

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ ПОТОКУ ПОРОХОВИХ ГАЗІВ У ГЛУШНИКУ ШУМУ ПОСТРІЛУ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Подано результати дослідження процесу витікання порохових газів з дульної частини гвинтівки у порожнину глушника шуму пострілу, яке проводилося за допомогою пакетів обчислювальної газодинаміки. Метою дослідження є виявлення впливу геометричних особливостей конструкції глушника на його редуційну ефективність. Предметом дослідження є розподіл динамічного тиску потоку в першій камері глушника з урахуванням ефекту інтерференції потоку порохових газів.

Ключові слова: глушник, мембрана, постріл, редуція тиску, шум.

Сучасний стан досягнень у розробках глушників шуму стрілецької зброї можна зазначити як такий, що має значні здобутки. Існує достатньо розвинута система конструктивної типології глушників, що налічує значну кількість принципових схем ефективної організації глушіння звуку. Основними напрямками розвитку цих схем є конструкції об'ємного способу глушіння та відхиляючої дії. Останні 20 років дослідники сфокусували свою увагу на симбіоз цих напрямків та досягли значних результатів підвищивши редуційну здатність глушників до 25-29 дБ. Це достатній рівень щоб забезпечити безпеку органів слуху бійця, але не завжди достатній, щоб забезпечити йому необхідні маскувальні характеристики.

Окрім маскувальної функції глушник (пристрій) повинен мати максимально ефективні масо-габаритні показники для зручності його використання. З точки зору виробництва глушник має бути достатньо простим та високорентабельним, тому кожен виробник аналогічної продукції прагне зменшити масо-габаритні показники пристрою з ціллю збільшення свого прибутку. Постає питання наскільки можливо зменшити масо-габаритні показники глушника та водночас зберегти функціональну його ефективність.

Дослідженню процесу пострілу приділено достатньо значну частину наукових робіт, що висвітлюють газодинамічні процеси швидкоплинних явищ. Серед вітчизняних шкіл тематичного дослідження треба виділити науково-виробничу компанію "ІМКАС", Інститут технічної механіки НАНУ, ТОВ «AWS», які займаються дослідження ефекту Гартмана-Шпренгера, з конічними та сферичними мембранними елементами [1, 2]. Також певні дослідження проводяться в Одеському дослідному центрі ТОВ «Hamond» [3], що досліджують течію газів у модифікаціях конструкції глушника винайдену Хайрем Максимом. Серед іноземних компаній досить відомі виробники: GemTech [4], Silencer Co [5], що проводять дослідження з суцільно-корпусними конструкціями глушників для автоматичної стрілецької зброї.

Метою роботи є дослідження впливу геометричних особливостей конструкції глушника на редуційну ефективність, що визначає інтенсивність звукового фронту пострілу. Предметом дослідження є розподіл динамічного тиску потоку в першій камері глушника.

Процес глушіння шуму пострілу є динамічним та швидкоплинним явищем. Тому проблеми підвищення редуційних характеристик глушника слід поділити за категорією часу їх виникнення та означити три основні періоди гасіння шуму. Перший період – процес пікового гасіння потенціальної енергії потоку, відбувається до вильоту газів з глушника, другий – процеси заповнення глушника пороховими газами та підвищення статичного тиску у глушнику, третій – процес падіння ефективності глушника.

У зв'язку з широтою проблематики напрямку дослідження, у даній роботі розглянемо лише перший період гасіння шуму.

Досліджуючи перший період, необхідно означити наступну проблему. Факел потоку порохових газів на вильоті зі ствола має значну довжину високо-потенційної зони, на яку неможливо ефективно

вплинути застосовуючи конструктивні елементи глушника, наприклад, пластини або мембрани відхилення потоку. У той же час, саме гасіння тиску у перших камерах, де він є максимальним, задає тенденцію глушіння шуму у наступних камерах балансує між заповненням їх статичним тиском та кінетичними характеристиками потоку.

Існує спосіб редукції тиску, що базується на використанні вторинних хвиль інтерференції потоку, що утворюються після відбиття фронтальної хвилі порохових газів від стінок камери глушника. Першу камеру виконують порожньою на задану довжину та відділяють її від наступної фігурною мембраною у формі конуса або клину. Ефект інтерференційної дії працює наступним чином. Відомо, що розширюючись, периферійні шари потоку порохових газів рухаються швидше ніж у центральній його частині факелу, надалі ядрі потоку. Це пояснюється адіабатним його розширенням, при якому виникає відоме явище формування диску Маху [6, 7]. Відповідно периферійний потік випереджує ядро та першим досягає поверхні фігурної мембрани глушника, де відбувається зміна його напрямку на зворотній. Далі, відносно низько-потенційний розігнаний потік відбившись від мембрани вштовхується у високо-потенційний потік ядра, зменшуючи його осьову швидкість та додатково сприяючи його розширенню у радіальному напрямку. Явище взаємного проникнення швидкого потоку з меншим потенційним, але більшим кінетичним станом, у високо-потенційний потік з меншими кінетичними показниками означимо як ефект інтерференції потоку.

Дослідження проводиться за допомогою пакету обчислювальної газодинаміки використовуючи наступні параметри розрахунку:

Тип розрахунку за основою: Pressure-Based.

Тип розрахунку за часом: Transient.

Розрахунковий простір: 2D space: Planar.

Модель розрахунку: Energy, SST k-omega.

Робочий газ: повітря (ідеальний газ з кусково-поліноміальною залежністю зміни теплоємності від температури газу);

Граничні умови розрахунку:

Вхід: $P_{0tot}=610.99 \cdot 10^5 Pa$; $P_{0st}=306 \cdot 10^5 Pa$; $T_{0tot}=1639K$,

$P_{tot}=f(P_{0tot}, t)^*$; $P_{st}=f(P_{0st}, t)^*$; $T_{tot}=f(T_{0tot}, t)^*$,

– де t час процесу, * – експериментально визначені залежності.

– Вихід: $P_{gauge}=1 \text{ атм}$; $T_{tot}=300K$.

Схема розрахунку: Couple

– Gradient: least square cell based;

– Pressure: Second order;

– Density: Second order upwind;

– Momentum: Second order upwind;

– TK Energy: Second order upwind;

– Transient formulation: First order implicit.

Контрольні значення розрахунку:

– Число Куранта 0,5

– Фактори релаксації: момент 0,5; тиск 0,5;

– Допоміжні фактори релаксації: густина 1.0, сила 1.0, ТКЕ 0.8, коефіцієнт дисипації 0.8;

– Турбулентна в'язкість 1.0.

Початкові умови: метод – стандартна ініціалізація, відносні показники – відносно чарунок, $P_{gauge}=1 \text{ атм}$, $T_{tot}=300K$.

Розрахунок проводився на 300 тис. чарунок тетрагональної сітки. З постійним кроком за часом, що обраний за величиною $1e-08$. Критерій похибки сходження розрахунку $1e-04$.

Розрахунок був зупинений при досягненні $7.5e-04c$ загального дослідного часу процесу проходження порохових газів крізь глушник.

Проведені дослідження потоку встановили, що потік, розширюючись у периферійних зонах акумулює радіально спрямовану кінетичну енергію та відбивається від внутрішньої поверхні циліндричного кожуха глушника додатково створюючи ефект радіально-спрямованої інтерференції, що збиває потік у доцентровому напрямку формуючи конічну форму факелу (рис. 1).

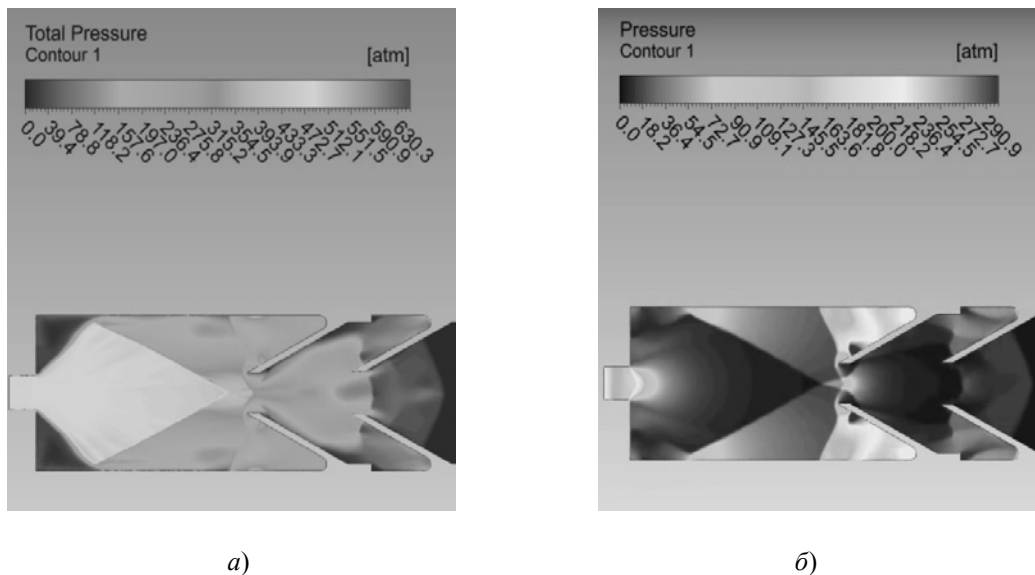


Рис. 1. Формування конуса факела в епожах повного (а) та статичного (б) тисків

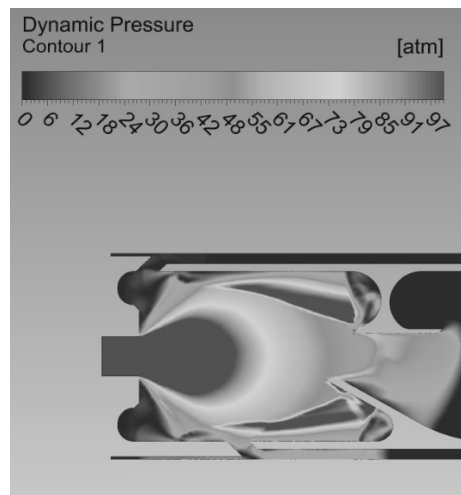


Рис. 2. Зображення усіченого конуса факела

На рисунку зображено варіант при якому довжина першої камери є достатньою для повного формування конуса факела потоку у момент проходження радіально спрямованої інтерференції до кульового отвору.

З рис. 1 видно, що розігнаний потік периферійних шарів факела частково пройшов до наступної камери. Це призвело до втрати можливості використати накоплену кінетичну енергію на розбиття ядра факела у першій камері.

Ряд додаткових досліджень з варіюванням довжини першої камери виявили, підвищення ефективності гасіння потоку за рахунок інтерференційної сили, якщо менша основа конусу факелу гранично рівна діаметру кульового отвору або дещо більша за нього (рис. 2). За цих умов шари розігнаного периферійного потоку не проходять до наступної розширювальної камери попередньо не відбившись від фігурної мембрани першої камери.

Зменшуючи довжину першої камери до утворення факелу форми усіченого конусу з величиною діаметра його меншої основи приблизно рівним величині кульового отвору, вдалося досягти подовження першого періоду редукції тиску до 40% (рис. 3) при однаковій загальній довжині глушника, тобто значно затримати порохіві гази у глушнику без застосування складних конструктивних рішень, що збільшують вагу глушника.

Дослідження, при яких було продовжено скорочення першої камери встановили, що тенденція підвищення ефективності редукції тиску змінюється на протилежну. Це пояснюється недостатністю

довжини камери для повного розкриття факелу, і отже перетікання процесу розширення у наступну камеру, де і будуть виникати умови для виникнення ефекту інтерференції. Фактично це означає подовження розширювальної камери до другої мембрани, що за аналогією схоже до варіанту глушника з довгою першою камерою.

Узагальнюючи результати дослідження слід відмітити особливе значення попереднього розрахунку довжини першої камери при проектуванні глушника. Незалежно від розробленої його конструкції, газодинамічні процеси пострілу значною мірою залежать від редуційної ефективності саме першої камери, оскільки в ній відбувається первинне найінтенсивніше розширення потоку, перетворення потенційної енергії тиску в кінетичну енергію руху.

Збільшення періоду протікання порохових газів у глушнику було досягнуто завдяки підвищенню ефективності використання ефекту інтерференції потоку, що дозволило максимально затримати потік у першій камері, тим самим створити умови для керованого процесу редуції тиску у наступних розширювальних камерах.

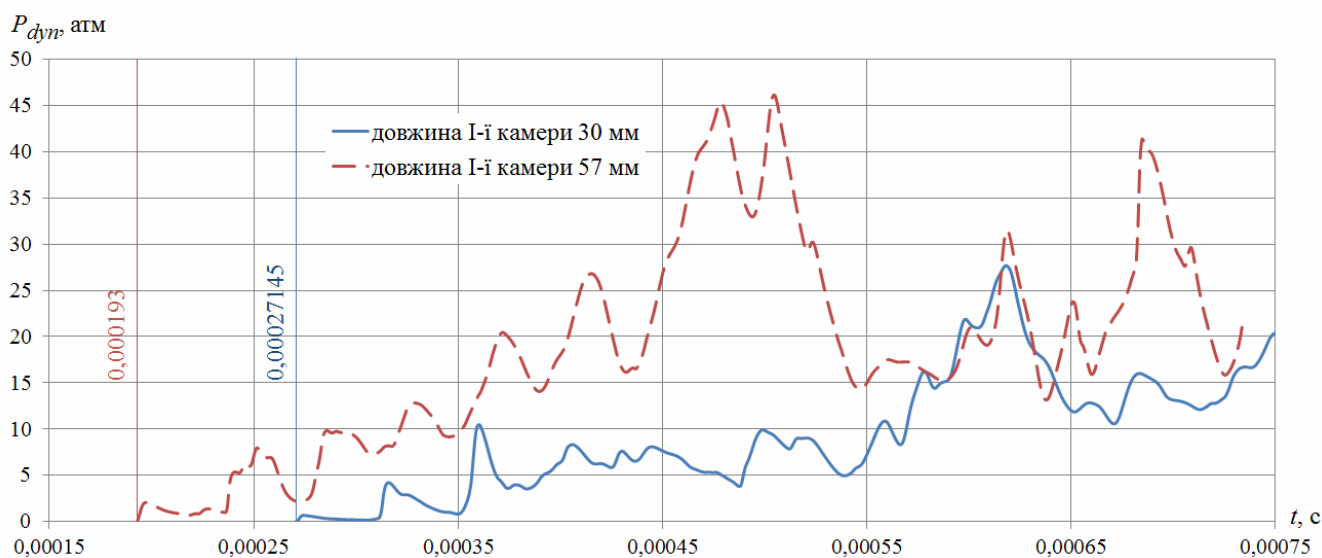


Рис. 3. Порівняльний графік зміни динамічного тиску за часом у вихідному кульовому отворі глушника при формуванні усіченого (—) та повного конуса (- -) ядра факела

У подальших дослідженнях планується дослідити другий період процесів заповнення глушника пороховими газами та підвищення статичного тиску у розширювальних камерах, що провокує появу ефекту зменшення ефективної довжини глушника. Даний ефект має особливий негативний вплив у глушниках відхиляючого типу.

Список використаних джерел

1. 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 : Институт технической механики НАНУ и НКАУ, 2008. — 303 с.
2. Проектирование прибора малошумной стрельбы методами численного моделирования / В. Л. Бучарский, К. Ю. Добринская, В. В. Сербин, А. В. Сичевой // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2009. — № 2. — С. 3–7.
3. Моделирование процессов течения газов в глушителях шума выстрела. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.hamondrifle.com/ru/modelirovanie>.
4. Pat. US 20140374189 A1 USA, Int. Cl.F41A 21/30. Sound Suppressor / N Blake Yong, Phillip H. Dater. — 14/311,526; Filed Jun. 23, 2014; Pub. Date: Dec 25, 2014. — 9 p.
5. Pat. US 007856914B2 USA, Int. Cl.F41A 21/00. Noise suppressor / Jonathon Shults, Steven Michael Pappasa. — 12/324,623; Filed Nov. 26, 2008; Pub. Date: Dec 28, 2010. — 11 p.
6. Шмидт Э. М., Горднер Р. Э., Фанслер К. С. Поле течения при вылете снаряда из ствола // «Аэрокосмическая техника». Материалы из журналов Американского института аэронавтики и астронавтики, тематический выпуск. Аэродинамика летательных аппаратов и их элементов. — Том 3, № 4, апрель. — 1985. — С. 126–128.
7. Левинсон Я. И. Аэродинамика больших скоростей (газовая динамика) / под ред. Б. Я. Шумяцкого. — М. : Государственное издательство оборонной промышленности, 1950. — 352 с.

Dmytro KOTLYAR, Dmytro VOLIK
Mykolaiv

STUDY OF THE INTERFERENCE EFFECT OF POWDER GASES FLOW IN THE SILENCER SUPPRESSOR FOR WEAPONS

Here are represented results of research of process of powder gases outflow from the rifle barrel to inner space of shot sound suppressor, which was held within usage of CFD packages. The goal of research is detection of influence of geometric features of suppressor on its sound reduction ability. Subject of research is distribution of dynamic pressure in first chamber of suppressor considering effect of interference of powder gases flow.

Key words: suppressor, membrane, shot, reduction of pressure, noise.

Дмитрий КОТЛЯР, Дмитрий ВОЛИК
г. Николаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПОТОКА ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ В ГЛУШИТЕЛЕ ШУМА ВЫСТРЕЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Представляются результаты исследования процесса истечения пороховых газов из дульной части винтовки в полость глушителя шума выстрела, которое проводилось с помощью пакетов вычислительной газодинамики. Целью исследования является определение влияния геометрических особенностей конструкции глушителя на его редуцирующую эффективность. Предметом исследования является распределение динамического давления потока в первой камере глушителя с учетом эффекта интерференции потока пороховых газов.

Ключевые слова: глушитель, мембрана, выстрел, редукция давления, шум.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016