

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 52 с., 10 табл., 23 рис., 10 джерел.

ГЛУШНИК, КОРПУС, ПЕРЕГОРОДКОВИЙ ЕЛЕМЕНТ, КАМЕРА, ПРИГЛУШЕННЯ, СТАЛЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

Об'єкт розробки – конструкція глушника для стрілецької зброї.

Мета роботи - розробка конструкції глушника, який забезпечить ефективне приглушення звуку пострілу.

В ході дипломного проекту розглядаються існуючі конструкції пристроїв для приглушення звуку пострілу, їхні конструктивні особливості та ефективність використання.

На аналізі існуючих рішень було запропоновано конструкція цільного глушника, який забезпечить максимальне приглушення звуку пострілу та має економічні переваги над конкурентними рішеннями.

До дипломного проекту входять робочі креслення та створена управляюча програма для верстата з ЧПУ.

## **ABSTRACT**

Explanatory note to the master's thesis: 103 p., 10 tables, 23 figures, 19 sources.

SILENCER, BODY, BAFFLE ELEMENT, CHAMBER, SILENCING, STEEL, TECHNOLOGICAL PROCESS, EFFICIENCY.

The object of development is the design of a silencer for firearms.

The purpose of the work is to develop a silencer design that will provide effective suppression of the sound of a shot.

In the course of the diploma project, the existing designs of devices for silencing the sound of a gunshot, their design features and efficiency of use are considered.

Based on the analysis of existing solutions, the design of a one-piece silencer was proposed, which will provide maximum silencing of the sound of a gunshot and has economic advantages over competitive solutions.

The diploma project includes working drawings and a control program for a CNC machine.

## ЗМІСТ

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                    | С. |
| РЕФЕРАТ .....                                                      | 4  |
| ABSTRACT .....                                                     | 2  |
| ЗМІСТ .....                                                        | 3  |
| ВСТУП.....                                                         | 4  |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....                                          | 5  |
| 1.1. Опис конструкції та принципу роботи АК-74.....                | 5  |
| 1.2. Особливості та вимоги до глушників для стрілецької зброї..... | 7  |
| 1.3. Аналіз існуючих конструкцій глушників для АК-74.....          | 11 |
| 1.4. Основні параметри проектування глушників.....                 | 19 |
| 2. ПРОЕКТУВАННЯ ГЛУШНИКА.....                                      | 26 |
| 2.1 Показники надійності конструкції.....                          | 26 |
| 2.2 Опис розробленої конструкції.....                              | 27 |
| 2.3 Вибір матеріалів .....                                         | 28 |
| 2.4 Технологічний процес виготовлення .....                        | 35 |
| 2.5 Оптимізація технологічного процесу .....                       | 37 |
| 2.6 Складання конструкції .....                                    | 42 |
| 2.7 Порівняння розробленої конструкції з існуючими .....           | 45 |
| ВИСНОВКИ.....                                                      | 47 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....                                     | 48 |

## ВСТУП

Останні роки головним завданням промислового комплексу України стало ефективне забезпечення сучасною зброєю та спорядженням фронтових частин та підрозділів. На сьогоднішній день, одним з найефективніших методів ведення сучасної війни стало застосування сил спеціальних операцій та диверсійно-розвідувальних груп. Такі підрозділи потребують спеціального спорядження для виконання поставлених завдань. Зазвичай, невід'ємним елементом такого спорядження є глушник.

Для конструювання сучасних приладів високої ефективності розроблено технічні вимоги до конструкції ПЗРЗП. В роботі описано 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, циліндричні.

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 уточнюється кількість розширювальних камер, конструкція перетворювача енергії порохових газів, вид перегородок, наявність та величина пере-ікання газів між камерами вздовж внутрішньої поверхні корпусу глушника.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1. Опис конструкції та принципу роботи АК-74

Найбільш помітна зовнішня відмінність автоматів серії АК-74 від попередників – це масивне дулове гальмо, що дозволяє знизити сильну віддачу. Це дозволяє поліпшити точність і купчастість стрільби, особливо швидкими одиночними пострілами і чергами. Недолік нового дулового гальма є те, що він направляє ударну звукову хвилю головним чином у сторони, і звук пострілу відчувається сусідами стрільця з боків.

Тактико-технічні характеристики АК-74 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Тактико-технічні характеристики

| № з/п | Найменування даних                                                                                                                                  | АК-74<br>(АК ТК)/<br>АКС -74         |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1     | Прицільна дальність, м                                                                                                                              | 1000                                 |
| 2     | Дальність прямого пострілу:<br>по грудній фігурі<br>по ростовій фігурі                                                                              | 440<br>625                           |
| 3     | Темп стрільби, пострілів за хвилину                                                                                                                 | 600                                  |
| 4     | Бойова швидкостріельність, пострілів за хвилину:<br>пострілами<br>при стрільбі чергами                                                              | 40<br>100                            |
| 5     | Початкова швидкість кулі, м/с                                                                                                                       | 900                                  |
| 6     | Дальність на якій зберігається убійна дія кулі, м                                                                                                   | 1350                                 |
| 7     | Обмежена віддаль польоту кулі, м                                                                                                                    | 3150                                 |
| 8     | Вага автомата без багнета, кг:<br>без спорядженого пластмасового магазину (*магазину з легкого сплаву)<br>зі спорядженим пластмасовим магазином (*) | 3,3 / 3,2<br><br>(~5,0)<br>3,6 / 3,5 |

Кінець таблиці 1.1

|    |                                                       |      |
|----|-------------------------------------------------------|------|
| 9  | Ємність магазину, набоїв                              | 30   |
| 10 | Вага пластмасового магазину (*), кг                   | 0.23 |
| 11 | Вага багнета, кг                                      |      |
|    | з піхвами                                             | 0.49 |
|    | без піхв                                              | 0.32 |
| 12 | Калібр, мм                                            | 5.45 |
| 13 | Довжина автомату (кулемету), мм                       |      |
|    | автомат з примкнутим багнетом та відкинутим прикладом | 1089 |
|    | автомат без багнета з відкинутим прикладом            | 940  |
|    | зі складеним прикладом                                | 700  |
| 14 | Довжина ствола, мм                                    | 415  |
| 15 | Довжина нарізаної частини ствола, мм                  | 372  |
| 16 | Кількість нарізів, шт                                 | 4    |
| 17 | Довжина ходу нарізів, мм                              | 200  |
| 18 | Довжина прицільно лінії, мм                           | 379  |
| 19 | Товщина мушки, мм                                     | 2    |
| 20 | Вага набою, г                                         | 10.2 |
| 21 | Вага кулі зі сталевим осереддям, г                    | 3.4  |
| 22 | Вага порохового заряду, г                             | 1.45 |

Калібр патрона який використовується в даному автоматі 7,62×39мм. Був створений як універсальний боєприпас, що підходить для стрільби як з автоматів, так і кулеметів і навіть гвинтівок. Боєприпас ефективно застосовується у військовій зброї та у цивільних мисливських карабінах.

Таблиця 1.2 - Характеристики патрона 7,62×39 мм

| Параметр                             | Значення    |
|--------------------------------------|-------------|
| Початкова швидкість кулі             | від 715 м/с |
| Оптимальний показник дульної енергії | 2200 Дж     |
| Маса патрона                         | до 20 г     |

Розробка нового калібру патрона 5,45 мм призвело до створення нового варіанту автомата - АК-74.

Основними нововведеннями в автоматі АК-74 стали:

- двокамерний дульний пристрій;
- масивне дульне гальмо підвищило точність і купність стрільби;
- перероблена автоматика дозволяє газовому поршню рухатися швидше;
- змінений кут зміщення у патроннику гільзи покращив зчеплення;
- більш масивна рама затвора при легкому затворі.

У результаті сучасний автомат АК-74 має такі технічні властивості і бойові характеристики:

- прицільна дальність стрільби – 1000 м;
- найбільш дієвий вогонь по наземним цілям – на дальності до 500м;
- темп стрільби близько 600 пострілів за хвилину;
- бойова скорострільність: при стрільбі чергами – до 100 пострілів хвилину; при стрільбі одиночними пострілами – до 40 пострілів за хвилину.

Також новий АК-74 має магазин із зміцненої пластмаси та завдяки новому дульному гальму збільшилася купність і точність бою.

## 1.2. Особливості та вимоги до глушників для стрілецької зброї

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.

Під час пострілу відбувається вибух порохових газів, що приводить до виникнення звуку пострілу. Використовуючи глушник ми маємо можливість зменшити рівень шуму, створеного пороховими газами. Щоб охарактеризувати

силу звуку в діапазоні, який сприймає наше вухо, використовують вимірну шкалу. Рівень звукового тиску за шкалою виражається в децибелах (дБ).

Децибел — це безрозмірна одиниця, заснована на десятковому логарифмі. При конструюванні глушників важливим показником є зміна рівнів звукового тиску: збільшення рівня на 10 дБ означає, що звуковий тиск зріс в 10 разів, на 20 дБ — в  $10 \times 10$ , тобто 100 разів, на 30 дБ — відповідно у 1000 разів.

Використовуючи шкалу децибел для вимірювання гучності звуку засноване на порівнянні інтенсивності звукового коливання спектрального складу з інтенсивністю гармонійного звукового коливання, яке має амплітуду звукового тиску, що дорівнює 20 мкПа, і наближено до відповідного порогу сприйняття звуку. Вимір рівня звукового тиску розподіл, зміну інтенсивності різних частот в часі здійснюється спеціальними пристроями – звуковим аналізатором.



Рисунок 1.1 – Звуковий аналізатор

Крім того, рівень звукового тиску залежить від розташування точки вимірювання відносно ствола тестової зброї.

Глушники корисно застосовувати в людних місцях для зменшення психологічного впливу на громадян.

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.

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.

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 ускладнює 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 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, дозвукові боєприпаси тощо).



Рисунок 1.2 – Конструкція ПБС-1

З 1994 до 2021 рік ІТМ НАНУ і ДКАУ розробив понад 300 різних глушників за різними конструктивними схемами.

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

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

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.

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.

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: розробили і оптимізували уніфіковані ефективні конструкції глушників

звуку пострілу стрілецької зброї для груп стрілецької зброї, об'єднаних за призначенням, калібром і типом боєприпасу, 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 перетворювачі 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.

### 1.3. Аналіз існуючих конструкцій глушників для АК-74

Основними конструктивними елементами перетворення енергії газів пострілу, що забезпечують ефективне зниження рівня звуку глушниками, є перегородки, встановлені в порожнині корпусу, які утворюють ряд розширювальних камер і визначають протікання термогазодинамічних процесів в глушнику.

Використовуються перегородкові елементи різних форм та конструкцій:

- плоскі та конічні поверхні;
- клинові розсікачі-завихрювачі;
- гелікоїдальні конструкції;
- складні складові перетворювачі;
- сферичні тонкостінні перегородки з центральними отворами для прольоту кулі, які всередині і між собою утворюють розширювальні камери.

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  $30^{\circ}$  –  $60^{\circ}$  (можуть бути щілинні отвори – фрезовані).

Переважа надається перегородкам без отворів, вони можуть бути плоскими, конічними, напівсферичними і ін.

Аналітичний огляд патентів на конструкцію глушників розглянуто далі.

Перегородкові елементи сферичної форми використовуються рідко (порівняно, наприклад, з плоскими або конічними перегородками). Основні схеми їхньої компоновки в порожнині корпусу представлені на рисунку 1.3.

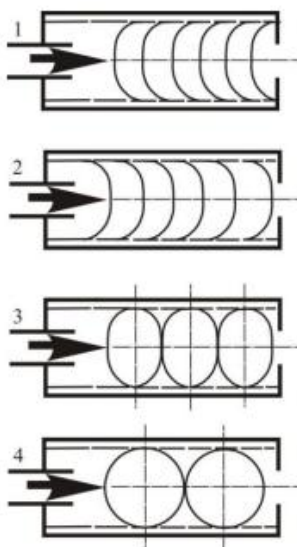


Рисунок 1.3 - Перегородкові елементи сферичної форми

Сферичні перегородкові елементи встановлюються в порожнині корпусу вершинами проти напрямку або за напрямом стрільби, утворюють двоопуклі лінзоподібні елементи або повні сфери.

Перший відомий глушник зі сферичними перегородковими елементами описаний у патенті США № 959.400 з пріоритетом від 24.05.1910 року, виданому J. H. Stinson.

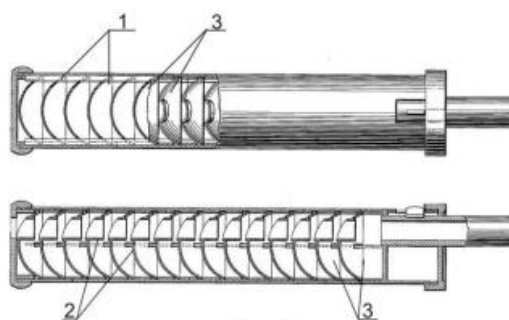


Рисунок 1.4 - Глушник зі сферичними перегородковими елементами за патентом № 959.400

Він включає однотипні сферичні перегородкові елементи 1, які опуклою частиною орієнтовані в напрямку стрільби, у кожному з них в отворі для прольоту кулі встановлені трубчасті елементи 2, які формують потік газів у розширювальних камерах 3, утворених двома суміжними сферичними перегородками.

Роботу цього глушника можна описати наступним чином: при пострілі з гвинтівки, оснащеної цим глушником, порохові гази, що спрямовуються назовні, гальмуються в послідовних точках за допомогою опуклих головок, і їх напрямок змінюється з руху вперед до закручується руху назад, що зменшує швидкість газів і дозволяє зменшувати швидкість газів поступово виходити без якогось значного звуку.

Глушник звуку пострілу за патентом США № 1.854.974 з пріоритетом від 29.11.1930 (рис. 1.5) не має традиційного для глушника пострілу корпусу і являє собою чотири сферичні перегородкові елементи 1, скріплених стержнями 2.

Випуклою стороною проти напрямку стрільби, а на зрізі ствола встановлений базовий конструктивний елемент 3 з вузлом кріплення до ствола зброї, в якому виконана сферична розширювальна камера 4 і до якого через три стрижні 2 кріпляться чотири сферичні перегородкові елементи. Передні сфери конструктивних елементів спрофільовані щодо задніх попередньої перегородки так, що радіальний переріз простору між ними зменшується до периметру кілець.

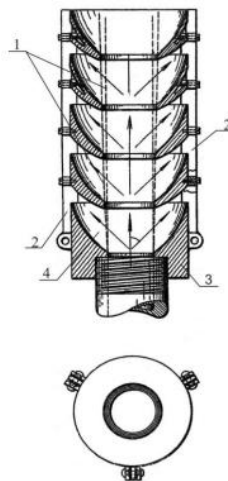


Рисунок 1.5 - Глушник звуку пострілу за патентом № 1.854.974

Перегородкові елементи сферичної форми використовуються й у конструкції глушника за заявкою РСТ/ЕР 2013/058451 від 24.04.2012 (WO 2013/160330 A1) (рис. 1.6).

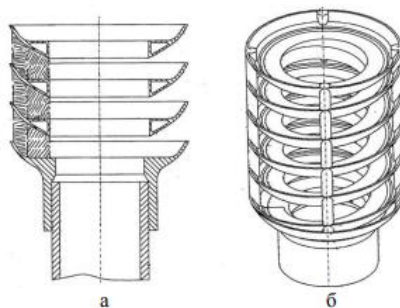


Рисунок 1.6 - Глушник звуку пострілу за патентом США РСТ/ЕР  
2013/058451

Він також не має традиційного корпусу і від описаного раніше глушника відрізняється, по суті, тільки конструктивним виконанням розсікача (перетворювача) енергії порохових газів. Проміжки зменшуються у напрямку до зовнішніх кінців, але найменша вільна площа проміжків має бути більшою, ніж площа поперечного перерізу каналу стовбура.

Глушник за патентом Франції № 864.735 з пріоритетом від 10.04.1940 (рис. 1.7) включає перегородкові елементи 1, причому кожна перегородка або чашка має вигнуту форму у напрямку до вогнепальної зброї, перешкоджає вібраціям цих перегородок.

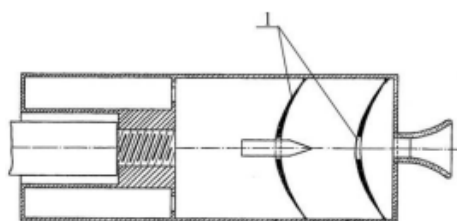


Рисунок 1.7 - Глушник за патентом Франції № 864.735

Патентом передбачені різні модифікації базового варіанта глушника (кількість камер, перегородок та їх взаємне розташування) залежно від вогневої потужності зброї (енергії боєприпасу), з якою використовується глушник. Також можна модифікувати форму перегородок відповідно до потреб ефективного використання глушника.

Використовуються перегородкові елементи в глушнику за патентом № 4.907.488 з пріоритетом від 29.03.1988 (рис. 11.8).

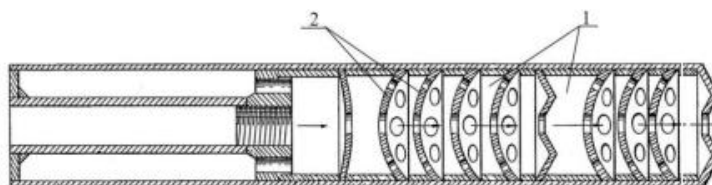


Рис.1.8 - Глушник за патентом № 4.907.488

Надульна частина глушника складається з декількох камер 1 і напівсферичних екранів 2 (перегородок), які направляють частину газів і звукових хвиль інакше від основних газів і звукових хвиль, більш довгий шлях. Потім вони сходяться у розширювальній камері. Дві хвилі з несхожими фазами стикаються і гасять один одного.

Відстань між напівсферичними екранами передбачена така, що звук пострілу повинен трансформуватися в ультразвук. Використання напівсферичних екранів з центрально розміщеними отворами та отворами на зовнішній частині цих екранів у глушнику за цим патентом характерно тим, що хвилі газу та звуку, проходячи через центральний отвір глушника, наштовхуються на суміжну з центральним отвором поверхню, оскільки вона майже перпендикулярна осі таким чином, хвилі газу та звуку перенаправляються назад під кутом, майже перпендикулярним цій поверхні, а відхилена хвиля вдаряється об поверхню поверненого вперед суміжного екрана.

Напівсферична поверхня перегородок забезпечує таку конструкцію глушника, при якій необхідна затримка в часі для зміни фази тиску досягається в конструкції менших розмірів, ніж для перегородок іншої форми.

Описані принципи роботи глушника та конструкція перегородкових елементів використані також у технічному рішенні за Європейським патентом EP 2615 403A2 (за заявкою № 1315 04243 від 07.01.2013) (рис. 1.9).

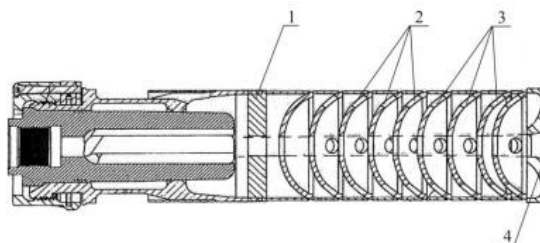


Рисунок 1.9 - Глушник за Європейським патентом EP 2615 403A2

У корпусі глушника перед зрізом ствола встановлений плоский зміцнений дисковий перегородковий елемент 1 з отвором для прольоту кулі, а за ним у напрямку пострілу – сферичні перегородкові елементи 2, у кожному з яких

виконані по чотири дренажних отвори 3. Корпус глушника замикається переднім фланцем профіль внутрішньої поверхні, що забезпечує створення зустрічного потоку газів основного потоку.

Сферичні перегородкові елементи також використовуються у глушнику за заявкою США (pub. us.2007/0266 844A1) з пріоритетом від 26.02.2007 (рис. 1.10).

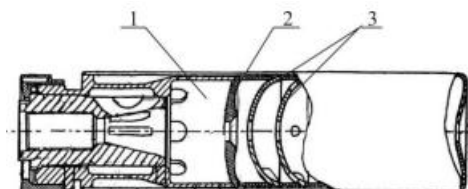


Рисунок 1.10 - Глушник за патентом США pub. us.2007/0266 844A1

На вході в глушник (після полум'ягасника) утворена розширювальна камера 1, на виході з якої встановлений зміцнений конструктивний перегородковий елемент, виконаний у вигляді частини сфери 2, опуклою стороною повернутою до зрізу стовбура, який сприймає основне термогазодинамічне навантаження і за яким потік газу стає трансзвуковим). За ним розташовано кілька сферичних перегородкових елементів з отворами для прольоту кулі та перетікання газу з камери в камеру 3.

Використовуються перегородкові елементи зі сферичною поверхнею у технічному рішенні, описаному у W0 2014/120 401A2 за заявкою № PCT/US 2014/010668 від 08.01.2014 (рис. 1.11).

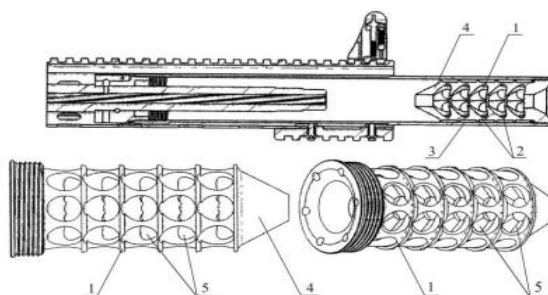


Рисунок 1.11 - Перегородкові елементи зі сферичною поверхнею за заявкою № PCT/US 2014/010668 від 08.01.2014

Розширювач перетворювач енергії порохових газів виконаний у вигляді блоку перегородок 1, що мають сферичні поверхні 2, встановленого на виході з корпусу глушника 3. Перший перегородковий елемент блоку 4 виконаний конічним, а наступні сферичні поверхні, звернені опуклістю до зрізу стовбура і перфоровані отворами 5.

Аналіз конструкцій і характеристик глушників звуку пострілу стрілецької зброї показує, що в їх розвитку зберігаються принципи, закладені в конструкції ПБС-1, використовуються прості та надійні технічні рішення (етажерчасті, конічні, плоскі похилі еліптичні розсікачі-завихрювачі порохових газів, традиційні матеріали).

За кордоном існує значна кількість фірм-розробників та виробників глушників звуку пострілу стрілецької зброї: Advanced Armament Corporation, AWS Systems Technology, Bowers, De Croat Tactical Armaments, Gemtech, Knight's Armament Company, Opsine, Sure Fire, SWR, Tactical Innovation, HTG, Yankee Hill Manufacturing (YHM) – США, Ase Utra, BR Reflex (Фінляндія), Brügger & Thomet AG (Швейцарія), Hausken Lyddemper (Норвегія), SAI-Small Arms (Данія), Hushh Sound Moderators (Нова Зеландія).

Незважаючи на різноманітність і часом екзотичність запатентованих конструкцій глушників звуку пострілу стрілецької зброї, фірми-розробники застосовують глушники простої і надійної конструкції, в конструкції глушників використовуються нержавіючі сталі 303 і 304, титанові сплави Grades 5,9, сплав. Практично не використовуються нелеговані вуглецеві сталі та сплави алюмінію. Радикальних змін у пристрої глушників не спостерігається, а деякі мають ретро-конструкції. Використовується профіль внутрішньої поверхні корпусу глушника як простий, недорогий і дієвий засіб підвищення ефективності його роботи.

В Україні розробляються, виготовляються та використовуються переважно глушники власної розробки, імпорт глушників закордонного виробництва незначний.

Ефективність глушників забезпечується технічними рішеннями, що ґрунтуються на всебічному аналізі та обліку особливостей термогазодинамічних процесів, що протікають у порожнині корпусу глушника.

З робіт з удосконалення конструкції глушників значну актуальність у практичному плані мають:

- розробка (модернізація) уніфікованих конструкцій для різних типів ручної вогнепальної зброї, згрупованих за призначенням, калібром та енергетикою боєприпасів, що застосовуються;
- проведення комплексу натурних випробувань (стрільб) з вимірюванням характеристик (температури, тиску), а також візуалізацією процесів, що проходять в корпусах глушників і на їх виході.

Фактично, стоїть завдання оптимізації уніфікованих конструкцій глушників звуку пострілу для груп зброї найпоширеніших калібрів (5,45; 5,56 і 7,62 мм).

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

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

#### 1.4. Основні параметри проектування глушників

У разі проектування глушників, що мають боєприпас з великою енергією пострілу, для отримання прийнятних значень ефективності зниження рівня звуку пострілу доводиться ускладнювати пристрій внутрішніх елементів конструкції глушника, для перетворення енергії порохових газів в теплову і зменшення рівня генерованого звуку. Для цієї мети використовуються, конструкції, що містять

спіральні поверхні або розсікачі, що мають набір конструктивних елементів складної форми.

При розробці конструкцій таких глушників і попередньою оцінкою їх ефективності потрібно, щоб теоретична методика оцінки приладів мала зниження рівня звуку пострілу, заснована на використанні ряду спрощень. Параметри газу в кожній камері від моменту входу кулі в прилад до моменту виходу з нього є постійними за обсягом камери, та змінними в часі.

В центральній трубці швидкість газу прийнята рівною швидкості кулі, в камерах - рівною нулю.

Для розрахунку параметрів розглянутого нестационарного процесу використовується система звичайних диференціальних рівнянь, отримана в результаті застосування законів збереження маси і енергії до обсягу газу в кожній камері приладу з урахуванням перетікання газу через отвори в стінках камер:

$$\frac{du_{ij}}{dt} = f_{ij}, i = 1, 2, \dots, 5, j = 1, 2, \dots, N \quad (1.1)$$

де  $N$  - загальне число камер (при нумерації камер номер 1 відповідає камері змінного об'єму, що об'єднує канал ствола зброї і частина центральної трубки до кулі);

$t$  - час;

$u_{1j}, \dots, u_{4j}$  , - щільність, тиск, температура і швидкість газу в  $j$ -й камері;

$u_{5j}$  - обсяг  $j$ -й камери.

При заданих початкових значеннях система рівнянь (1.1) інтегрується за часом методом Ейлера. Після інтегрування ефективність роботи приладу визначається з використанням загального виразу:

$$E = 20 \lg \frac{p_1(t^*)}{p_1(0)} \quad (1.2)$$

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 методики, що обмежує її точність, є припущення про сталість параметрів потоку у всьому обсязі кожної камери приладу. У той же час камери можуть мати значну довжину і містити різні внутрішні конструктивні елементи, наприклад шнек.

У зв'язку з цим в даній роботі використовується модифікація методики, яка полягає в наступному. Довгі камери приладу, а також камери, що містять внутрішні конструктивні частини, пропонується розбивати на послідовно розташовані елементи і враховувати перетікання газу через межі між елементами. Якщо розбити камеру на три елементи з номерами 3, 4, 5, то слід додатково поставити "отвори" площі  $S$  між елементами 3 і 4, 4 і 5:

$$S = \pi(R^2 - r^2) \quad (1.3)$$

де  $R, r$  - відповідно радіуси периферії і втулки проточної частини камери.

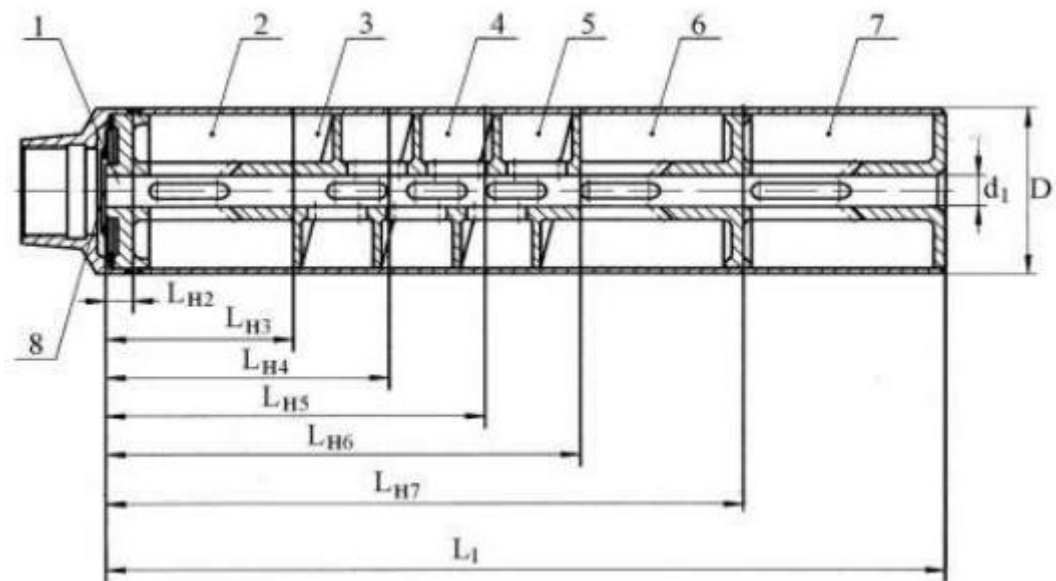
Якщо в даній камері розташований шнек, то площі "отворів" з урахуванням перетікання газу уздовж лопаті шнека можуть бути обчислені за наближеною формулою:

$$S = s_{\text{ш}}(R - r) \quad (1.4)$$

де  $S_{\text{ш}}$  - крок гвинтової лінії лопаті шнека.

Застосування запропонованої модифікованої методики дозволить на етапі розробки визначити ймовірний ефективність зниження рівня звуку пострілу глушником з розсікачами збройових газів складної форми. Зовнішній вигляд

розсікача з спіральною поверхнею в середній частині і схема для розрахунку характеристик ПСУЗВ77 наведені на рис.1.12.



1 - камера(центральный канал); 2,6,7 - розширювальна камера; 3,4,5 - розширювальні камери у вигляді шнека; 8 - початок центрального каналу(зріз стволу);  $L_{H2}$ -  $L_{H7}$  - відстань від зрізу стволу до початку розширювальних камер 2-7;  $L_{H1}$  - довжина центрального каналу(камери 1);  $d_1$  - діаметр центрального каналу;  $D$  - діаметр

Рис.1.12 – схема для розрахунку характеристик ПСУЗВ-77

ПСУЗВ-77 відноситься до глушників «камерного» типу, що складається з центрального каналу і декількох розширювальних камер. При побудові схеми для розрахунку характеристик центральний канал (ЦК) позначається камерою номер один. Розширювальні камери, що примикають до центрального каналу, мають нумерацію, починаючи з другої в напрямку від зрізу ствола. За формою виконання внутрішніх частин розсікача конструкцію ПСУЗВ можна розбити на камери: від плоскої перегородки, яка стикається із зрізом стовбура і не має перепускних отворів, до гелікоїдального елемента; гелікоїдальний елемент, який

має перепускні отвори з сусідніми камерами по його межах; від гелікоїдального елемента до плоскої перегородки; остання камера, обмежена плоскими перегородками, що не мають перепускних отворів.

Користуючись модифікованою методикою для розрахунку параметрів на більшій кількості ділянок, кожену камеру можна розбити на будь-яку кількість складових камер. У нашому випадку доцільно гелікоїдальний елемент розбити на три умовні камери. Таким чином, розрахункова схема ПСУЗВ-77 містить шість розширювальних камер: від 2 до 7. Кожна з них має перепускні отвори, сполучені з центральним каналом.

Конструктивні схеми ефективних ПСУЗВ зі сферичними перегородковий елементами розроблені на основі глибокого патентноінформаційного пошуку, теоретичних розрахунків і натурних випробувань варіантів конструкцій глушників.

Розширювальна камера на вході порохових газів пострілу в порожнину корпусу забезпечує найбільш ефективне перетворення енергії тому, що тиск і температура газів на зрізі стовбура при пострілі мають найбільші величини, і їх трансформація практично не залежить від того, розміщені чи ні будь-які конструктивні елементи на вході в порожнину корпусу. Цей доведений теоретично факт привів до висновку: від 25 до 30 відсотків обсягу порожнини корпусу на вході в неї порохових газів пострілу може бути вільним від будь-яких конструктивних елементів, що практично не впливає на характеристики глушника. На виході з першої розширювальної камери необхідно встановити конструктивний елемент, який би ефективно знижував швидкість порохових газів пострілу до трансзвукової (дозвукової). Осьова сила при обтіканні тіла обертається дорівнює:

$$X_p = C_x * (q_\infty * S_{mid}) \quad (1.5)$$

де  $C_x$  - повний коефіцієнт осьової сили;

$q_\infty$  - швидкісний тиск незбуреного потоку;

$S_{mid}$  - площа обтічного тіла.

При трансзвукових швидкостях (число Маха не більше 1) коефіцієнти осьової сили для конуса і сфери майже рівні, але при переході до надзвукових швидкостей коефіцієнт опору сфери збільшується в два рази, а конуса - від 7 до 8 разів.

Можна виділити три основні форми перегородкових елементів ПСУЗВ: сферичні, конічні і плоскі. ці елементи мають однакову площу основи, утворену внутрішнім діаметром корпусу глушника. Плоска конфігурація перегородки має таку саму площу, як основи півсфери і конуса:

$$S_i = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1.6)$$

де  $S_o$  - площа поверхні плоскої перегородки.

$D$  - діаметр основи.

Площа бічної поверхні конуса:

$$S_k = 1,41 * \frac{\pi D^2}{4} \quad (1.7)$$

де  $S_k$  - площа бічної поверхні конуса.

Площа поверхні півсфери:

$$S_{псф} = 2 * \frac{\pi D^2}{4} \quad (1.8)$$

де  $S_{псф}$  - площа поверхні півсфери.

З формул випливає, що співвідношення площ перегородок 1: 1,41: 2,0, тобто площа поверхні напівсферичної перегородки в 2 рази більше, ніж площа

плоскої перегородки, і в 1,41 рази більше, ніж площа бічної поверхні конічної перегородки.

Ці співвідношення дозволяють зробити висновок про те, що півсфери забезпечують найбільш ефективне використання обсягів розширювальних камер ПСУЗВ, забезпечують турбулізацію потоку, формування і зіткнення струменів порохових газів, організацію зустрічного потоку в безпосередній близькості від отвору глушника. Перегородкові елементи сферичної форми використовуються рідко (по порівняно, наприклад, з плоскими і конічними перегородками).

Також були проведені експериментальні випробування на полігоні, які підтверджують ефективність використання різних перегородкових елементів.

## 2. ПРОЕКТУВАННЯ ГЛУШНИКА

### 2.1 Показники надійності конструкції

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 купності 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.

Вимоги до конструкції також включають наступні характеристики:

- ефективне розподілення та гасіння звуку за рахунок оптимальної конструкції камер;
- надійний та легкий механізм кріплення сумісний із різьбою ствола АК-74;
- легкість у розбиранні, чищенні та стійкість до зносу;
- дизайн повинен відповідати військовим стандартам зовнішнього вигляду та камуфляжу.

## 2.2 Опис розробленої конструкції

Патентний огляд та аналіз існуючих конструкцій показав, що найбільш доцільним типом меж камерних перегородок є перегородки конусного типу (рисунок 2.1 б).

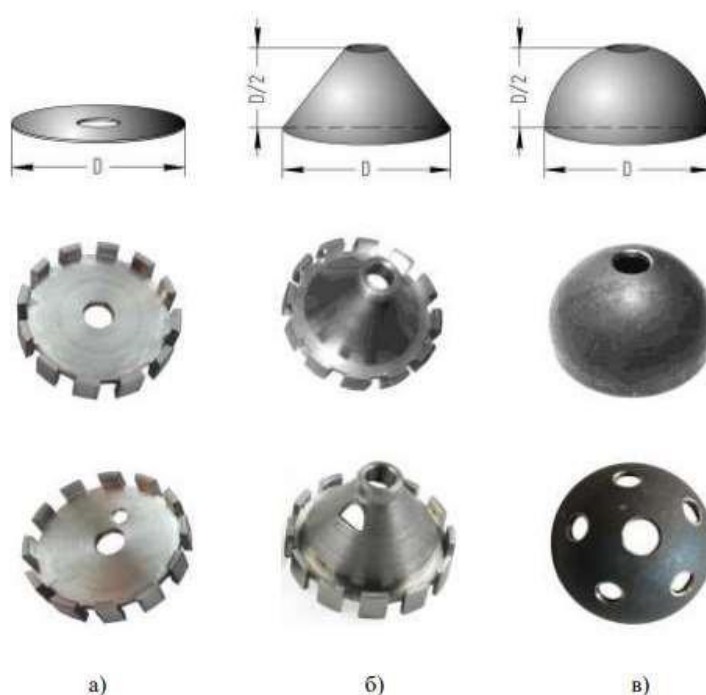


Рис.2.1 – Ескізи міжкамерних перегородок

Конструкція камер повинна забезпечувати ефективне розподілення та гасіння звуку за рахунок оптимізованої конструкції камер.

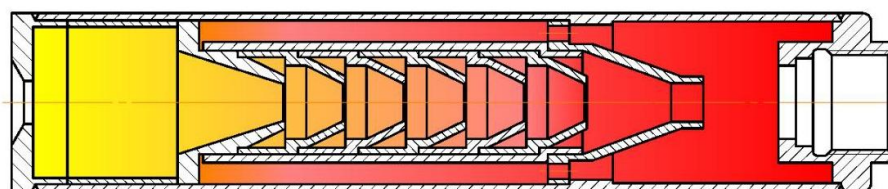


Рисунок 2.2 – Конструкція розробленого глушника

Вхідна камера (червоний колір): ця велика камера призначена для первинного прийому високотемпературних газів, що виходять зі ствола. Вона діє як розширювальний резервуар, що дозволяє газам розширюватися і охолоджуватися перед подальшим проходженням через глушник.

Серія перегородок (штриховка): конусоподібні перегородки, є частиною конструкції, що використовується для спрямування, розширення та гасіння газового потоку. Їх форма та розташування розроблені таким чином, щоб зменшувати тиск газів та знижувати шум, створюваний при вистрілі.

Бафли або конічні секції (помаранчеві та червоні): ці компоненти мають на меті подальше гасіння тиску та шуму шляхом створення турбулентності та взаємодії з газовим потоком, що збільшує час їх розширення та охолодження.

Завершальна камера (зазвичай помаранчева): Завершальна частина глушника зазвичай працює як остання стадія гасіння тиску. Тут гази мають найнижчий тиск перед виходом із глушника.

## 2.3 Вибір матеріалів

До матеріалу з якого виготовляються глушники висуваються наступні вимоги які наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги до матеріалу глушника

| Характеристика                  | Вплив характеристики на експлуатацію                                                                                                                      |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Стійкість до високих температур | Глушники піддаються високим температурам від викидів газів при стрільбі. Матеріали повинні витримувати ці температури без деформації або втрати міцності. |

Кінець таблиці 2.1

|                      |                                                                                                                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Корозійна стійкість  | Умови використання можуть включати вологість, сіль (морське середовище) та інші корозійні чинники. Важливо вибирати матеріали, які володіють високою корозійною стійкістю. |
| Міцність та легкість | Легкі сплави можуть зменшити загальну вагу зброї, але не повинні поступатися в міцності.                                                                                   |

Виходячи з перелічених вимог в якості матеріалу для глушників використовують наступні сталі та сплави:

- Нержавіюча сталь: цей матеріал також популярний у виробництві глушників, оскільки він забезпечує хорошу баланс між міцністю, стійкістю до корозії і вартістю.
- Алюмінієві сплави: легкість алюмінію може бути корисною для деяких частин глушника, але цей матеріал менш стійкий до високих температур та зносу.
- Кераміка та композити: ці матеріали можуть використовуватися для спеціальних компонентів глушника, де необхідні особливі властивості, такі як теплоізоляція.

Враховуючи вимоги до конструкції та економічну доцільність, в якості матеріалу було обрано нержавіючу сталь.

Нержавіюча сталь може бути легко оброблена для створення необхідних конструкційних елементів глушника. Вона також добре піддається зварюванню, що є важливим для виготовлення складних конструкцій. У порівнянні з більш спеціалізованими матеріалами, такими як титан або високотехнологічні композити, нержавіюча сталь зазвичай доступніша і менш вартісна, що робить її більш раціональним вибором для масового виробництва. Поверхня деталей з

нержавіючої сталі може бути оброблена великою кількістю способів для досягнення різноманітних естетичних ефектів, включаючи камуфляжні покриття.

Приклади марок нержавіючої сталі, що використовуються для виготовлення глушників наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Марки нержавіючих сталей для глушників та їх параметри.

| Марка сталі                  | Параметри                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Серія 300 (Аустенітні сталі) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 304<br>(UNS S30400)          | <p>Цей тип є одним з найбільш розповсюджених. Він має хорошу корозійну стійкість та легко обробляється.</p> <p>Хімічний склад: (Cr):18-20%; (Ni): 8-10.5%; (C): <math>\leq 0.08\%</math>; (Mn): <math>\leq 2.0\%</math>; (Si): <math>\leq 1.0\%</math>; (P): <math>\leq 0.045\%</math>; (S): <math>\leq 0.03\%</math>; (Fe): решта.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа плинності (0,2% деформації): <math>\geq 205</math> МПа</li> <li>- Межа міцності на розрив: 515–735 МПа</li> <li>- Відносне подовження: <math>\geq 40\%</math></li> <li>- Твердість (за Брінеллем): <math>\leq 201</math> НВW</li> <li>- Густина: <math>8.0 \text{ г/см}^3</math></li> <li>- Температура плавлення: 1400–1450°C</li> <li>- Питома теплоємність: 500 Дж/(кг·К)</li> <li>- Коефіцієнт теплового розширення (у діапазоні 0...100°C): <math>16.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}</math></li> </ul> |
| 316<br>(UNS S31600)          | <p>Краща корозійна стійкість у порівнянні з 304.</p> <p>Хімічний склад: (Cr): 16-18%; (Ni): 10-14%; (Mo): 2-3%; (C): <math>\leq 0.08\%</math>; (Mn): <math>\leq 2.0\%</math>; (Si): <math>\leq 1.0\%</math>; (P): <math>\leq 0.045\%</math>; (S): <math>\leq 0.03\%</math>; (Fe): Решта</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа плинності (0,2% деформації): <math>\geq 205</math> МПа</li> <li>- Межа міцності на розрив: 515–690 МПа</li> <li>- Відносне подовження: <math>\geq 40\%</math></li> <li>- Твердість (за Брінеллем): <math>\leq 217</math> НВW</li> <li>- Густина: <math>8.0 \text{ г/см}^3</math></li> <li>- Температура плавлення: 1375–1400°C</li> <li>- Питома теплоємність: 500 Дж/(кг·К)</li> <li>- Коефіцієнт теплового розширення (у діапазоні 0–100°C): <math>16.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}</math></li> </ul>                                               |

## Продовження таблиці 2.2

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AISI 310S                                | <p>Ця сталь відрізняється високою стійкістю до окислення при високих температурах.</p> <p>Хімічний склад: (Cr):24-26%; (Ni):19-22%; (C):<math>\leq 0.08\%</math>; (Mn):<math>\leq 2.0\%</math>; (Si):<math>\leq 1.5\%</math>; (P):<math>\leq 0.045\%</math>; (S):<math>\leq 0.03\%</math>; (Fe): Решта</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Межа плинності (0,2% деформації): <math>\geq 205</math> МПа</li> <li>– Межа міцності на розрив: 515–730 МПа</li> <li>– Відносне подовження: <math>\geq 40\%</math></li> <li>– Твердість (за Брінеллем): <math>\leq 225</math> HBW</li> <li>– Густина: 7.9 г/см<sup>3</sup></li> <li>– Температура плавлення: 1398–1420°C</li> <li>– Питома теплоємність: 500 Дж/(кг·К)</li> <li>– Коефіцієнт теплового розширення (у діапазоні 0–100°C): <math>16.1 \times 10^{-6}</math> /°C</li> </ul>                                                                                                  |
| Серія 400 (Феритні та Мартенситні сталі) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 430<br>(UNS S43000)                      | <p>Феритна сталь із хорошою корозійною стійкістю та магнітними властивостями.</p> <p>Хімічний склад: (Cr): 16-18%; (C): <math>\leq 0.12\%</math>; (Mn): <math>\leq 1.0\%</math>; (Si): <math>\leq 1.0\%</math>; (P): <math>\leq 0.04\%</math>; (S): <math>\leq 0.03\%</math>; (Fe): Решта</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа плинності (0,2% деформації): <math>\geq 275</math> Мпа</li> <li>- Межа міцності на розрив: 450–600 Мпа</li> <li>- Відносне подовження: <math>\geq 22\%</math></li> <li>- Твердість (за Брінеллем): <math>\leq 183</math> HBW</li> <li>- Густина: 7.7 г/см<sup>3</sup></li> <li>- Температура плавлення: 1425–1510°C</li> <li>- Питома теплоємність: 460 Дж/(кг·К)</li> <li>- Коефіцієнт теплового розширення (у діапазоні 0–100°C): <math>10.4 \times 10^{-6}</math> /°C</li> </ul>                                                                                                               |
| 410<br>(UNS S41000)                      | <p>Мартенситна сталь, яка може бути загартована для підвищення міцності. Вона має хорошу зносостійкість, але меншу корозійну стійкість.</p> <p>Хімічний склад: (Cr): 11.5–13.5%; (C): 0.08–0.15%; (Mn): <math>\leq 1.0\%</math>; (Si): <math>\leq 1.0\%</math>; (P): <math>\leq 0.04\%</math>; (S): <math>\leq 0.03\%</math>; (Fe): Решта</p> <p>Властивості: (у загартованому та відпущеному стані)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа плинності (0,2% деформації): <math>\geq 275</math> МПа</li> <li>- Межа міцності на розрив: 450–760 МПа</li> <li>- Відносне подовження: <math>\geq 20\%</math></li> <li>- Твердість (у загартованому стані): до 500 HBW</li> <li>- Густина: 7.75 г/см<sup>3</sup></li> <li>- Температура плавлення: 1480–1530°C</li> <li>- Теплопровідність (при 20°C): 24.9 Вт/(м·К)</li> <li>- Коефіцієнт теплового розширення (у діапазоні 0–100°C): <math>10.2 \times 10^{-6}</math> /°C</li> </ul> |

Кінець таблиці 2.2

| Спеціальні леговані сталі |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 17-4PH<br>(UNS S17400)    | <p>Це легована сталь, яка надає відмінну комбінацію міцності, корозійної стійкості та механічних властивостей.</p> <p>Хімічний склад: (Cr): 15.0–17.5%; (Ni): 3.0–5.0%; (Cu): 3.0–5.0%; (Nb + Ta): 0.15–0.45%; (C): <math>\leq 0.07\%</math>; (Mn): <math>\leq 1.0\%</math>; (Si): <math>\leq 1.0\%</math>; (P): <math>\leq 0.04\%</math>; (S): <math>\leq 0.03\%</math>; (Fe): Решта</p> <p>Властивості (після старіння):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа плинності (0,2% деформації): 1170–1480 МПа</li> <li>- Межа міцності на розрив: 1240–1450 МПа</li> <li>- Відносне подовження: <math>\geq 10\text{--}20\%</math> (залежно від умов обробки)</li> <li>- Твердість: 35–45 HRC</li> <li>- Густина: 7.8 г/см<sup>3</sup></li> <li>- Температура плавлення: 1400–1440°C</li> <li>- Теплопровідність (при 20°C): 16.3 Вт/(м·К)</li> <li>- Коефіцієнт теплового розширення (0–100°C): <math>10.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}</math></li> </ul> |
| Сталь 20                  | <p>Характеризується гарними механічними властивостями та технологічністю, що робить її популярною для виготовлення деталей, які працюють в умовах помірних навантажень.</p> <p>Хімічний склад: (C): 0,17–0,24%; (Si): 0,17–0,37%; (Mn): 0,35–0,65%; (P): <math>\leq 0,035\%</math>; (S): <math>\leq 0,040\%</math></p> <p>Властивості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа міцності (<math>\sigma_b</math>): 410–490 МПа</li> <li>- Межа плинності (<math>\sigma_T</math>): <math>\geq 245</math> МПа</li> <li>- Відносне подовження (<math>\delta</math>): <math>\geq 20\%</math></li> <li>- Ударна в'язкість (КСУ): <math>\geq 490</math> кДж/м<sup>2</sup></li> <li>- Густина: 7,85 г/см<sup>3</sup></li> <li>- Температура плавлення: Близько 1450°C.</li> <li>- Твердість: За Брінеллем (НВ): 131–156 (у незагартованому стані)</li> </ul>                                                                                                          |
| Сталь 45                  | <p>Головними перевагами є гарна оброблюваність і можливість термообробки для підвищення експлуатаційних характеристик.</p> <p>Хімічний склад: (C): 0,42–0,50%; (Si): 0,17–0,37%; (Mn): 0,50–0,80%; (P): <math>\leq 0,035\%</math>; (S): <math>\leq 0,040\%</math></p> <p>Властивості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Межа міцності (<math>\sigma_b</math>): 600–800 МПа</li> <li>- Межа плинності (<math>\sigma_T</math>): <math>\geq 355</math> МПа</li> <li>- Відносне подовження (<math>\delta</math>): <math>\geq 16\%</math></li> <li>- Ударна в'язкість (КСУ): <math>\geq 392</math> кДж/м<sup>2</sup></li> <li>- Густина: 7,85 г/см<sup>3</sup>.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|  |                                                                                                                                                                                                                       |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Температура плавлення: Близько 1460°C.</li> <li>- Твердість: У відпаленому стані: 179–229 HB. Після термообробки (гартування + відпуск): може досягати 45-50 HRC.</li> </ul> |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Після порівняння характеристик матеріалу, з урахування технічного завдання для конструкції матеріал підходять – нержавіюча сталь марки AISI 310S, Сталь 20 та Сталь 45. Розглянемо їх докладніше.

Сталь AISI 310S є аустенітною нержавіючою сталлю, яка відрізняється високою жаростійкістю та стійкістю до корозії в умовах високих температур. Це робить її ідеальним вибором для застосувань у важких термічних середовищах.

Ключові властивості сталі:

- стійкість до високих температур;
- відмінна жаростійкість до 1100°C у окислювальному середовищі;
- стійкість до карбонізації та нітрації в умовах високих температур;
- стійкість до корозії: високий вміст хрому та нікелю забезпечує стійкість до корозії в окислювальних і помірно агресивних середовищах;
- зварюваність: легко зварюється стандартними методами без необхідності термічної обробки після зварювання;
- механічна міцність: зберігає хороші механічні властивості при високих температурах;
- оброблюваність: легко піддається механічній обробці та холодному формуванню.

Застосування сталі AISI 310S: металургія та хімічна промисловість; труби для котлів і теплообмінників; деталі, що працюють у солоній воді та при високих температурах; облицювання жаростійких зон, елементи димоходів.

Сталь 20 є якісною вуглецевою сталлю, яка відмінно піддається механічній обробці, зварюванню та ковальсько-пресовим операціям. Вона широко використовується в економіці та народному господарстві, зокрема у будівництві, енергетиці та машинобудуванні.

Властивості та особливості:

- зварюваність: добра, сталь легко зварюється будь-якими видами зварювання;
- оброблюваність: добре піддається механічній обробці, включно з різанням і свердлінням.
- термообробка: піддається відпалу, загартуванню та відпуску для покращення міцності та зносостійкості;
- корозійна стійкість: помірна, потребує антикорозійного захисту (наприклад, покриття фарбами або лаком).

Застосування сталі 20: виробництво валів, осей, втулок, шестерень та інших деталей машин. Виготовлення труб, арматури та кріпильних елементів. Використовується для цементації, що підвищує твердість поверхні.

Сталь 45 піддається механічній обробці та ковальсько-пресовим операціям, широко використовується в машинобудуванні, виробництві обладнання, автомобільної промисловості, будівництві та інших галузях промисловості.

Особливості сталі 45:

- Зварюваність: обмежена через підвищений вміст вуглецю. Потребує попереднього підігріву перед зварюванням та наступної термообробки.
- Термообробка: легко піддається гартуванню, відпуску та відпалу. Після гартування отримує високу твердість і зносостійкість.
- Оброблюваність: добра в гарячому стані, у загартованому – обробка ускладнена.
- Корозійна стійкість: невисока, рекомендовано застосовувати додатковий захист (фарби, мастила).

Для збереження високих технологічних показників виробу, та врахування економічного впливу, що формує конкурентоспроможність на ринку, було вирішено обрати як матеріал конструкції сталь 20 та сталь 45 для різьбової частини.

## 2.4 Технологічний процес виготовлення

Стандартний технологічний процес механічної обробки передбачає використання токарно-гвинторізного верстату Кусон-3. Технічні характеристики верстату наведені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.3- Загальний вигляд верстату Кусон-3

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики верстату

| Параметр                                                         | Кусон-3       |
|------------------------------------------------------------------|---------------|
| Клас точності                                                    | Н             |
| Найбільший діаметр заготовки, що встановлюється над станиною, мм | 430           |
| Найбільший діаметр заготовки оброблюваної над супортом, мм       | 220           |
| Найбільша довжина заготовки, що встановлюється у центрах, мм     | 1000,<br>1500 |
| Найбільший діаметр свердла, мм                                   | 25            |
| Діаметр отвору в шпинделі, мм                                    | 41            |
| Частота обертів шпинделя, об/хв                                  | 16..3200      |
| Кількість швидкостей                                             | 21            |
| Діапазон повздовжніх подач, мм/об                                | 0,08..8       |
| Діапазон поперечних подач, мм/об                                 | 0,004..4      |
| Крок метричних різьб, мм                                         | 0,125..80     |

Кінець таблиці 2.3

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Потужність головного двигуна, кВт | 7,5                     |
| Габарити верстата                 | 2620 x<br>990 x<br>1260 |
| Маса верстата, кг                 | 2100                    |

В таблиці 2.4 наведено маршрут обробки «Корпусу» (рисунок 2.4) глушника на токарному верстаті Кусон-3.

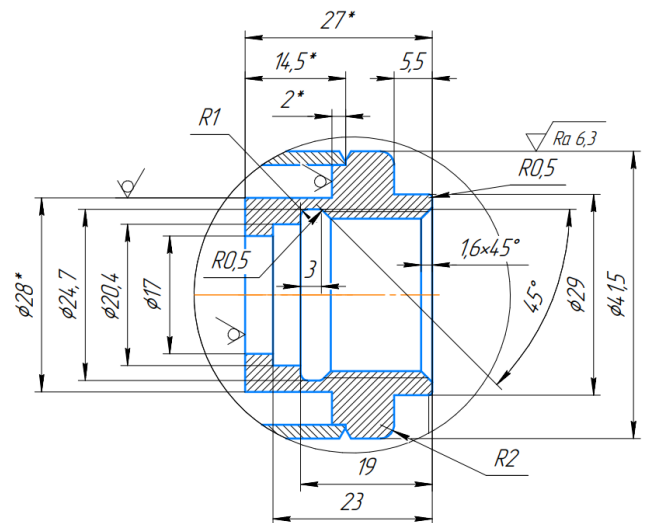


Рисунок 2.4 – Деталь обробки

Загальний вигляд корпусу в збірці представлено на рисунку 2.5.

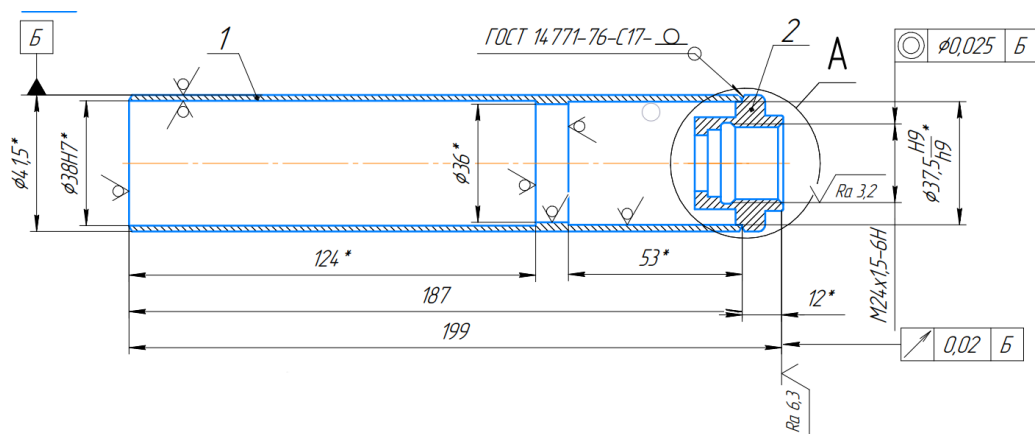


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд деталі корпус

Таблиця 2.4 – Маршрут обробки деталі «Корпус»

| Операція/перехід           | Інструмент / державка               | Операція                                                                             | Параметри<br>(швидкість,<br>подача)                                           |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Операція: зовнішнє точіння |                                     |                                                                                      |                                                                               |
| Перехід 1                  | DWLN2525M08 /<br>WNMG080404 LF6018  | Ø 42 мм L=20 мм                                                                      | n=800 об/хв,<br>S=0,4 мм/об                                                   |
| Перехід 2                  | DWLN2525M08 /<br>WNMG080404 LF6018  | Ø 41,5 мм (0.5 мм на<br>діаметр) L=20 мм                                             | n=800 об/хв,<br>S=0,1 мм/об                                                   |
| Перехід 3                  | DWLN2525M08 /<br>WNMG080404 LF6018  | 3 Ø 41,5 мм до Ø 29 мм<br>L = 5,5 мм<br>5 проходів по 1,1 мм                         | n=800 об/хв,<br>S=0,4 мм/об                                                   |
| Свердління                 | Свердло Ø17 мм DIN 345              | Ø17 мм<br>L=27мм                                                                     | n=150 об/хв,<br>S=0.1 мм/об                                                   |
| Расточка отвору            | S12M-SCLCR06 /<br>CCMT060204 LF6018 | Ø20,4 мм:<br>1. Ø 18,5 мм (1,5 мм)<br>2. Ø 19,6 мм (1,1 мм)<br>3. Ø 20,4 мм (0,8 мм) | n=800 об/хв,<br>S=0,4 мм/об<br>(3-й прохід:<br>n=1000 об/хв,<br>S=0,08 мм/об) |
| Расточка під<br>різьбу     | S12M-SCLCR06 /<br>CCMT060204 LF6018 | Ø22,5 мм:<br>1. Ø 21,9 мм (1,5 мм)<br>2. Ø 22,5 мм (0,6 мм)                          | 1-й:<br>n=800 об/хв,<br>S=0,4 мм/об<br>2-й:<br>n=1000 об/хв,<br>S=0,15 мм/об  |
| Расточка канавки           | MGIVR2016-3,<br>MGMN300-M LDA       | Канавка L = 19 мм, глибина<br>2,2 мм                                                 | n=800 об/хв,<br>S=0,05 мм/об                                                  |
| Нарізання різьби           | SNR 0016 Q16, 16 IR 1.5<br>ISO LDA  | Ø24,2 мм:<br>7 проходів (від Ø23 мм до<br>Ø24,2 мм, включаючи<br>нульовий прохід)    | n=630 об/хв                                                                   |

## 2.5 Оптимізація технологічного процесу

Використання сучасних верстатів з ЧПУ дозволяє пришвидшити та оптимізувати технологічний процес виготовлення глушника. Обробка проводиться за один установ.

В якості верстата пропонується обрати токарно-гвинторізний верстат з ЧПУ моделі СК 1650, його технічні характеристики наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд верстата СК 1650

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстата

|                                          |                                      |
|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Система управління                       | Siemens 808D Advance                 |
| Потужність (загальна)                    | 13 кВт                               |
| Потужність (двигун шпинделя)             | 7.5 кВт                              |
| Мах. діаметр заготовки                   | Ø250 мм / Ø375 мм                    |
| Мах. довжина заготовки                   | 850 мм / 1350 мм                     |
| Інстр. каретка (розміщення в просторі)   | Горизонтально до станини             |
| Інстр. каретка                           | 6-х позиційна<br>револьверна головка |
| Мах. діаметр заготовки над інстр. карет. | Ø 250 мм                             |
| Мах. діаметр заготовки над станиною      | Ø 500 мм                             |
| Мах. перем. по повздовжні направляючі Y  | 850 мм / 1350 мм                     |
| Мах. перем. по поперечній направляючі X  | 300 мм                               |
| Точність осей X / Z                      | +/- 0.005 мм                         |
| Крутний момент по осям X / Z             | 5 Нм / 7.5 Нм                        |
| Швидкість переміщення по осям X / Z      | 8/10 м/хв                            |
| Шпиндель (швидкість обертання)           | 0-1600 об/хв                         |
| Шпиндель (тип кріплення патрону)         | A 2-8                                |
| Шпиндель (діаметр наскрізного отвору)    | Ø82 мм                               |

Кінець таблиці 2.5

|                               |                                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| Патрон                        | Ø250 мм 3-х кулачковий гідравлічний з отвором |
| Піноль (механізм переміщення) | Гідравлічна                                   |
| Піноль (конус)                | MT5                                           |
| Піноль (діаметр штока)        | Ø75 мм                                        |
| Піноль (переміщення штока)    | 200 мм                                        |
| Автоматична подача MOP        | присутня                                      |
| Ширина станини                | 400 мм                                        |

Програмування обробки відбувалось програмному забезпеченні FeatureCAM. Для цього було створено 3D модель деталі в програмному забезпеченні SolidWorks.

Використання CAM системи дозволило пришвидшити процес створення технологічного процесу, а проведена симуляція обробки, дозволила варіфікувати створену програму. Отриманий код управління дозволяє в подальшому використовувати його на будь-якому новому обладнанні та швидко вносити правки в існуючий технологічний процес.

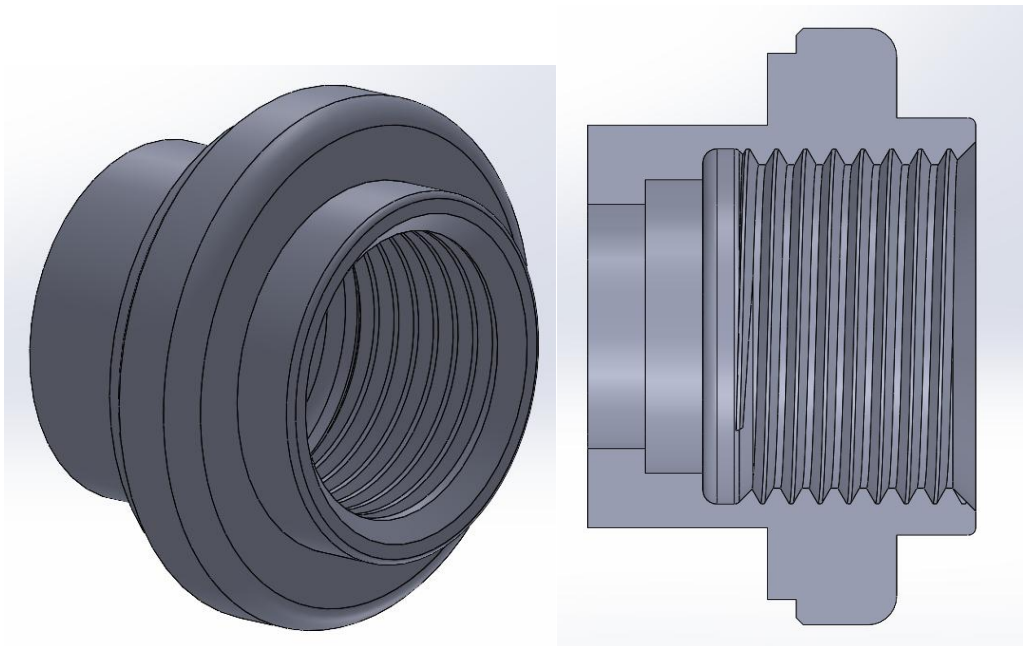
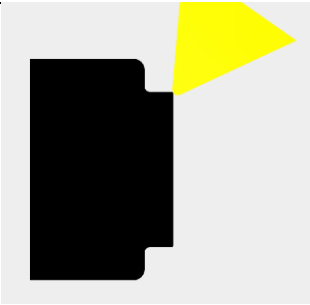
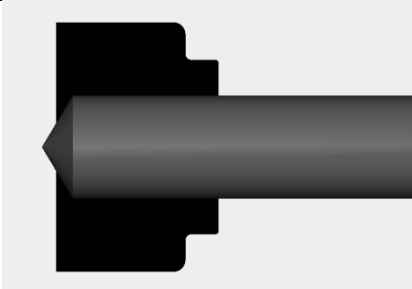
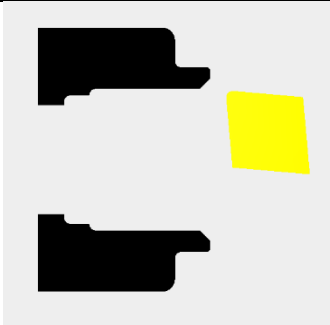
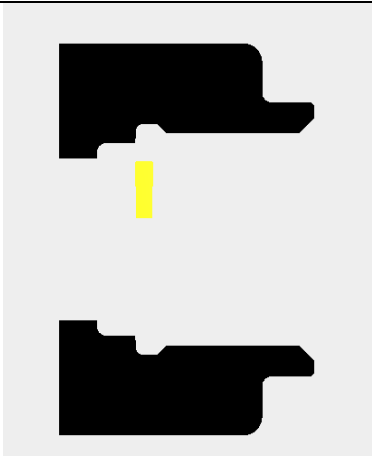
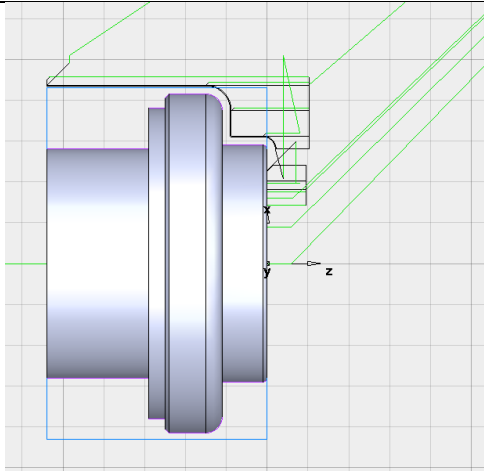


Рисунок 2.7 – 3D модель деталі

Таблиця 2.6 - Технологічний процес обробки на верстаті з ЧПУ

| Операція         | Рисунок                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зовнішнє точіння |  A schematic diagram of a lathe operation. A black workpiece is being turned on a lathe. A yellow triangular chip is shown being removed from the outer surface of the workpiece.                  |
| Свердління       |  A schematic diagram of a drilling operation. A black drill bit is shown entering a workpiece from the left, creating a hole.                                                                      |
| Розточування     |  A schematic diagram of a reaming operation. A black reamer is shown being used to finish the inner surface of a hole in a workpiece. A yellow chip is shown being removed from the inner surface. |

Кінець таблиці 2.6

|                             |                                                                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Канавка та нарізання різі   |   |
| Загальна траєкторія обробки |  |

Після проведення симуляції отримаємо код управляючої програми, фрагмент якої наведено на рисунку 2.8 та 2.9.

```

%
OPart2( FILENAME = Shulatiev)
N20 G20 G40
N25 G28 U0
N30 G28 W0
( OPERATION: ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N40 T101
N45 G50 S3000
N50 G96 S328 M4
N55 G0 X1.6417 Z0.1614 M8
N60 G1 Z-1.1024 F0.02
N65 X1.6929
N70 X1.7208 Z-1.0884 F0.04
N75 G0 Z0.1614
N80 G1 X1.3957 F0.02
N85 Z-0.2126
N90 X1.3977
N95 G3 X1.6417 Z-0.3346 R0.122
N100 G1 X1.6696 Z-0.3207 F0.04
N105 G0 Z0.1614
N110 G1 X1.1496 F0.02
N115 Z-0.2126
N120 X1.3957
N125 X1.4235 Z-0.1987 F0.04
N130 G0 Z0.1614
N135 G1 X1.0237 F0.02
N140 Z0.0039
N145 G3 X1.1496 Z-0.059 R0.063
N155 G0 Z0.1181
( OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N165 G0 X1.9291 Z0.0381
N170 G50 S3000
N175 G96 S328
N180 G0 X1.9291 Z0.0381 M8
N185 X0.7391
N190 G1 X1.0237 Z0. F0.
N195 G3 X1.1417 Z-0.059 R0.059
N200 G1 Z-0.2165
N205 X1.3977
N210 G3 X1.6339 Z-0.3346 R0.1181
N215 G1 Z-1.1024
N220 X1.8566 Z-0.991
N225 G0 X1.9291
N230 G28 U0
N235 G28 W4.9213
( OPERATION: DRILL ОТВЕРСТИЕ1 )
N245 T202
N250 G97 S325 M4
N255 G0 X0. Z0.1181 M8
N260 G83 X0 Z-1.331 Q0669 F0.01
N265 G80
N270 G28 U0
N275 G28 W4.9213
( OPERATION: ROUGH BORE РАСТОЧКА1 )
N285 T303
N290 G50 S3000

```

Рисунок 2.8 – Фрагмент УП

|                                        |                                              |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| N295 G96 S328 M4                       | N510 Z-0.6895                                |
| N300 G0 X0.7953 Z0.1487 M8             | N515 G1 X0.8849                              |
| N305 G1 Z-0.9016 F0.02                 | N520 X0.96 Z-0.727                           |
| N310 X0.6693                           | N525 G3 X0.9603 Z-0.7272 R0.0077             |
| N315 X0.6415 Z-0.8877                  | N530 G0 X0.6496                              |
| N320 G0 Z0.1487                        | N535 Z-0.7441                                |
| N325 G1 X0.878                         | N540 G1 X0.9096                              |
| N330 Z-0.7441                          | N545 G2 X0.9603 Z-0.7272 R0.0275             |
| N335 G2 X0.7953 Z-0.7874 R0.0433       | N550 G0 X0.6496                              |
| N340 G1 X0.7674 Z-0.7735               | ( OPERATION: FINISH GROOVE: INNER КАНАВКА1 ) |
| N345 G0 Z0.1487                        | N560 G0 Z-0.748                              |
| N350 G1 X1.0293                        | N565 G50 S3000                               |
| N355 Z-0.0087                          | N570 G96 S328                                |
| N360 X0.9033 Z-0.0717                  | N575 G0 X0.6496 Z-0.748 M8                   |
| N365 G2 X0.878 Z-0.1024 R0.0433        | N580 G1 X0.9096 F0.                          |
| N370 G1 X0.8501 Z-0.0884               | N585 G2 X0.9692 Z-0.7266 R0.0314             |
| N375 G0 Z0.1181                        | N590 G0 X0.6496                              |
| ( OPERATION: FINISH BORE РАСТОЧКА1 )   | N595 Z-0.6867                                |
| N385 G0 Z0.0998                        | N600 G1 X0.8904                              |
| N390 G50 S3000                         | N605 X0.9656 Z-0.7243                        |
| N395 G96 S393                          | N610 G3 X0.9692 Z-0.7266 R0.0116             |
| N400 G0 X0.8501 Z0.0998 M8             | N615 G0 X0.6496                              |
| N405 X1.2576                           | N620 Z0.1181                                 |
| N410 G1 X0.9089 Z-0.0745 F0.01         | N625 G28 U0                                  |
| N415 G2 X0.8858 Z-0.1024 R0.0394 F0.   | N630 G28 W0                                  |
| N420 G1 Z-0.748 F0.01                  | N635 M30                                     |
| N425 X0.8819 F0.                       | %                                            |
| N430 G2 X0.8031 Z-0.7874 R0.0394 F0.01 |                                              |

Рисунок 2.9 – Фрагмент УП

## 2.6 Складання конструкції

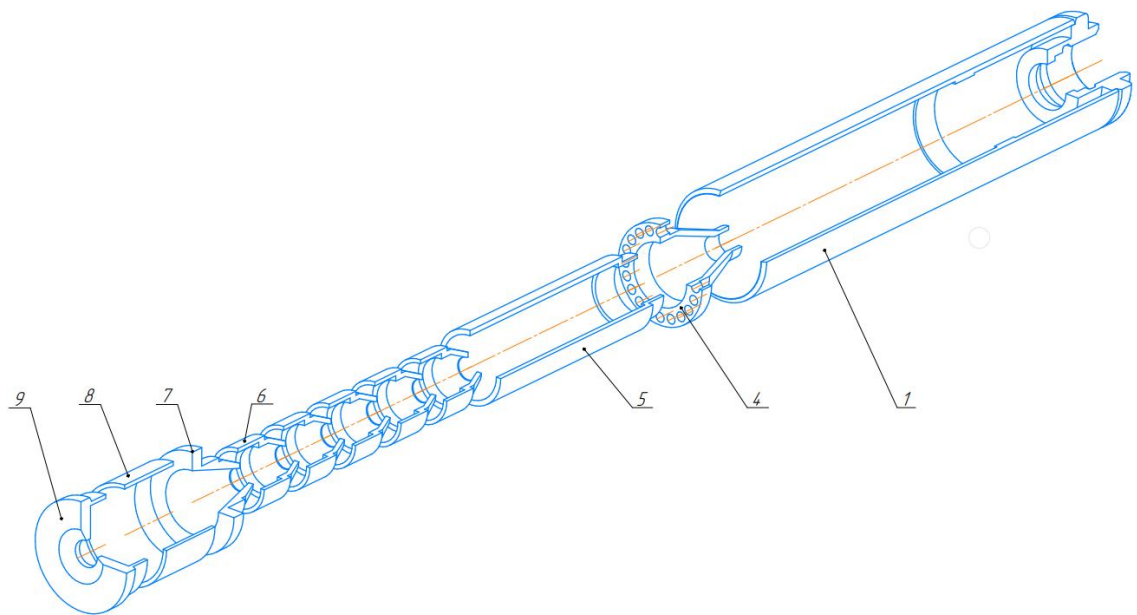


Рисунок 2.10 – Деталювання конструкції

Складання конструкції відбувається в послідовності наведених в таблиці

2.7.

Таблиця 2.7 – Послідовність збірки

| Крок                          | Операція                          | Дія                                                                                                                     |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                             | Підготовка гільзи №5              | Вставте 5 конусоподібних вставок №6 гільзу №5, направляючи конуси вниз, до упору.                                       |
| 2                             | Установка заднього конуса         | Надягніть задній конус №4 на зібрану гільзу №5 з боку заточування.                                                      |
| 3                             | Установка переднього конуса       | Вставте передній конус №7 у гільзу №5 до упору.                                                                         |
| Складання гільзи №5 завершено |                                   |                                                                                                                         |
| 4                             | Встановлення гільзи в корпус      | Тримайте правою рукою зібрану гільзу №5, орієнтуючи задній конус №4 вертикально нагору.                                 |
|                               |                                   | Лівою рукою візьміть корпус №1, різьбленням нагору, і вставте знизу зібрану гільзу №5 (задній конусом нагору) до упору. |
|                               |                                   | Переверніть корпус №1 різьби донизу                                                                                     |
| 5                             | Встановлення дистанційної вставки | Вставте дистанційну вставку №8 у корпус №1 до упору.                                                                    |
| 6                             | Встановлення заглушки             | Вставте заглушку №9 у корпус №1 до упору.                                                                               |
| 7                             | Герметизація з'єднання            | Між корпусом №1 та заглушкою №9 виконайте зварний шов фаскою.                                                           |
|                               |                                   | Шов має бути суцільним та герметичний                                                                                   |



## 2.7 Порівняння розробленої конструкції з існуючими

Нижче наведено порівняльну таблицю, в якій зазначені характеристики найпопулярніших моделей глушників та розробленої конструкції.

Таблиця 2.8 – Порівняльна таблиця характеристик глушників

| Параметр                       | ARMORY TITAN                                                                                                                       | FANTOM Titan                                                                                                                       | Дипломний проект                                                                        |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Країна виробник                | Україна                                                                                                                            | Польща                                                                                                                             | Україна                                                                                 |
| Тип                            | Розбірний, багатокамерний                                                                                                          | Модульна монолітна система (12 камер)                                                                                              | Нерозбірний                                                                             |
| Кількість камер                | 10                                                                                                                                 | 12                                                                                                                                 | 8                                                                                       |
| Діаметр                        | 42 мм                                                                                                                              | 40 мм                                                                                                                              | 41,5 мм                                                                                 |
| Вага                           | 426 г                                                                                                                              | 350 г                                                                                                                              | 750-800 г                                                                               |
| Довжина                        | 185 мм                                                                                                                             | 200 мм                                                                                                                             | 205 мм                                                                                  |
| Матеріал корпусу               | Титан                                                                                                                              | Титан                                                                                                                              | Сталь 20 та Сталь 45                                                                    |
| Матеріал вставок               | Титан                                                                                                                              | Алюміній                                                                                                                           | Сталь 20 та Сталь 45                                                                    |
| Температура деформації         | 800-900°                                                                                                                           | 300-350°                                                                                                                           | 1100-1200°                                                                              |
| Калібр                         | 5.45                                                                                                                               | 5.45                                                                                                                               | 5.45                                                                                    |
| Різьба                         | M24x1.5                                                                                                                            | M24x1.5                                                                                                                            | M24x1.5                                                                                 |
| Зменшення звуку вибуху пороху  | 25-30 Дб (60-65%)                                                                                                                  | Не вказано                                                                                                                         | Висока ефективність придушення звуку                                                    |
| Рекомендації щодо використання | Одиничний постріл на чергами                                                                                                       | Робота чергами                                                                                                                     | Підходить для коротких та довгих черг                                                   |
| Недоліки                       | Перша камера має малий об'єм, що викликає високий тиск та зворотні гази, які забруднюють автомат та потрапляють в обличчя стрільцю | Перша камера має малий об'єм, що викликає високий тиск та зворотні гази, які забруднюють автомат та потрапляють в обличчя стрільцю | Перша камера має великий обсяг, що знижує викид зворотних газів та забруднення автомата |

Кінець таблиці 2.8

|                            |                                                                                    |                                                                                            |                                                                                                                   |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                                                    | Трудомісткість виготовлення монолітного бафа                                               | Вага, проте більша вага збільшує купчастість стрільби                                                             |
|                            | Ціна, трuдомісткість виготовлення                                                  | Ціна, трuдомісткість виготовлення                                                          | Схильний до утворення корозії                                                                                     |
| Переваги                   | Вага, не підлягає корозії                                                          | Вага, не підлягає корозії                                                                  | Найкраще шумозаглушення                                                                                           |
|                            |                                                                                    |                                                                                            | Мінімальне забруднення ствола                                                                                     |
|                            |                                                                                    |                                                                                            | Мінімальний викид зворотних газів стрільцю в обличчя                                                              |
| Складання                  | Розбірний                                                                          | Розбірний                                                                                  | Надійність та довговічність завдяки цілісній конструкції                                                          |
| Ефективність придушення    | Прямі перегородки недостатньо ефективно вловлюють гази, що знижує придушення звуку | Прямі перегородки малоефективні для придушення звуку пострілу                              | Конусоподібні перегородки ефективно вловлюють гази, знижують тиск перед виходом кулі, підвищують придушення звуку |
| Матеріал та термостійкість | Титан витримує високі температури до 800-900°                                      | Алюмінієві бафли погано витримують високі температури, деформація починається за 300–350°C | Сталь забезпечує високу термостійкість, міцність при великих навантаженнях до 1100-1200°                          |
| Ціна                       | 5 000 грн                                                                          | 6 170 грн                                                                                  | 2700 грн                                                                                                          |

## ВИСНОВКИ

В ході дипломного проекту було проведено аналіз існуючих конструкцій глушників для стрілецької. Після огляду було обрано найефективніші рішення у вигляді нерозбірної конструкції та використання перегородкових елементів у вигляді конусних елементів.

Огляд матеріалів з яких виготовляються глушники показав, що найкращими варіантами є використання вуглецевих та нержавіючих сталей: Сталь 20, Сталь 45 та AISI 310S. Ці сталі повністю задовольняють експлуатаційні показники глушника, та дозволяють при їх обробці використовувати широкий спектр обладнання, що спрощує виготовлення глушника. З огляду на економічний фактор та можливість конкурувати на ринку з існуючими рішеннями, було вирішено обрати для виготовлення Сталь 20 та Сталь 45.

Було оптимізовано існуючий технологічний процес в якому використовувались механічні верстати, та запропоновано обладнання у вигляді верстату з ЧПУ, що дозволить пришвидшити процес обробки, та досягнути більшої точності, що є важливим фактором для даного виробу.

Було проведено симуляцію обробки та створено код управляючої програми для верстату.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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., Стрельніков Г. О. Безшум- на автоматична вогнепальна зброя: Підручник. Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС. 2011. 340 с.
3. Paulson Alan C., Parker N. R., Kokalis Peter G. Silencer. History and performance. Volume 2. GQB, Assantt Riffle and Sniper Technology. USA, Boulder, Colorado: Paladin Press. 2002. 429 p.
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. Техни- ческая механика. 2014. № 1. С. 3–10.
5. 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 Є. О., Скорік О. Д., Стрельніков Г. О., Авдєєв А. М.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № а2009 13359: заявл. 22.12.09; опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16. 6 с.
6. 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 Є. О., Скорік О. Д.; заяв- ник і патентовласник Інститут технічної механіки НАН України і НКА України. № а201004889: заявл. 23.04.10; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. 7 с.
7. 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.

8. Проспект фирмы AWC. Каталог. 2012. 11 с. URL: <https://AWC.systech.com> (Дата звернення 15.05.2021).

9. 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.

10. 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.