перфорованою трубкою для стрілецької зброї, що не поступаються за своїми характеристиках кра-

щим зарубіжним зразкам, виготовлені з урахуванням особливостей термогазодинамічних процесів, що протікають в їх корпусі, захищені патентами України [34 – 37, 39].

1. 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: Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины. 2008. 303 с.
2. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Кваша Ю. О., Січевий О. В., Скорік О. Д., Стрельников Г. О. Безшумна автоматична вогнепальна зброя: Підручник. Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС. 2011. 340 с.
3. Paulson Alan C. Silencer. History and Performance. Volume 1. Sporting and Tactical Silencer. USA, Boulder, Colorado: Paladin Press. 1996. 412 p.
4. Paulson Alan C., Parker N. R., Kokalis Peter G. Silencer. History and performance. Volume 2. GQB, Assant Rifle and Sniper Technology. USA, Boulder, Colorado: Paladin Press. 2002. 429 p.
5. Parker N. R. Firearm Suppressor Patents. Volume 1. United States Patents. USA, Boulder, Colorado: Paladin Press. 2004. 373 p.
6. Неугодов А. С., Сабельников В. М. Акустика стрелкового оружия. М: ЦНИИ информации. 1979. 150 с.
7. О приборах бесшумной и беспламенной стрельбы. URL: <http://www.gutierrez.3dn.ru/blog/silencers/2011-06-11-6> (Дата звернення 15.05.2021).
8. Juha Hartikka. Совсем не тихий глушитель. Мастер-ружье. 2010. № 159. С. 52–57. URL: <http://master-gun.com/pdfs/159.pdf> (Дата звернення 15.05.2021).
9. 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.
10. Акустические системы обнаружения огня. «СОВА» слышит пулю (Акустические системы обнаружения огня из стрелкового оружия разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»). URL: <http://alternathistory.com/akusticheskie-sistemy-obnaruzheniya-ognya-sova-slyshit-pulyu/> (Дата звернення 15.05.2021).
11. Біленко О. І. Визначення параметрів звуку пострілу, які впливають на виконання специфічних вогневих завдань силами безпеки, та підлягають регламентації дії. Системи озброєння і військова техніка. 2014. № 1(37). С. 5–11.
12. Хорошев Д. Разведывательно-сигнализационные системы и средства обнаружения сухопутных войск США. «Зарубежное военное обозрение». 2011. № 4. С. 45–53.
13. Спиринов Е. Саровская СОВА против снайперов. Нижегородская правда. № 56. 29 май 2012.
14. Мосалев В., Ушаков В. Системы обнаружения снайперов противника. Солдат удачи. 2008. № 5. С. 52–56.
15. 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.
16. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Загребя А. И., Пихотенко С. В., Яковлев С. В. Разработка конструкции и технологии изготовления глушителей из титановых сплавов для стрелкового оружия. Техническая механика. 2013. № 1. С. 78–95.
17. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: патент 95693 Україна. МПК (2011.01), F41A 21/30 (2006.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Пугач С. О., Скорік О. Д., Стрельников Г. О., Авдєєв А. М.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № a2009 13359: заявл. 22.12.09; опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16. 6 с.
18. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: патент 97016 Україна. МПК F41A 21/30 (2006.01), F41A 21/34 (2006.01). Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Авдєєв А. М., Пугач С. О., Скорік О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № a201004889: заявл. 23.04.10; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. 7 с.
19. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Стрельников Г. А., Скорик А. Д., Авдєєв А. Н. Глушитель звука выстрела стрелкового оружия с коническими перегородочными элементами. Техническая механика. 2011. № 1. С. 86–98.
20. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: патент 108783 Україна. МПК F41A 21/20. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Семенчук Д. В., Коваленко В. І.; заявник і патентовласник ІТМ НАНУ і ДКАУ. № a201310602: заявл. 02.09.13; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11. 8 с.
21. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: патент 105545 Україна. МПК, F41A 21/30 (2006.01), F41A 21/34 (2006.1). Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорік О. Д., Коваленко В. І.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № a201207534: заявл. 20.06.2012; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. 8 с.
22. 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.
23. Проспект фирмы AWC. Каталог. 2012. 11 с. URL: <https://AWC.systech.com> (Дата звернення 15.05.2021).
24. Каталог фирмы Advanced Armament Corporation, 2012. 31 с.
25. HTG Silencers Product Catalog. Каталог глушителей, выпускаемых фирмой HTG. 2012. 35 с.

26. Word Class Silencers. Проспект фирмы GEMTECH. 2015/2016, 36 с.
27. Каталог фирмы Advanced Armament Corporationю. 2015. 31 с.
28. Каталог фирмы Yanke Hill Machine Company (YHM). 2010. 25 с.
29. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик А. Д., Гунько А. Д., Якименко М. А., Коваленко В. И. Глушитель звука выстрела для автоматов подразделений специального назначения. Техническая механика. 2012. № 2. С. 50–76.
30. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Пугач Е. О., Скорик А. Д., Коваленко В. И., Саенко М. В., Хуршудян К. Б. Разработка приборов снижения уровня звука выстрела для единых пулеметов ПКМ. Техническая механика. 2012. № 1. С. 28–37.
31. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї зі сферичними перегородковими елементами: патент 109381 Україна, МПК F41A 21/30 (2006.01). Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорік О. Д., Коваленко В. І., Піхотенко С. В., Яковлев О. А.; заявник і патентовласник ІТМ НАНУ і ДКАУ. №a201410885: заявл. 06.10.14; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. 8 с.
32. 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.
33. Глушитель звука и пламегаситель огнестрельного оружия: пат. EP0107273 A1 Европатент; МПК F41A 21/30. Walsh Jr, Donald J. Заявитель и патентообладатель Walsh Jr, Donald J. №US403445; заявл. 30.07.82; опубл. 02.05.1984, Бюл. 84/18.
34. Прилад зниження рівня і забезпечення направленості звуку пострілу стрілецької зброї: патент 28410 Україна. МПК (2006) F41A 17/00, F41A 21/30 (2006.01). Коновалов М. А., Остапов А. І., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик О. Д., Тинина С. В., Чаплиць О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. № u 2007 08125; заявл. 17.07.2007; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20. 6 с.
35. Прилад зниження рівня звуку пострілу стрілецької зброї: патент 36674 Україна. МПК (2006) F41A 21/30 (2008.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Пугач Є. О., Скорик О. Д., Стрельников Г. О., Чаплиць О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № u 2008 01456; заявл. 04.02.2008; опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21. 6 с.
36. Глушник звуку пострілу зброї: патент 84118 Україна. МПК (2006) F41A 21/30 (2008.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Скорик О. Д., Пугач Є. О., Пугач О. М.; заявник і патентовласник ТОВ НВФ «ІМКАС». № а 2008 05748; заявл. 05.05.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17. 4 с.
37. Прилад зниження рівня звуку пострілу стрілецької зброї: патент 89310 Україна. МПК (2009) F41A 21/30 (2008.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик О. Д., Стрельников Г. О., Чаплиць О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. № а 2008 08435; заявл. 24.06.2008; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1. 6 с.
38. Прилад зниження рівня звуку пострілу стрілецької зброї: патент 44753, Україна. МПК (2009) F41A 21/30 (2009.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Пугач Є. О., Скорик О. Д., Чаплиць О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. № u 2009 05084; заявл. 22.05.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. 4 с.
39. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: патент 94790 Україна. МПК (2011.01), F41A 21/30 (2006.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Авдєєв А. М., Пугач Є. О. Скорік О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України та НКА України. № a200908628: заявл. 17.08.09; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11.6 с.
40. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї: патент 94491, Україна, МПК (2011.01) F41A 21/30 (2006.01), F41A 17/00. Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Авдєєв А. М., Пугач Є. О. Скорік О. Д.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № a200907528: заявл. 17.07.09; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9. 5 с.
41. Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик А. Д., Пугач Е. О. Расширительный многокамерный прибор снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия с геликоидальным рассекателем завихрителем потока оружейного газа. Техническая механика. 2009. № 2. С. 32–35.
42. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М: Наука. 1976. 888 с.

Отримано 19.04.2021,
в остаточному варіанті 07.06.2021