

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И  
ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКАМЕРНЫХ ПРИБОРОВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ  
ЗВУКА ВЫСТРЕЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С РАССЕКАТЕЛЯМИ  
ПОТОКА ОРУЖЕЙНЫХ ГАЗОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

Приведены основные требования к конструкции приборов снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ). Показана необходимость усложнения конструкции рассекателей для обеспечения эффективного снижения уровня звука выстрела боеприпасом с высокой энергетикой и уточнения в связи с этим разработанных методик определения характеристик ПСУЗВ.

Приведены основные положения модифицированной методики и результаты ее использования для определения характеристик ПСУЗВ с геликоидальным рассекателем-завихрителем оружейных газов. Дано сравнение с экспериментальными результатами определения эффективности снижения уровня звука выстрела этим ПСУЗВ.

Приведено основні вимоги до конструкції приладів зниження рівня звуку пострілу (ПЗРЗП).

Показано необхідність ускладнення конструкції розсікачів для забезпечення ефективного зниження рівня звуку пострілу боеприпасом з високою енергетикою та уточнення в зв'язку з цим розроблених методик визначення характеристик ПЗРЗП з гелікоїдальним розсікачем-завихрювачем збройових газів.

Приведені основні положення модифікованої методики та результати її використання для визначення характеристик ПЗРЗП з гелікоїдальним розсікачем-завихрювачем збройових газів. Дано порівняння з експериментальними результатами визначення ефективності зниження рівня звуку пострілу цим ПЗРЗП.

Basic requirements to the design of sound suppressors (PSUZV) are given. The need for a complicated design of splitters for providing an effective sound suppression by ammunition with high energy and for the refinement of developed techniques for defining the PSUZV characteristics is shown.

Fundamentals of a modified technique and the results of its use for defining the PSUZV characteristics with a helically shaped splitter-swirler of powder gases are presented. Comparison with the experimental results of sound suppression efficiency determination by this PSUZV is given.

Как правило, прибор снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ) проектируется для конкретного оружия. При этом необходимо учитывать, что разрабатываемое изделие должно иметь при заданной эффективности максимальную простоту конструкции, минимально необходимые габариты и массу, высокую надежность и большой ресурс использования, быть сравнительно недорогим и удобным при эксплуатации. ПСУЗВ не должен оказывать негативного влияния на основные характеристики образца оружия (ухудшать показатели точности стрельбы и рассеивания, условия прицеливания и стрельбы, работу автоматики оружия, уменьшать энергию пули и т.д.).

На этапе исследований и разработок необходимо максимально учесть весь комплекс названных факторов, так как пренебрежение каким-либо из них повышает вероятность получения в конечном итоге изделия с характеристиками, не соответствующими требуемым.

Конструктивные особенности ПСУЗВ к различным типам стрелкового оружия описаны, например, в [1 – 5]. Для оружия малого калибра с невысокой энергетикой боеприпаса применяются глушители, достаточно простые по конструкции и имеющие при этом сравнительно высокую эффективность снижения уровня звука выстрела ~25,0 – 30,0 дБ [1].

На этапе эскизного проектирования таких глушителей для определения их основных геометрических характеристик и компоновки, предполагаемой эффективности снижения уровня звука выстрела используются расчетные методики, основные аспекты которых изложены в [6 – 8].

В случае проектирования глушителей на оружие, имеющее боеприпас с

большой энергетикой, для получения приемлемых значений эффективности снижения уровня звука выстрела при сохранении удовлетворительных массогабаритных характеристик приходится усложнять устройство внутренних элементов конструкции глушителя, обеспечивающих преобразование энергии пороховых газов в тепловую и уменьшение уровня генерируемого звука. Для этой цели используются, например, конструкции, содержащие геликоидальные поверхности [9, 10] или рассекатели, представляющие собой набор конструктивных элементов сложной, иногда экзотической формы [11 – 14].

При разработке конструкций таких глушителей и предварительной оценке их эффективности следует иметь в виду, что теоретическая методика оценки эффективности приборов снижения уровня звука выстрела с многократным расширением потока, изложенная в [6], основана на использовании ряда упрощений. Принято, что параметры газа в каждой камере в течение всего времени от момента входа пули в прибор до момента выхода из него являются постоянными по объему камеры, но переменными во времени. Скорость газа в центральной трубке принята равной скорости пули, в камерах – равной нулю. Для расчета параметров рассматриваемого нестационарного процесса используется система обыкновенных дифференциальных уравнений, полученная в результате применения законов сохранения массы и энергии к объему газа в каждой камере прибора с учетом перетекания газа через отверстия в стенках камер

$$\frac{dy_{ij}}{dt} = f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 5, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $N$  – общее число камер (при нумерации камер номер 1 соответствует камере переменного объема, объединяющей канал ствола оружия и часть центральной трубки до пули);  $t$  – время;  $y_{1j}, \dots, y_{4j}$  – плотность, давление, температура и скорость газа в  $j$ -й камере;  $y_{5j}$  – объем  $j$ -й камеры. Соотношения для расчета функций  $f_{ij}$  приведены в [6].

При заданных начальных значениях система уравнений (1) интегрируется по времени методом Эйлера. После интегрирования эффективность работы прибора определяется с использованием общего выражения [15]

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

где  $E$  – понижение уровня звукового давления при работе прибора;  $p_1(t^*)$  – давление газа в 1-й камере при вылете пули из прибора;  $p_1(0)$  – давление газа в канале ствола оружия при входе пули в прибор.

Недостатком методики [6], ограничивающим ее точность, является предположение о постоянстве параметров потока во всем объеме каждой камеры прибора. В то же время камеры могут иметь значительную длину и содержать различные внутренние конструктивные элементы, например шнеки. В связи с этим в настоящей работе используется модификация методики [6], которая заключается в следующем. Длинные камеры прибора, а также камеры, содержащие внутренние конструктивные части, предлагается разбивать на последовательно расположенные элементы и учитывать перетекание газа через границы между элементами. Поясним это на примере. Ес-

ли разбить камеру на три элемента с номерами 3, 4, 5, то следует дополнительно задать "отверстия" площади  $S$  между элементами 3 и 4, 4 и 5

$$S = \pi(R^2 - r^2),$$

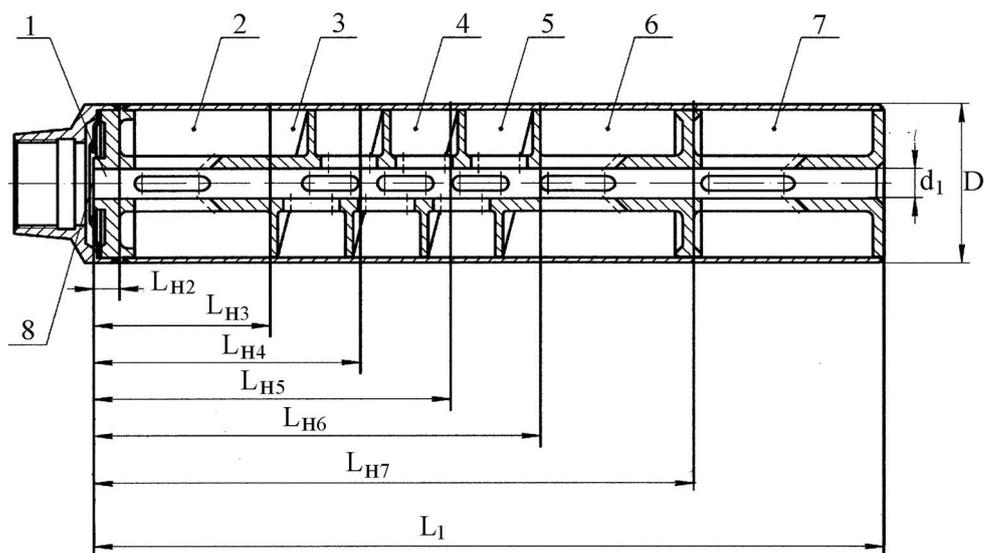
где  $R, r$  – соответственно радиусы периферии и втулки проточной части камеры. Если в данной камере расположен шнек, то площади "отверстий" с учетом перетекания газа вдоль лопасти шнека могут быть вычислены по приближенной формуле

$$S = s_w(R - r),$$

где  $s_w$  – шаг винтовой линии лопасти шнека.

Применение предложенной модифицированной методики позволит на этапе разработки определить предполагаемую эффективность снижения уровня звука выстрела глушителем с рассекателями оружейных газов сложной формы, например такого, конструкция которого описана в [9].

Внешний вид рассекателя с геликоидальной поверхностью в средней части и схема для расчета характеристик ПСУЗВ-77 приведены на рис. 1.



1 – камера 1 (центральный канал); 2, 6, 7 – расширительные камеры; 3, 4, 5 – расширительные камеры на участке в виде шнека; 8 – начало центрального канала (срез ствола);  $L_{H2} - L_{H7}$  – расстояния от среза ствола до начала расширительных камер 2 – 7;  $L_1$  – длина центрального канала (камеры 1);  $d_1$  – диаметр центрального канала;  $D$  – диаметр ПСУЗВ

Рис. 1

ПСУЗВ-77 относится к глушителям «камерного» типа, состоящим из центрального канала и нескольких расширительных камер. При построении схемы для расчета характеристик центральный канал (ЦК) обозначается камерой номер один. Расширительные камеры, примыкающие к центральному каналу, имеют нумерацию, начиная со второй в направлении от среза ствола. По форме выполнения внутренних частей раскателя конструкцию ПСУЗВ можно разбить на камеры: от плоской перегородки, соприкасающейся со срезом ствола и не имеющей перепускных отверстий, до геликоидального элемента; геликоидальный элемент, имеющий перепускные отверстия с примыкающими камерами по его границам; от геликоидального элемента до плоской перегородки; последняя камера, ограниченная плоскими перегородками, не имеющими перепускных отверстий. Пользуясь модифицированной методикой для расчета параметров на большем количестве участков, каждую камеру можно разбить на произвольное количество составных примыкающих камер. В нашем случае целесообразно геликоидальный элемент разбить на три условные камеры. Таким образом, расчетная схема ПСУЗВ-77 содержит шесть расширительных камер: от 2 до 7. Каждая из них имеет перепускные отверстия, сообщающиеся с центральным каналом.

Программа, в которой реализован алгоритм предложенной методики, состоит из расположенных в одном каталоге исполняемого файла SOUND\_INI.EXE (расчетная часть) и файла исходных данных INI.DAT. В результате выполнения исполняемого файла в том же каталоге формируется файл результатов RES.OUT.

В файле исходных данных (таблица 1) задаются:

– параметры оружия, из которого производится выстрел (калибр, масса пули, длина хода нарезов ствола, давление, температура газов и скорость пули на срезе ствола);

– конструктивные параметры глушителя (диаметр и длина центрального канала глушителя, количество камер и объем каждой расширительной камеры, площадь перепускных отверстий между центральным каналом и расширительными камерами, площадь перепускных отверстий между соприкасающимися расширительными камерами, начало и конец перепускных отверстий от среза ствола, угол наклона перепускных отверстий);

– расчетные постоянные (газовая постоянная, показатель адиабаты газов, относительный шаг интегрирования по времени, уточняющий коэффициент).

Файл результатов (табл. 2) содержит следующие параметры: оценочную эффективность глушителя, скорость пули, давление, температуру, плотность газа в каждой камере, а также расчетные объемы камер. Все величины приведены на момент вылета пули из центрального канала глушителя.

Исходные данные можно изменять в широком диапазоне для глушителей с различной конфигурацией, различными конструктивными размерами и для различных типов оружия. Результаты расчета можно использовать в качестве исходных данных для других программ. Эти особенности позволили решить ряд задач, связанных с оценкой эффективности глушителя при изменении одного или нескольких конструктивных размеров.

Рассмотрим некоторые из таких задач для ПСУЗВ-77.

Задавая длину центрального канала в диапазоне от 0 мм до 500 мм в соответствующем поле файла исходных данных и проводя расчет, получаем

набор параметров для выбранных длин. Предполагается, что при увеличении длины больше конструктивного размера глушителя увеличивается длина последней камеры, а следовательно ее объем, который тоже вносится для каждого расчета в соответствующее поле файла исходных данных. По полученным параметрам в разных точках центрального канала можно оценить динамику развития процесса внутри глушителя. Так были построены графики изменения давления (рис. 2, рис. 3) и температуры газа (рис. 4) внутри каждой камеры, скорости пули (рис. 5), эффективности снижения уровня звука выстрела в зависимости от положения пули в центральном канале (рис. 6). На графиках положение вертикальной штриховой линии соответствует длине центрального канала глушителя ПСУЗВ-77.

Одна из задач выбора конструктивных параметров глушителя – построение графика изменения эффективности снижения уровня звука выстрела в зависимости от диаметра глушителя (рис. 7). Для этого задавался наружный диаметр глушителя в диапазоне от 21 мм до 100 мм, рассчитывался объем каждой камеры и площадь перепускных отверстий, соприкасающихся перепускных камер. Эти данные заносились в соответствующие поля файла исходных данных и выполнялся расчет.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета характеристик ПСУЗВ-77

Исходные данные	
Марка глушителя к АК-74М (шаг шнека 20 мм)	ПСУЗВ-77
Калибр, мм	5,45
Длина хода нарезов ствола до среза, мм	372,0
Давление газов на срезе ствола, атм	600,0
Температура газов на срезе, К	1800,0
Газовая постоянная, дж/(кг·град)	340,0
Показатель адиабаты газов	1,225
Скорость пули на срезе ствола, м/с	900,0
Масса пули, г	3,45
Длина центрального канала глушителя (от среза), мм	211,0
Диаметр центрального канала глушителя, мм	8,2
* относительный шаг интегрирования по времени	0,001
Число камер, кроме центрального канала, ЦЕЛОЕ	6
Объемы камер, начиная от среза, мм <sup>3</sup>	42019,0
	23326,0
	23326,0
	23326,0
	40448,0
	51247,0
Число обобщенных отверстий перепуска, ЦЕЛОЕ	10

Продолжение таблицы 1

Из какой камеры ЦЕЛОЕ	В какую камеру ЦЕЛОЕ	Общая площадь отв. на участке (мм <sup>2</sup> )	Начало участка от среза ствола (мм)	Конец участка от среза ствола (мм)	Угол наклона отв. к оси (град)	«Сигма» – наше незнание $0 < \sigma < 1$
1	2	306,0	11,0	31,0	90,0	0,9
1	3	207,0	47,0	71,0	90,0	0,9
1	4	207,0	71,0	95,0	90,0	0,9
1	5	207,0	95,0	119,0	90,0	0,9
1	6	306,0	119,0	139,0	90,0	0,9
1	7	386,0	162,0	187,0	90,0	0,9
2	3	225,0	0,0	0,0	90,0	0,9
3	4	225,0	0,0	0,0	90,0	0,9
4	5	225,0	0,0	0,0	90,0	0,9
5	6	225,0	0,0	0,0	90,0	0,9

Нумерация камер: 1 – центральный канал, далее по порядку от среза

Таблица 2. Результаты расчета параметров газа в камерах ПСУЗВ-77 в момент вылета пули из глушителя

№	P [атм]	T [K]	RO [кг/м <sup>3</sup> ]	V [мм <sup>3</sup> ]	W [м/с]
1	30,00	1350	6,63	19800	926
2	37,70	1760	6,33	42000	0,0
3	35,80	1780	5,95	23300	0,0
4	33,20	1740	5,63	23300	0,0
5	29,90	1660	5,29	23300	0,0
6	20,80	1470	4,17	40400	0,0
7	6,12	1020	1,77	51200	0,0

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУШИТЕЛЯ : 26.0 ДБ**

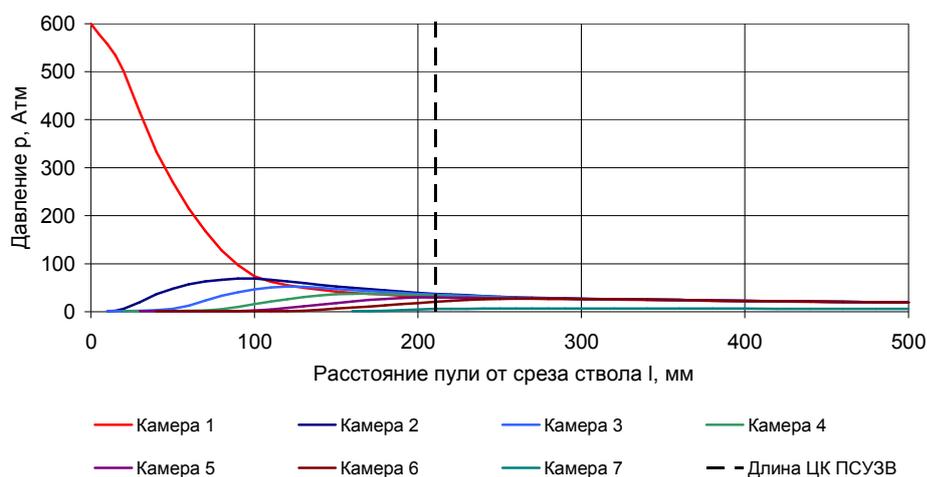


Рис. 2

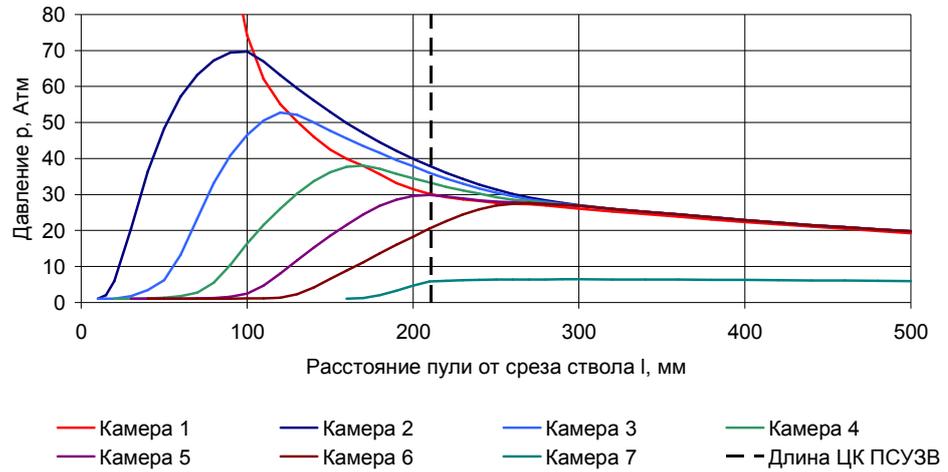


Рис. 3

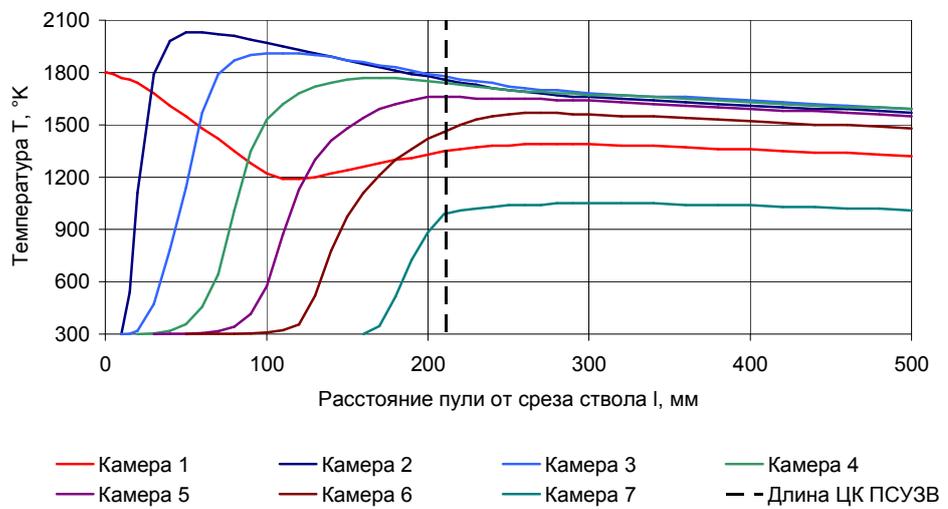
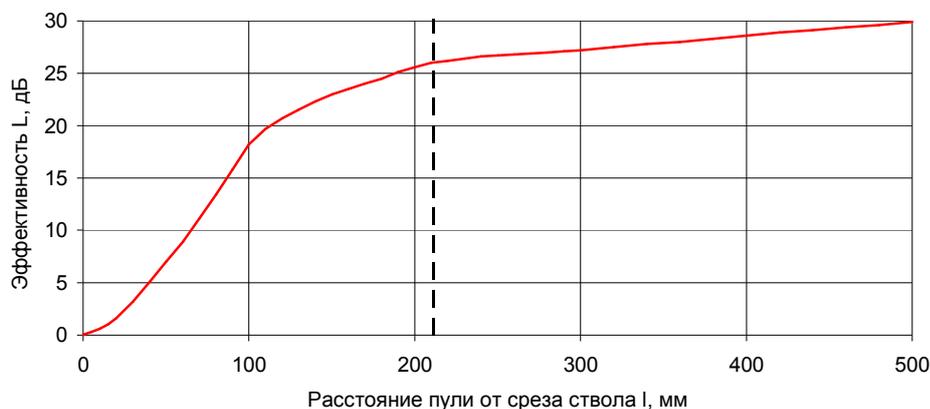


Рис. 4

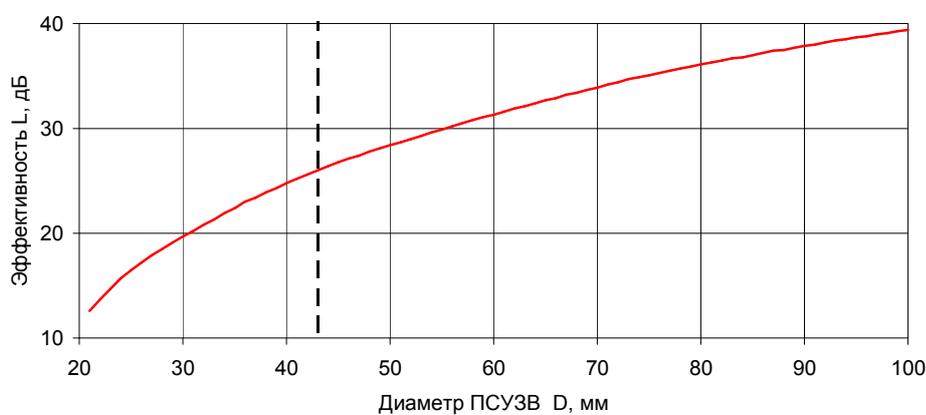


Рис. 5



— Эффективность — — Длина ЦК ПСУЗВ

Рис. 6



— Эффективность — — Диаметр ПСУЗВ

Рис. 7

Как следует из приведенных результатов использования модифицированной методики, эффективность снижения уровня звука выстрела ПСУЗВ-77 составляет  $\sim 26,0$  дБ.

Для определения достоверности полученных результатов проведены натурные испытания ПСУЗВ-77, в процессе которых измерялся уровень звука выстрела.

Испытания проводились одиночной стрельбой из автомата АК-74М в темное время суток при температуре окружающего воздуха  $+3^{\circ}\text{C}$ , использовался измеритель звукового давления Scosche SPL 1000, боеприпас  $5,45 \times 39$  7Н6.

Эффективность снижения уровня звука выстрела составила  $\sim 27,0$  дБ, что подтверждает работоспособность предложенной модифицированной методики.

Достоверность полученных по методике значений и характера изменений скорости пули, температуры и давлений в расширительных камерах, эффек-

тивность ПСУЗВ в зависимости от его длины и диаметра также могут быть получены в результате натурального эксперимента. Особенности такого вида исследований описаны, например, в [16].

Таким образом, разработанная методика определения эффективности снижения уровня звука выстрела многокамерными глушителями с рассекающими потоком оружейных газов сложной формы, дает возможность на этапе разработки получить информацию о влиянии изменения конструктивных элементов рассекателя на эффективность снижения уровня звука выстрела. Это позволяет создавать глушители, конструкция которых обеспечивает высокую эффективность при минимальной массе и приемлемой сложности.

Достоверность полученных по методике результатов подтверждена экспериментально.

1. Коновалов Н. А. Ручное огнестрельное оружие бесшумного боя. Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов. Проектирование и экспериментальная отработка / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик, Ю. А. Кваша, В. И. Коваленко. – Днепропетровск, НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2008. – 303 с.
2. Parker N.R. Firearm Suppressor Patents, Volume 1, USA, Boulder, Colorado, Paladin Press, 2004, 392 p.
3. Paulson Alan C. Silencer. History and Performance, Volume 1, Sporting and Tactical Silencers, USA, Boulder, Colorado, Paladin Press, 1996, 412 p.
4. Paulson Alan C., Parker N.R. and Peter G. Kokalis, Silencer. History and Performance, Volume 2, GQB, Assault Rifle, and Sniper Technology, USA, Boulder, Colorado, Paladin Press, 2002, 429 p.
5. Huebner Siegfried F. Silencers for Hand Firearms, USA, Paladin Press, 1976, 97 p.
6. Коновалов Н. А. 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
7. Коновалов Н. А. Математическая модель быстротекающих газодинамических процессов в приборах снижения уровня звука выстрела с учетом двумерности течения в канале прибора / Коновалов Н. А., Коваленко В. И., Лахно Н. И., Пилипенко О. В., Скорик А. Д. // Техническая механика, – 2005. – №1. – С. 77 – 88.
8. Кваша Ю. А. Математическая модель и методика расчета процесса заполнения газом камер приборов снижения уровня звука выстрела с учетом наполнителей / Ю. А. Кваша, Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик // Техническая механика, – 2005. – №2. – С. 137 – 146
9. Коновалов Н. А. Надульный расширительный многокамерный прибор снижения уровня звука выстрела стрелкового оружия с геликоидальным рассекателем-завихрителем потока оружейного газа. / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, Е. О. Пугач // Техническая механика, – 2009. – №1. – С. 152 – 155.
10. Патент 35470 Украины на полезную модель, МПК<sup>7</sup> F 41A 21/30, F 41A 17/00 Прилад зниження рівня звуку пострілу стрілецької зброї, Коновалов Н.А., Пилипенко О.В., Поляков Г.А., Пугач Е.О., Скорик А.Д., Чаплиц А.Д., заявитель и патентообладатель Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины. – u200803043, заявлено 11.03.08, опублик. 25.09.08. Бюл. №18.
11. Патент №4291610 США на изобретение, МПК<sup>7</sup> F 41L 21/18 Silencer for Firearms, Уолзер Саймон. – 24474, заявлено 19.04.1979, опубликовано 29.09.1981.
12. Патент №4576083 США на изобретение, МПК<sup>7</sup> F 41C 21/18 Device for Silencer Firearms, Себергер Освальд П., – 558375, заявлено 05.12.1986, опублик. 18.03.1986
13. Патент №4588043 США на изобретение, МПК<sup>7</sup> F 16K 47/12, F 16L 55/02 Sound Suppressor for Firearm, Финн Чарльз А., – 684350, заявлено 20.12.1984, опубликовано 13.05.1986.
14. Патент №5029512 США на изобретение МПК<sup>7</sup> F 41A 21/30 Firearm Muzzle Silencer, Латка Грегори С., – 509 186, заявлено 16.04.1990, опубликовано 09.07.1991.
15. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М. : Мир, 1982. – 520 с.
16. Шмидт. Измерение температуры пороховых газов в стволе пушки методом акустической термометрии. / Шмидт, Жион, Шьер // Ракетная техника и космонавтика, журнал Американского института аэронавтики и астронавтики. 1977. – Т. 15, №2. – С. 113 – 119.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск,  
ООО «Тактические системы»,  
Киев

Получено 04.03.09,  
в окончательном варианте 04.03.09