

УДК 351.861

*В. В. Тютюник¹, д.т.н., професор, нач. каф. (ORCID 0000-0001-5394-6367)**О. А. Левтеров¹, д.т.н., професор, доц. каф. (ORCID 0000-0001-5926-7146)**О. О. Тютюник², к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-3330-8920)**Д. В. Усачов¹, ад'юнкт (ORCID 0000-0002-1140-9798)**¹Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна**²Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна*

АКУСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЖЕРЕЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЗАСТУВАННЯМ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

Удосконалено метод ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї на основі використання середньої характеристики акустичного спектру пострілу, шляхом визначення характеристичних частот з максимальними значеннями амплітуд, який полягає у визначенні характеристичних частот за умов перевищення порогового рівня амплітуд гармонік прийнятого сигналу, визначення енергії такого спектра, віднімання енергії еталонного спектра від енергій експериментально отриманих спектрів пострілів. Застосування удосконаленого методу для дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів з пістолету Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолету «Форт-14Р» та автомату АК-74 калібру 5,45 мм дозволило з ймовірністю 0,95 ідентифікувати тип вогнепальної зброї за прийнятим акустичним сигналом. За результатами досліджень розроблено функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу. Схема втілює у себе медіанний фільтр, смугові фільтри, блок характеристичних частот пострілів, блок кодування, блок декодерів та блок логічних елементів «Кон'юнкція». Процес ідентифікації полягає в аналізі 18-розрядного коду за 6 групами по 3 розряди, на виході за результатами обробки з'являється відповідна комбінація сигналів, яка визначає приналежність до певного типу зброї та/або її наявність в базі відомих зразків. На основі схеми апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу встановлені особливості розробки та функціонування геоінформаційної системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різних типів вогнепальної зброї.

Ключові слова: моніторинг, ідентифікація, акустичний сигнал, фільтрація сигналів, спектральний аналіз, амплітудно-частотна характеристика

1. Вступ

Для захисту міст України від актуальних загроз необхідно створити комплексну систему безпеки «SAFE CITY», яка забезпечить надійну взаємодію між усіма компонентами та покриє широкий спектр захисних напрямів: від політичної й економічної стабільності до інформаційної, соціальної та екологічної безпеки. Ця система сприятиме своєчасному виявленню й усуненню загроз, а також попередженню ризиків у всіх важливих аспектах життєдіяльності міста [1].

Терористична активність охоплює такі аспекти, як: 1) підготовка й здійснення терактів; 2) спонукання до насильницьких дій або фізичний вплив на людей і організації; 3) формування й підтримка незаконних збройних угруповань для виконання терористичних завдань; 4) вербування, озброєння й підготовка бойовиків; 5) пропаганда ідеології тероризму; 6) фінансування та інша підтримка терористичних структур [2].

Всі ці складові терористичної діяльності невід'ємно пов'язані із незаконним зберіганням та використанням вогнепальної зброї. Наприклад, за останні декілька років серед надзвичайних ситуацій різного характеру, які виникли в світі, існує значна їх кількість з використанням вогнепальної зброї, серед яких є стрілянини.

Так, в супермаркеті Walmart в місті Чесапек (штат Вірджинія, США) повідомляється про велику кількість поранених та загибелі до десяти людей (листопад 2022 року) [3]; в готелі у центрі Львова (Україна) обійшлося без жертв (грудень 2022 року) [4]. Під час зборів членів об'єднання Valleverde, яке займається управлінням будинку в районі водосховища Турано поблизу Рима (Італія) стався терористичний акт. В результаті троє загиблих та четверо поранених [5]. Біля лісу на Закарпатті (Україна) обійшлося без жертв (грудень 2022 року) [6]; в центрі Парижа (Франція) загинуло троє людей, ще декілька поранено (грудень 2022 року) [7].

У школі Де-Мойна (штат Айова, США) внаслідок стрілянини загинули двоє учнів (січень 2023 року) [8]; у посольстві Азербайджану в Тегерані (Іран) чоловік з автоматом Калашникова убив одного охоронця дипломатичного представництва і ще двох поранив (січень 2023 року) [9].

У січні 2023 року під час святкування китайського Нового року в Лос-Анджелесі (Каліфорнія, США) трагічно загинули щонайменше десять осіб [10]; у місті Лейкленд (штат Флорида, США) сталася чергова масова стрілянина, внаслідок якої троє людей загинули, а ще семеро отримали травми різного ступеня тяжкості та були госпіталізовані (січень 2023 року).

У лютому 2023 року в університеті американського містечка Іст-Лансінг (штат Мічиган, США) через дії озброєного чоловіка загинули троє студентів та п'ятеро поранено [12]. У прибережному місті Хаф-Мун-Бей, що розташоване приблизно за 50 км на південь від Сан-Франциско (штат Каліфорнія, США), озброєний чоловік скоїв напад, внаслідок якого загинуло семеро людей (лютий 2023 року) [13].

У грудні 2023 року у центрі Праги (Чехія) чоловік відкрив стрілянину в будівлі Карлового університету, що призвело до загибелі 14 осіб та поранення 26 людей. Пізніше ще один постраждалий помер у лікарні. Серед поранених були троє іноземних громадян, нападник закінчив життя самогубством [14].

У січні 2024 року у районі м. Сарисер у Стамбулі, під час служби в італійській церкві Санта-Марія, сталася стрілянина, внаслідок якої одна людина отримала смертельне поранення [15]. У грузинському місті Руставі (Грузія), озброєний чоловік відкрив стрілянину на місцевому ринку, внаслідок стрілянини загинуло четверо людей (лютий 2024 року) [16].

У Детройті (штат Мічиган, США) під час стрілянини в парку були поранені 9 осіб, нападник під'їхав до парку, наблизився до майданчика і здійснив 28 пострілів, кілька разів зупиняючись для перезарядки [17]. У вересні 2024 року у місті Віндер (штат Джорджія, США) у старшій школі Апалачі 14-річний підліток відкрив стрілянину, що призвело до загибелі чотирьох людей і поранення ще дев'яти осіб [18]; на Тернопільщині (Україна) військовий біля сільської школи розстріляв людей, загинуло двоє людей, ще трьох з важкими пораненнями доправили до лікарні [19].

Виходячи зі статистичних даних наведених небезпечних подій, бачимо, що на сьогодні процес виявлення факту використання вогнепальної зброї та проходження інформації про місце виникнення, тип зброї та наслідки від надзвичайних ситуацій (НС) в існуючих системах безпеки відбувається в ручному режимі, з відповідно великою інерційністю та низкою достовірністю. Це підкреслює нагальну потребу в інтеграції до системи «SAFE CITY» різних компонентів територіальної автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій та ситуаційних центрів, що мають тісний взаємозв'язок на рівні інформаційної взаємодії та управління. Така інтеграція сприятиме прийняттю оперативних антикризових рішень для виконання завдань із

виявлення, ідентифікації, запобігання та ліквідації терористичних дій, пов'язаних із незаконним обігом та застосуванням вогнепальної зброї.

Необхідність проведення цих наукових досліджень зумовлена рішенням Ради національної безпеки і оборони України щодо розширення та розвитку загальної мережі ситуаційних центрів. Ця мережа включатиме Головний ситуаційний центр України, Урядовий ситуаційний центр, ситуаційні центри установ сектору безпеки і оборони, центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій, а також резервні й мобільні ситуаційні центри.

Водночас, порівняно з відеофіксацією, яка є основним джерелом інформації для роботи ситуаційних центрів у державі, звукова ідентифікація джерел терористичних небезпек, які пов'язані із незаконним використанням вогнепальної зброї, має ряд суттєвих переваг, а саме результат вимірювань мало залежить від положення мікрофона відносно стрільця та від факторів видимості та розміру зброї. Саме тому удосконалення методів дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналіз літературних джерел та Інтернет-ресурсів [21–33] показує, що новітні методи та засоби дослідження акустичних характеристик небезпечних джерел можна об'єднати у два основні кластери.

До першого кластеру відносяться високоточні лабораторні методи, загальними показниками яких є прецизійність, вибірковість та висока чутливість вимірювань. Інструментальна реалізація цих методів спрямована на розв'язання проблеми високоточної акустичної ідентифікації за пострілом типу вогнепальної зброї для розширення можливостей криміналістичної експертизи. Так, у роботі [21] представлені результати відносно високої результативності (до 90 % достовірної ідентифікації) інструментальної реалізації методів машинного навчання у визначеності категорії, калібру та моделі зброї, що використовувалась на місці злочину, лише за звуком її пострілу. Але ці підходи потребують проведення в лабораторних умовах строгого аналізу акустичного сигналу, з додатковими процесами щодо підготовки лабораторних замірів. Тому, ці методи потребують додаткових досліджень щодо їх реалізації для експрес-аналізу (проведення ідентифікації у режимі on-line) джерел терористичних небезпек, які пов'язані із незаконним використанням вогнепальної зброї на території держави.

До другого кластеру відносяться засоби для проведення вимірювання в реальних умовах експлуатації. Ці засоби не характеризуються такими високими показниками вимірювань як лабораторні засоби, хоча здійснюють контроль акустичного простору у автоматичному режимі. Так, у електронних ресурсах [22–32] представлені основні автоматизовані мобільні засоби акустичного моніторингу пострілів на відкритих площадках, які на сьогодні функціонують в розвинутих країнах світу.

Базуючись на аналізі наведених джерел встановлено, що основними функціональними призначеннями цих мобільних засобів акустичного моніторингу пострілів є: по-перше, індивідуальне застосування у якості елементів військового спорядження або у якості засобів додаткового технічного оснащення індивідуальної вогнепальної зброї; по-друге, групове застосування у якості систем для оснащення транспортних засобів.

Основними розробниками даних приладів є ряд світових компаній. Так, компанія Rheinmetall Defence Electronics розробила акустичну систему локалізації

стрілка ASLS (Acoustic Shooter Locating System) для підвищення рівня захисту екіпажу машини. Антени цієї системи складаються із восьми спеціальних мікрофонів, створених для високих рівнів звукового тиску і забезпечують кругове покриття. Точність виявлення пострілу за дальністю становить $\pm 10\%$. Кутова точність виявлення під час зупинки і під час руху становлять відповідно менше 2° і 5° . Частота оновлення інформації складає менше 1,5 с [24]. Але ймовірність визначення типу вогнепальної зброї є недостатньою.

Мініатюрна версія системи AkSL (Akustisches Schützen-Lokalisationssystem) представляє собою акустичний сенсорний блок для носіння на плечі, який дозволяє під час руху військовослужбовця зберігати у пам'яті інформацію щодо місця виникнення загрози, при цьому інформацію щодо азимуту, вертикального кута і дальності на дисплеї наручних часів. На дисплеї також присутня схема локалізації, її орієнтація, час небезпечної події та заряд батареї. Система AkSL забезпечує точність за азимутом $\pm 5^\circ$, за дальністю $\pm 10\%$ і має масу поряд 500 г та максимальну дальність виявлення, яка на 20 % більше за далекобійність зброї, що вистрілила [25].

Компанія Raytheon BBN розробила локатор пострілів Boomerang, можливості якого дозволяють визначати положення стрільця з точністю до 15° протягом 1 с після пострілу на відстані до 30 м. Boomerang встановлюється на щоглі в задній частині автомобіля і складається з семи невеликих мікрофонів, які сканують звук з невеликою різницею у часі. Використання спеціального алгоритму дозволяють визначити напрямок пулі та дальність до стрілка. Система працює на зміцненому ноутбуці з ОС Windows та забезпечує локалізацію стрілка шляхом використання 10-розрядної координатної сітки. Система використовує електронні карти місцевості для відображення потенційно небезпечного сектору [26].

Крім того, компанією AAI Textron розроблено систему PDCue (Projectile Detection and Cueing – визначення пострілу та сигналізація) для транспортних засобів, яка базується на установлених по кутам даху (що забезпечує повне покриття акустичного простору на 360°) чотирьох сенсорах.

Похибка визначення пострілу по кутам азимуту та місця становить порядку $\pm 1^\circ$, похибка за дальністю – менше 25 % та зменшується на дальності більше 350 м. Максимальна дальність ефективного контролю становить 1,2 км [27].

В свою чергу, компанією Acoem-Metravib представлено пристрій Pearl Personal Equipment Add-on for Reactive Localization – доповнення до особистого спорядження для реакційної локалізації), який призначено для забезпечення військовослужбовця відносно дешевою системою виявлення та локалізації пострілу кулеметів, штурмових та снайперських гвинтівок. Пристрій включає мініатюрну акустичну матрицю чутливих елементів, процесорний блок з гірометром і людино-машинний інтерфейсом, який показує напрямок пострілу за азимутом та кутом місця за допомогою зелених та червоних світлодіодів. Ймовірність виявлення пострілу більше 95 %, похибка локалізації за азимутом та кутом місця становить $\pm 10^\circ$ і за дальністю $\pm 20^\circ$, час реакції менше однієї секунди [28].

Також компанія пропонує систему Pilarw для транспортних засобів та стаціонарних об'єктів, яка дозволяє у реальному масштабі часу визначати місце джерела вогню не тільки стрілецької зброї, але й ручних протитанкових гранатометів, мінометів та протитанкових ракет. Оновлений варіант для транспортних засобів Pilarw Vehicle має час реакції менше двох секунд та забезпечує точність за азимутом $\pm 2^\circ$ під час стоянки і $\pm 5^\circ$ під час руху. Точність за кутом місця становить $\pm 5^\circ$, точність за дальністю – від 10 до 20 % [29].

Нідерландська компанія Microflown Avisa розробила інноваційні акустичні векторні сенсори AVS (Acoustic Vector Sensor) для визначення та локалізації пострілів стрілецької зброї, вогню артилерії, повітряних суден та транспортних засобів. Система на базі AVS дозволяє ідентифікувати місце мінометного пострілу з точністю 2 % за дальністю та менше 5° за азимутом [30].

Пристрій Sniper Egg – моноблочний гвинтівковий локатор пострілу, розроблений компанією Ultra Electronics для встановлення з правої сторони гвинтівки. Локатор має масу 450 г та дисплей 160x128 пікселів у якості людино-машинного інтерфейсу. Номінальна точність за азимутом та кутом міста становить $\pm 5^\circ$, а за дальністю 15 % (на дисплеї відображається інформація щодо кількості подій та дистанція). Дальність виявлення становить від 30 до 1200 м. У компанії Ultra Electronics заявили про ймовірність виявлення та локалізації більше 90 % при низькій частоті помилкових сигналів. Для плавності переміщення графічних елементів на дисплеї частота його оновлення становить 10 Гц [31].

Американська компанія Cobham разом з компанією BioMimetic Systems (BMS) розробила різні варіанти акустичної системи виявлення пострілів PinPoint для спішної піхоти, а також для транспортних засобів та стаціонарних об'єктів. Варіант системи для спішної піхоти PinPoint Dismount розроблено у формі плечового блоку датчиків, які вимірюють дальність, напрямок і вертикальний кут. Інформація представляється у вигляді звукового повідомлення або виводиться на дисплей наручних часів. Цей варіант обладнано спеціальним алгоритмом обробки інформації, що дозволяє виявляти і показувати постріли кожні 30 мс. Система може зберігати у пам'яті до 1000 пострілів, а кожен піхотинець може спостерігати за останніми 15 пострілами. Варіант системи для транспортних засобів PinPoint Vehicle має схожі характеристики стосовно часу аналізу, але більш вищу точність виявлення, що обумовлено використанням більш крупного загального сенсору розмірами 337x356x108 мм і масою 2,27 кг. Для відображення використовується зміцнений планшет з ОС Windows і можливістю підключення до системи Ethernet або радіозв'язку. Ця система також може зберігати у пам'яті до 1000 пострілів, а в машині є можливість відображати інформацію про останні 250 пострілів [32].

Проведений у роботі аналіз дозволяє встановити наступне. Основні автоматизовані мобільні засоби акустичного моніторингу пострілів на відкритих площах, які на сьогодні функціонують в розвинутих країнах світу, спрямовані на встановлення факту пострілу та пеленгації місця знаходження вогнепальної зброї.

В Україні також проводиться ряд досліджень щодо розробки аналогічного локатору джерела пострілу. Так, у статті [33] автори пропонують структурну схему пристрою для локації джерела вогнепальних пострілів, детально описуючи її структуру та принцип роботи прототипу. Наведено пояснення алгоритму запису й обробки звукових сигналів, а також представлені результати лабораторних випробувань прото типу й оцінка ефективності похибки пеленгування приладу. Але у представленому прототипі локатору джерела пострілу також не розглядається можливість багатфакторного аналізу отриманих акустичних сигналів та ідентифікації джерела небезпеки, шляхом використання методів штучного інтелекту.

Зважаючи на вищенаведене, одним із розвиваючих напрямків розвитку системи «SAFE CITY» є розповсюдження методу спектрального аналізу акустичних коливань для розробки інтелектуальної системи, що забезпечуватиме моніторинг надзвичайних ситуацій терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів.

Для досягнення ймовірності 0,95 стосовно ідентифікації типу вогнепальної зброї за прийнятим акустичним сигналом необхідно вдосконалення існуючих методів дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розвиток науково-технічних основ акустичного моніторингу НС терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різних типів вогнепальної зброї.

Для досягнення мети потрібно виконати наступні завдання:

- 1) дослідити особливості роботи системи акустичного моніторингу надзвичайних ситуацій терористичного характеру, пов'язаних із незаконним застосуванням вогнепальної зброї, в умовах міської території;
- 2) удосконалити метод ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів;
- 3) розробити функціональну схему апаратної реалізації методу ідентифікації.

4. Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження є параметри та характеристики акустичних спектрів пострілів з вогнепальної зброї різного типу.

Предметом дослідження є способи удосконалення методів ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї.

Гіпотеза дослідження полягає у тому, що підвищити ймовірність ідентифікації типу вогнепальної зброї за прийнятим акустичним сигналом можливо шляхом вдосконалення існуючих методів дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів.

Для визначення шляхів вдосконалення методів дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів було проаналізовано особливості функціонування системи акустичного моніторингу НС на території міста.

Удосконалення методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів базувалося на дослідженнях амплітудно-частотних характеристик звукових хвиль від пострілів з вогнепальної зброї різного типу, для чого було розроблено відповідну лабораторну установку та проведені експериментальні дослідження.

5. Удосконалення методів дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів

5.1. Особливості функціонування системи акустичного моніторингу надзвичайних ситуацій в межах міста

Система акустичного моніторингу НС терористичного характеру включає розміщені в межах міста стаціонарні наземні пристрої для автоматизованого контролю акустичного середовища, центральний ситуаційний центр, підсистему для забезпечення зв'язку та передачі телеметричних даних, а також модуль для виконання антикризових заходів, спрямованих на запобігання, локалізацію та ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій. На рис. 1 представлено функціональну схему цієї системи [1, 2, 34].

Ключовим показником ефективності роботи підсистеми оперативного акустичного моніторингу зони надзвичайних ситуацій у місті є точність визначення джерела загрози за його типом і місцем розташування.

Фактори, що можуть впливати на точність акустичної ідентифікації джерела загрози, можна умовно розділити на три групи. Перша група охоплює фактори,



При поширенні звуку від джерела терористичних дій на великі відстані в умовах приземної атмосфери характеристики акустичних хвиль здебільшого залежать від рефракції, що відбувається на градієнтах температури і швидкості вітру. Це призводить до виникнення хвилевидного режиму (рис. 2б) і антихвилевидного режиму (рис. 2в). У першому випадку звукові промені загинаються вниз, багаторазово відбиваючись від земної поверхні, що сприяє збереженню енергії звукової хвилі й забезпечує відносно низький рівень ослаблення звуку.

Разом з тим, територія великого міста відрізняється наявністю складної мережі забудови на значній площі, де нерідко відбуваються локальні атмосферні зміни,

а щільність розташування різнопланових об'єктів, будівель різної висотності, доріг і транспортних шляхів на одиницю площі є дуже високою. Такі умови створюють перешкоди для ефективного прийому акустичних сигналів, які фіксують засоби моніторингу. Таким чином, при організації акустичного моніторингу зони надзвичайної ситуації на території міста, виникає необхідність встановлення засобів контролю акустичного середовища на відстанях не більше 1 км.

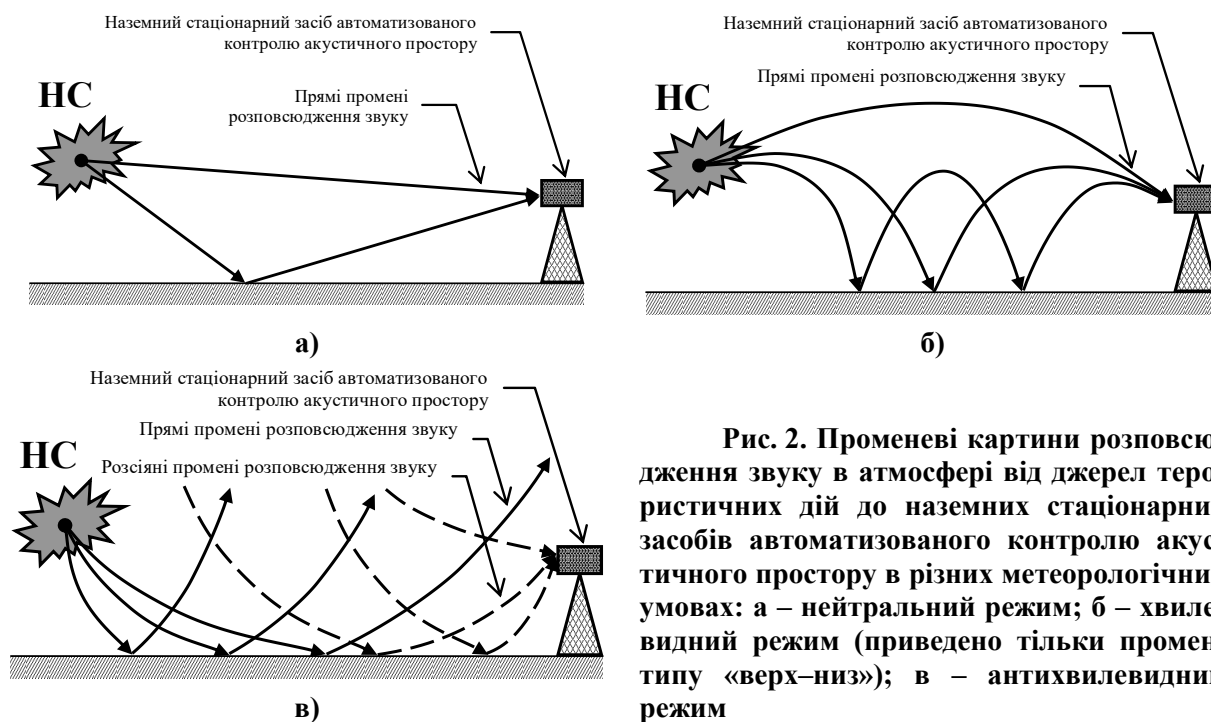


Рис. 2. Променеві картини розповсюдження звуку в атмосфері від джерел терористичних дій до наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору в різних метеорологічних умовах: а – нейтральний режим; б – хвильовидний режим (приведено тільки промені типу «верх–низ»); в – антихвильовидний режим

В цих умовах стає актуальним аналіз ефективності роботи засобів контролю в режимі слабкої рефракції звуку, що передбачає пряме розповсюдження звукових хвиль до точки спостереження. У цьому режимі (рис. 2а) до точки спостереження доходять два промені: один прямий, без точки повороту, та один відбитий від Землі. У такому разі траєкторія звукових променів має незначну кривизну, що полегшує розрахунок звукового тиску, який можна виконати за формулою:

$$L_{R_M}(f) = L_s(f) + L_{abs}(f) + L_t(f) + L_e(f) + L_{div}(f) + L_{pat}(f), \quad (1)$$

де R_M – радіус зони імовірної акустичної ідентифікації терористичних дій, $L_{R_M}(f)$ – рівень звукового тиску на вході наземного стаціонарного засобу контролю акустичного простору на частоті f від джерела терористичних дій, які виникли на межі зони достовірної акустичної ідентифікації, $L_s(f)$ – звуковий тиск від джерела терористичних дій, що перерахованих до звукового тиску на відстані одного метра від джерела, $L_{abs}(f)$ – вклад класичного та молекулярного поглинання звуку у атмосфері, $L_t(f)$ – вклад турбулентного послаблення звуку, $L_e(f)$ – вклад приземного ослаблення звуку (враховується вплив інтерференції прямої та відбитої хвилі), $L_{div}(f)$ – вклад кутової розбіжності, $L_{pat}(f)$ – доданок, який враховує характеристики діаграми направленості засобу контролю акустичного простору.

Рівняння (1) відображає закон збереження енергії та є рівнянням енергетич-

ного балансу. Більшість членів у правій частині цього рівняння, за винятком $L_s(f)$, зазвичай мають від'ємне значення. Для забезпечення надійної акустичної ідентифікації джерела терористичних дій і точного визначення місця його виникнення в межах міста необхідно дотримання умов: $R_D \leq R_M$.

5.2. Вдосконалення методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї

В основу методу автоматичного виявлення застосування вогнепальної зброї та її типу покладено особливості амплітудно-частотних характеристик за характеристичними частотами акустичних сигналів від пострілів.

Розробка методу базується на дослідженнях амплітудно-частотних характеристик звукових хвиль від пострілів з вогнепальної зброї. Для проведення лабораторних досліджень застосовано лабораторну установку, функціональна схема якої представлена на рис. 3.

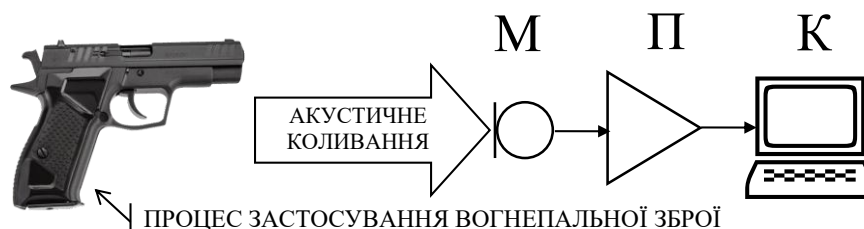


Рис. 3. Схема лабораторної установки: М – мікрофон; П – підсилювач; К – комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням

Під час експерименту були зібрані дані акустичних сигналів пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолета «Форт-14Р» 9 мм та автомата АК-74 калібру 5.45 мм, як потенційно можливих пристроїв для здійснення терористичних актів. Амплітудно-частотні характеристики 3-х пострілів з кожного типу пристроїв (пістолет Макарова калібру 9 мм, травматичний пістолет «Форт-14Р» 9 мм та автомат АК-74 калібру 5.45 мм) наведено на рис. 4 – рис. 6.

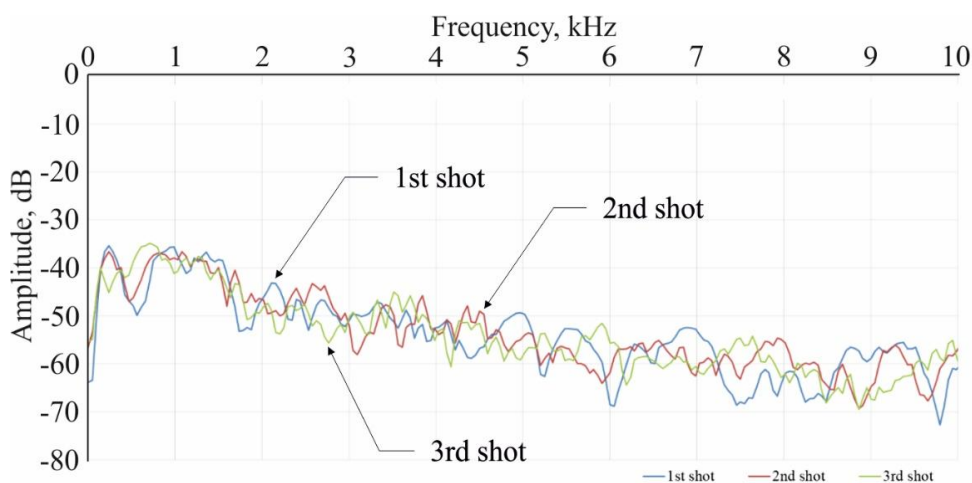


Рис. 4. Спектри пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм

За результатами порівняльного аналізу складено середню характеристику акустичного спектру пострілу для трьох типів вогнепальної зброї, шляхом визна-

чення характеристичних частот з максимальними значеннями амплітуд, результати обробки експериментальних даних наведено в табл. 1.

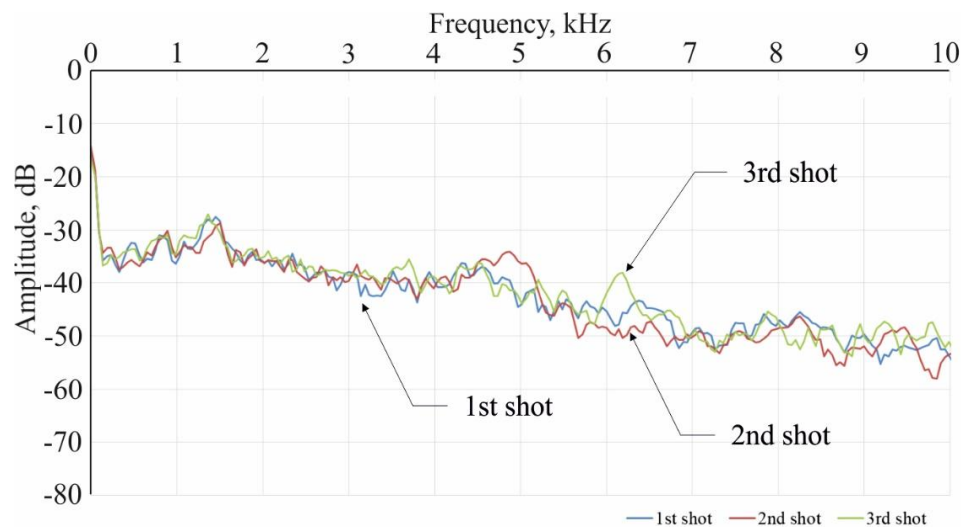


Рис. 5. Спектри пострілів з травматичного пістолета «Форт-14Р»

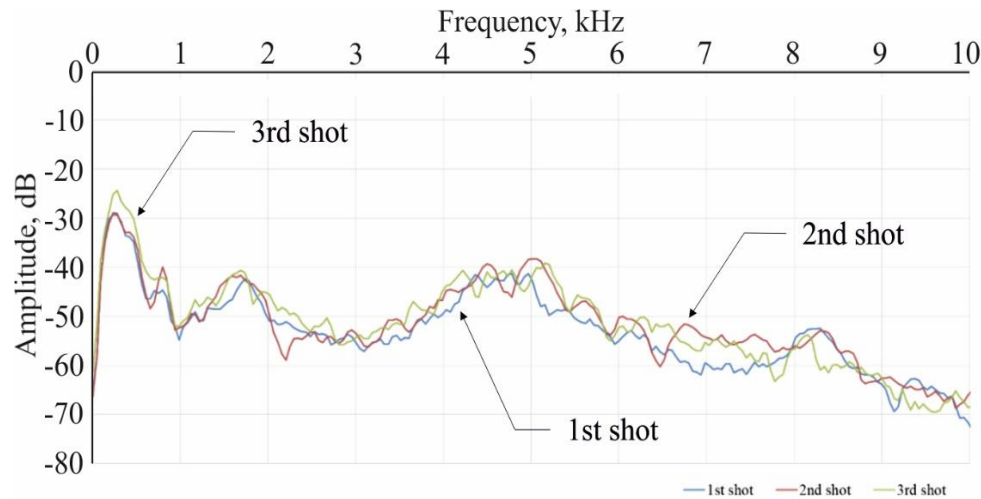


Рис. 6. Спектри пострілів з автомата АК-74 калібру 5.45 мм

Табл. 1. Характеристичні частоти спектрів пострілів досліджуваних зразків вогнепальної зброї

Види зброї	№ пострілу	Характеристичні частоти, кГц					
		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
ПМ 9 мм	1	0,4	1,2	2,9	4,1	7,2	10,6
	2	0,8	1,6	2,4	3,9	8,5	11,5
	3	0,4	1,3	3,0	4,0	9,5	12,5
АК-74 5.45 мм	1	1,1	1,8	2,5	5,9	8,8	16,3
	2	1,3	1,9	2,8	3,9	7,9	10,1
	3	1,7	3,2	5,4	8,2	9,9	14,3
Форт-14Р	1	0,9	1,5	2,7	7,2	7,2	10,5
	2	0,6	1,7	2,9	2,9	7,7	11,9
	3	0,8	1,9	3,4	3,4	8,0	14,7

Для ідентифікації пострілу запропоновано наступний алгоритм, представлений на рис. 7, а саме: 1) виділення «корисного» сигналу на фоні перешкод (фільтрування); 2) отримання частотного (спектрального) опису отриманого сигнала.

лу; 3) визначення характеристичних частот (частоти з амплітудою, що перевищує встановлене порогове значення (рис. 8) отриманого сигналу; 4) порівняння отриманих результатів з базою даних щодо ідентифікації вогнепальної зброї.

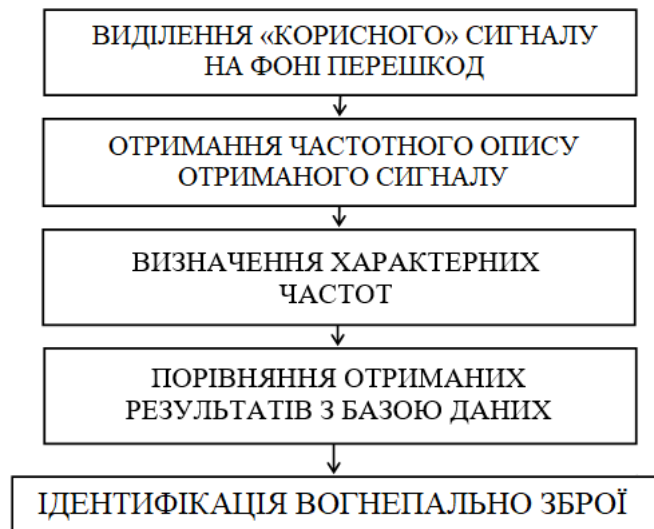


Рис. 7. Алгоритм ідентифікації різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів

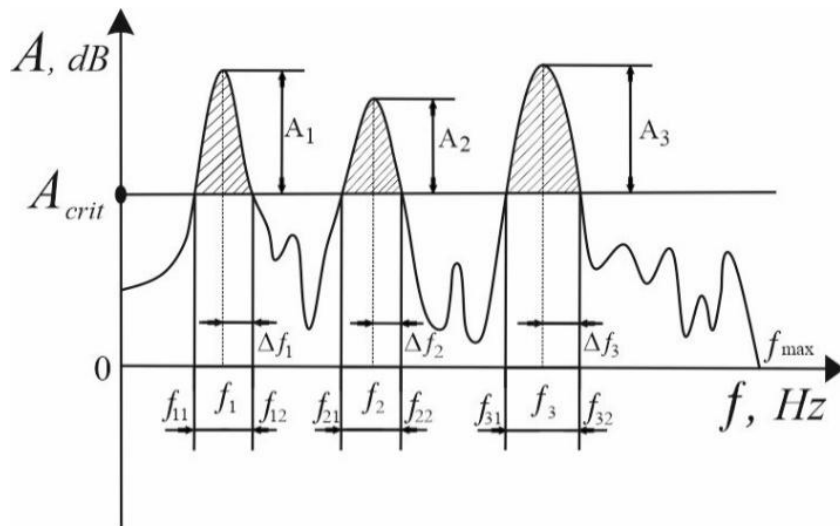


Рис. 8. Визначення характеристичних частот спектру пострілу та визначення енергії спектра на відповідних гармоніках: A_i – амплітуда i -ї гармоніки спектру; f_i – частота i -ї гармоніки спектру; Δf_i – допустимий діапазон коливання частоти i -ї гармоніки спектру прийнятого сигналу (див. табл. 1); A_{crit} – встановлене порогове значення для амплітуд гармонік спектру (визначається на основі статистичних даних прийнятих сигналів для різних типів зброї)

Кількість частот, амплітуда яких перевищує встановлене порогове значення, визначається як:

$$K_{ex} = \{A_s''(f) = 0 | \text{sign}(A_s''(f_i)) > 0\},$$

де $A_s(f)$ – функція огибаючої спектру прийнятого сигналу.

Для кожного типу зброї енергія спектра прийнятого сигналу перевищуючого порогове значення визначається як:

$$E_{\text{crit}}(f) = \int_0^{f_{\text{max}}} A_{\text{crit}}(f) df,$$

де $A_{\text{crit}}(f)$ – функція огинаючої спектру перевищуючого порогове значення.

Процес ідентифікації зброї відбувається за умови:

$$E_{\text{crit}} \leq \int_{f_{1,1}}^{f_{1,2}} A_1(f) df + \int_{f_{2,1}}^{f_{2,2}} A_2(f) df + \dots \int_{f_{n,1}}^{f_{n,2}} A_n(f) df$$

Для згладжування спектру та забезпечення відповідної точності і надійності ідентифікації вогнепальної зброї за показником енергії спектра прийнятого сигналу перевищуючого порогове значення у роботі використано вагову функцію вікна Хеммінга, яка допомагає зменшити спотворення, що виникають через розриви спектру сигналу, та має вигляд:

$$w(n) = 0,54 - 0,46 \cos(2\pi n / N - 1),$$

де $w(n)$ – значення вікна Хеммінга для відліку n , N – кількість відліків у сигналі, n – індекс відліку, $n = 1, 2, \dots, N-1$.

Застосування вікна Хеммінга до сигналу $x(n)$ проводилось покомпонентним множенням кожного відліку на відповідне значення вікна, а саме: $x_n(n) = x(n) \cdot w(n)$, де $x_n(n)$ – значення вихідного сигналу для відліку n , який оброблено вікном Хеммінга, $x(n)$ – значення вхідного сигналу для відліку n .

При обробці отриманих акустичних сигналів пострілів з однієї і тієї зброї спостерігаються зміщення (відхилення) акустичних спектральних характеристик (рис. 9). Ці зміщення виникають внаслідок факторів, таких як: зміни умов навколишнього середовища, невизначеності в методиках вимірювань, а також випадкові або систематичні помилки. При більш детальному визначенні акустичного спектру пострілів слід враховувати різні параметри, такі як маса кулі, кількість порошу в патроні, швидкість кулі при вильоті із ствола, довжина та температура ствола тощо.

В результаті серії пострілів можна спостерігати, що спектри зсуваються у частотному діапазоні на незначну величину. Ми припускаємо, що допустиме відхилення Δf_i для ідентифікації спектрів дорівнює 5 % ($\Delta f_i = 0,05f_i$).

Вплив зовнішніх факторів на акустичний спектр пострілу є важливим завданням дослідження. Це може бути корисним для визначення характеристик зброї за його особливостями акустичного спектру пострілу, а також для аналізу акустичного оточення в бойових умовах.

Одним із найбільш значущих факторів, що впливає на відповідні характеристики спектрів звуку пострілів зі стрілецької зброї, є температура ствола. При пострілі пороховий заряд перетворюється на гази та високотемпературні продукти згоряння. Ці гази створюють сильний тиск, необхідний для виштовхування кулі через ствол. В результаті відбувається значне нагрівання ствола, що може суттєво впливати на характеристики звукового спектру.

За результатами низки досліджень і аналізу спектрів, можна відзначити, що акустичні параметри трьох пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолета «Форт-14Р», автомата АК-74 калібру 5,45 мм відрізняються. Проте, на окремих частотних діапазонах спектру є певна схожість (рис. 10–12).

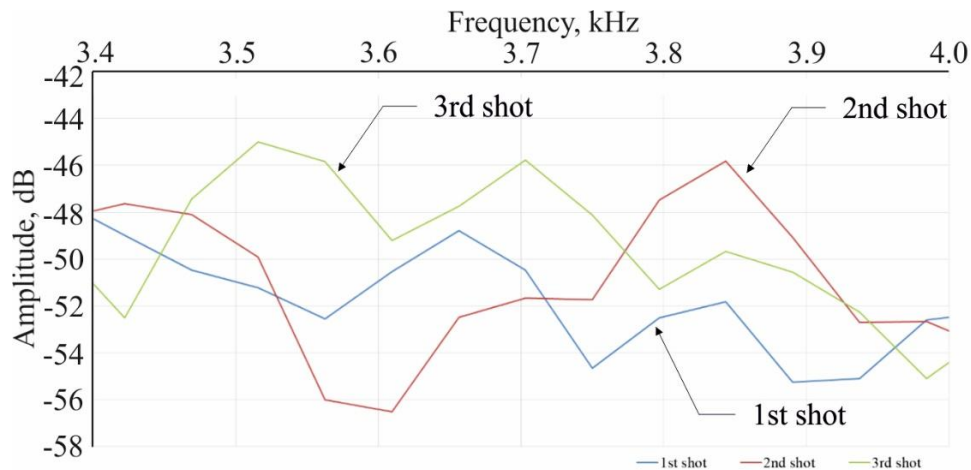


Рис. 9. Зміщення у спектральних характеристиках пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм

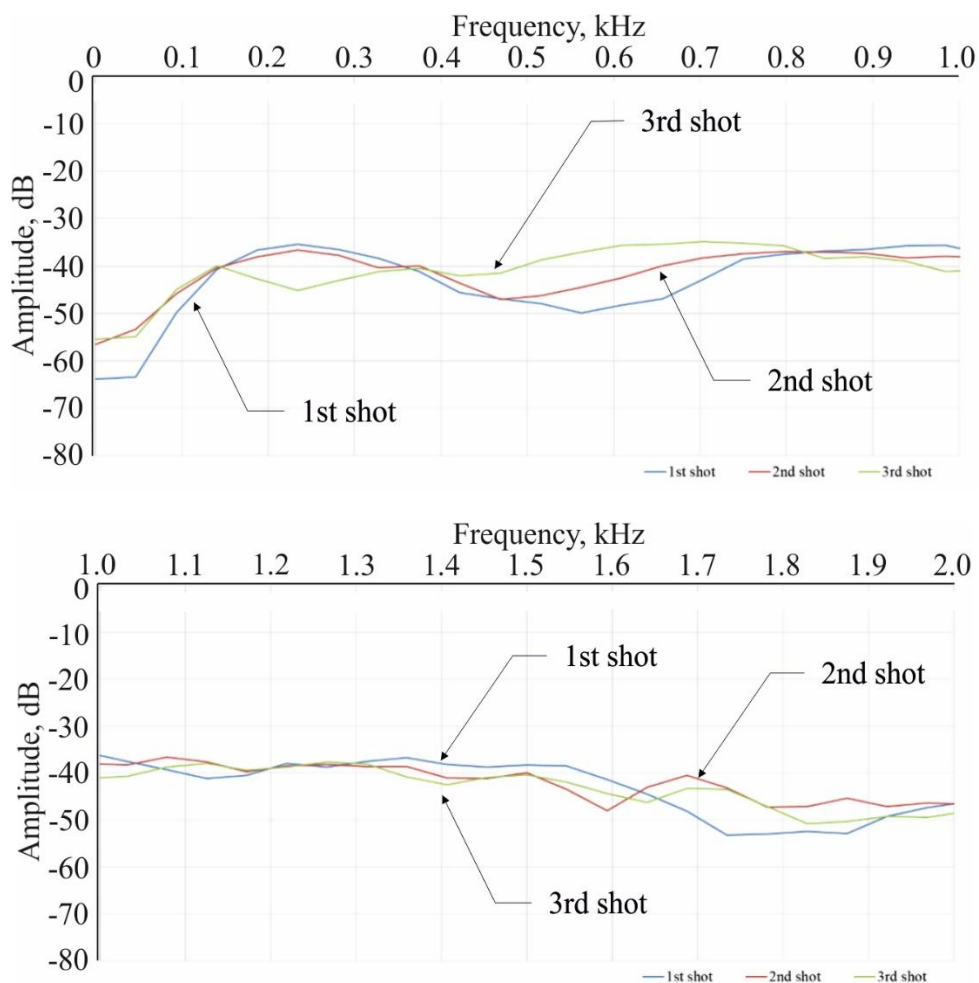


Рис. 10. Область ідентичних ділянок спектрів трьох пострілів пістолета Макарова калібру 9 мм

Під час експерименту для фільтрації сигналів використана порогова амплітуда, для визначення характеристик частот, на яких амплітуда сигналу перевищує встановлене порогове значення. У разі позитивного результату частота зберігається, в іншому випадку вона відкидається. Цей процес повторюється для всього діапазону частот. Ідентифікація процесу використання вогнепальної зброї відбувається за рахунок встановлення певної кількості збігів між отриманим та

еталонними спектрами. При виявленні чотирьох або більше збігів можна вважати, що даний спектр відповідає з ймовірністю не менше 80 % еталонному. При цьому, точність визначення становить 80 %, оскільки спектри можуть бути зміщені, і амплітуди можуть відрізнятися.

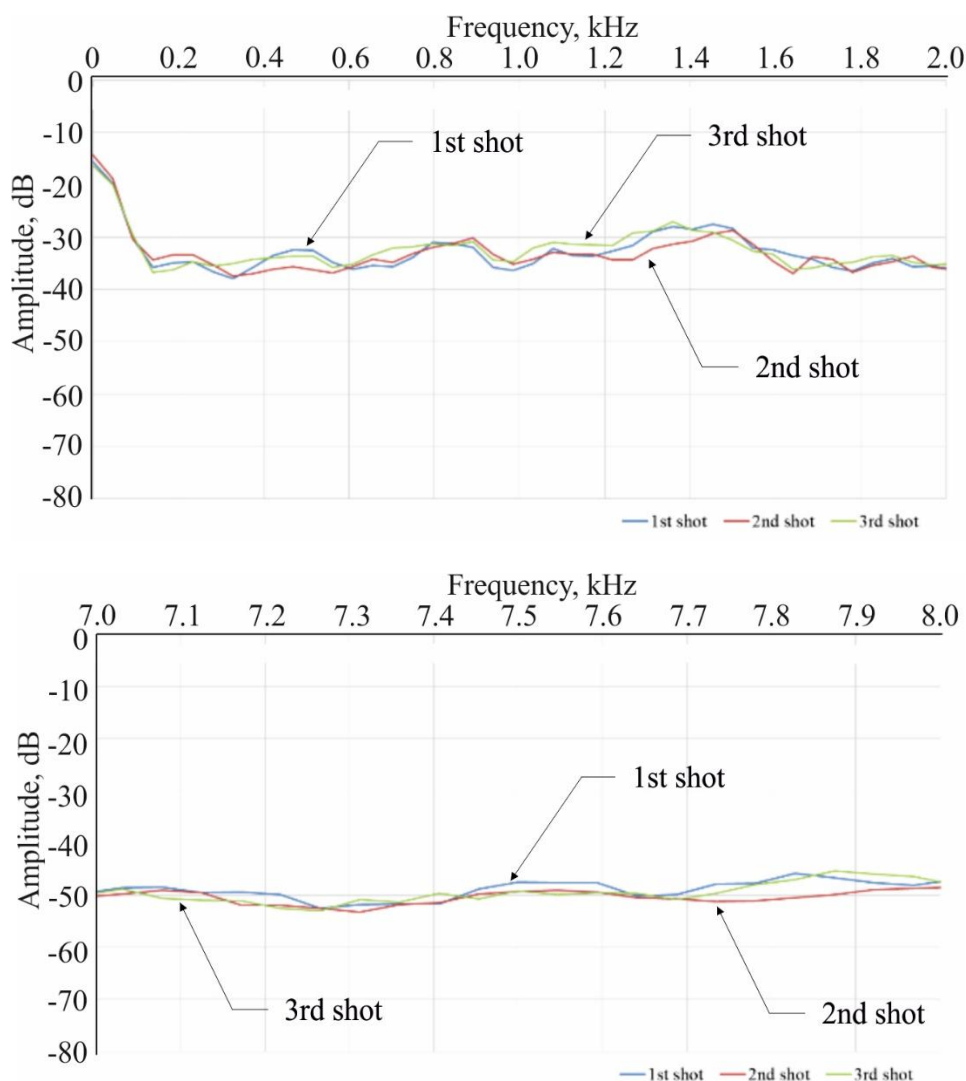


Рис. 11. Область ідентичних ділянок спектрів трьох пострілів травматичного пістолета «Форт-14Р»

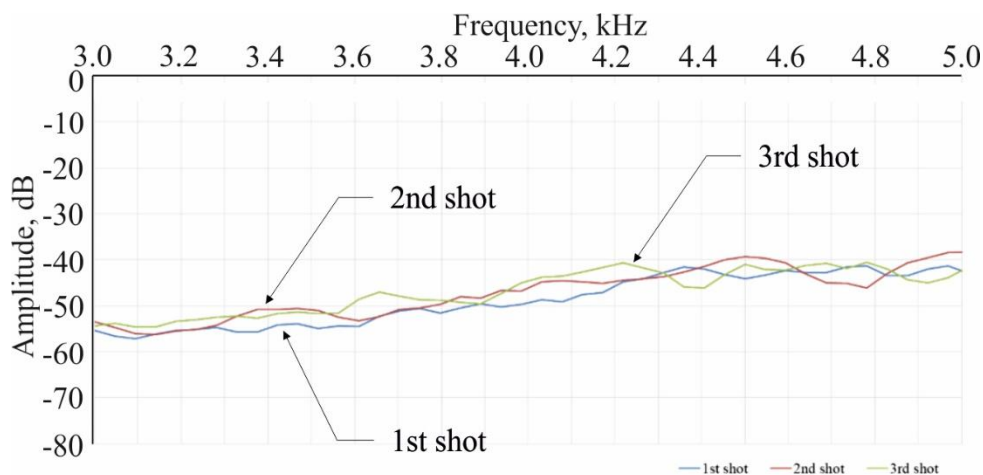


Рис. 12. Область ідентичних ділянок спектрів трьох пострілів автомата АК-74 калібру 5,45 мм

Для підвищення точності ідентифікації акустичного спектру в роботі застосовано метод віднімання спектрів. Це передбачає порівняння спектра, отриманого в поточному експерименті, з еталонним спектром, який був отриманий експериментально після проведення серії більше 50 пострілів. Так, для прикладу візьмемо три спектра пострілів зі стрілецької зброї (рис. 13), і порівняємо його з еталонним спектром, наведеним на рис. 14.

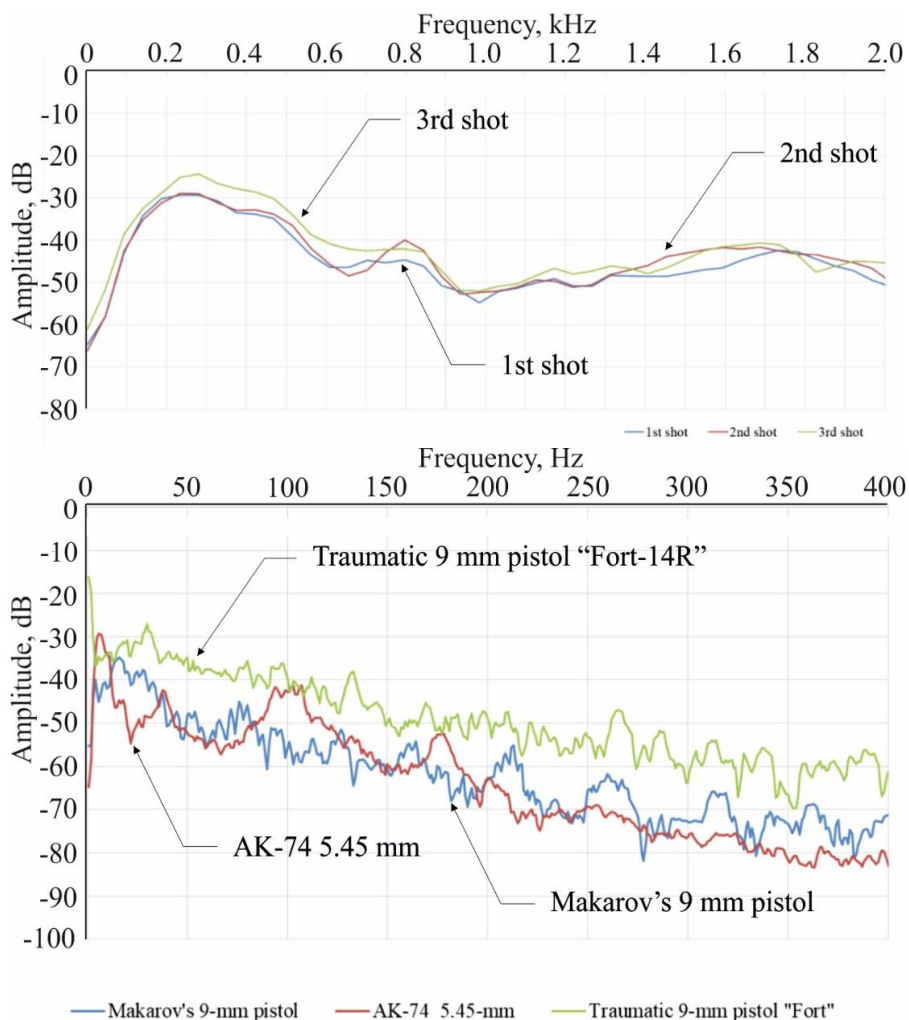


Рис. 13. Загальна амплітудно-частотні характеристики трьох пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолета «Форт-14Р» та автомата АК-74 калібру 5,45 мм

Достовірність результатів експерименту перевірялась методом критерію Ст'юдента, який призначений для оцінки статистичної значимості різниць між середніми значеннями вибірок, а також враховує обмежений розмір вибірки та забезпечує більш точні оцінки значущості відмінностей. В установлених межах 5 % відхилення результати дослідження все ще вважаються достовірними. З урахуванням цього, в роботі введено максимально допустиме інтервальне значення S_p . В межах цих інтервалів амплітудно-частотні характеристики пострілів вважаються достовірними для подальшого аналізу та інтерпретації (рис. 15).

Після застосування процедури віднімання еталонного спектра від експериментально отриманих спектрів пострілів, результати наведені на рис. 16, можна зробити висновок, що лише один з представлених спектрів при цьому методі дає результат, що наближається до нуля. Це свідчить про те, що отриманий сигнал з високою ймовірністю 0,95 відповідає еталонному, а саме постріл з автомата АК-74 калібру 5,45 мм.

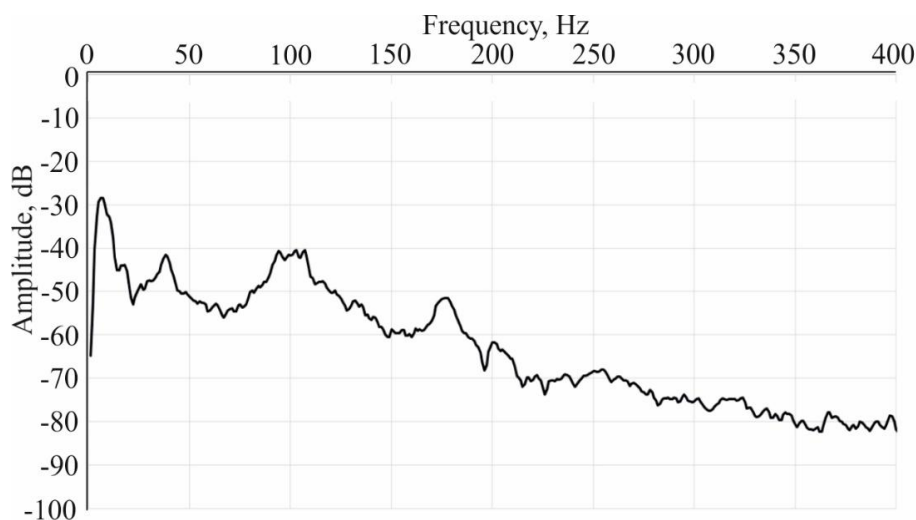
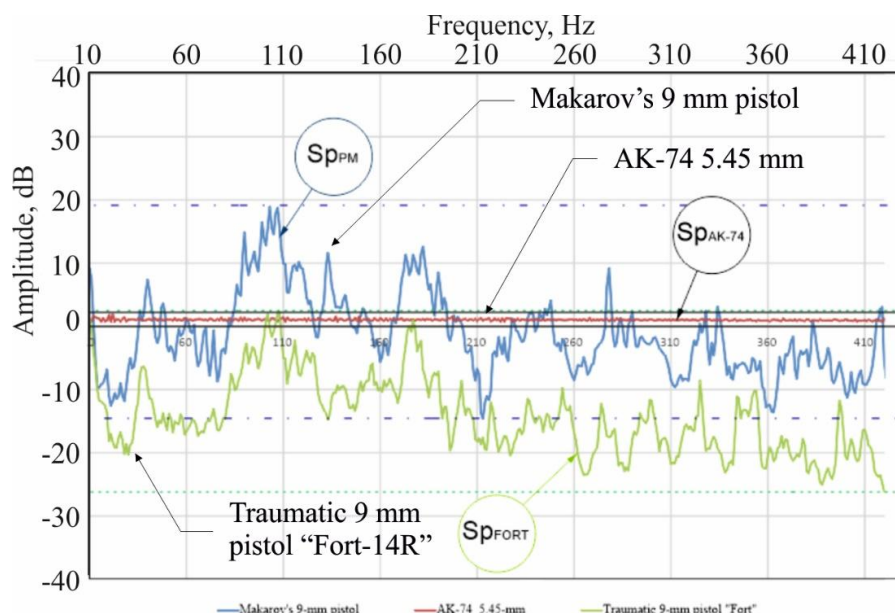


Рис. 14. Амплітудно-частотна характеристика еталонного спектра пострілу

Рис. 15. Максимально допустиме значення S_p пострілів

Отриманні результати дають змогу розробити функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу.

5.3. Апаратна реалізація удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї

Функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу представлено на рис. 17.

Реальний аналоговий акустичний сигнал від пострілу вогнепальної зброї надходить до акустичного датчику у вигляді: $S(t) = A(t) + n(t)$, де $A(t)$ – прийнятий корисний акустичний сигнал від пострілу вогнепальної зброї, $n(t)$ – прийнятий шум. Цей сигнал проходить попередню обробку шляхом фільтрації шуму $n(t)$ за допомогою фільтру MF.

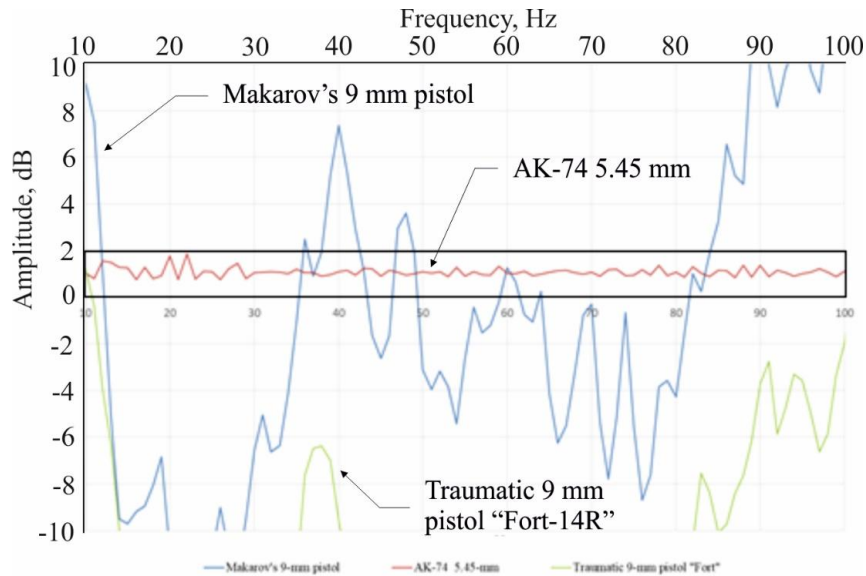


Рис. 16. Результати віднімання еталонного спектра від експериментально отриманих спектрів пострілів

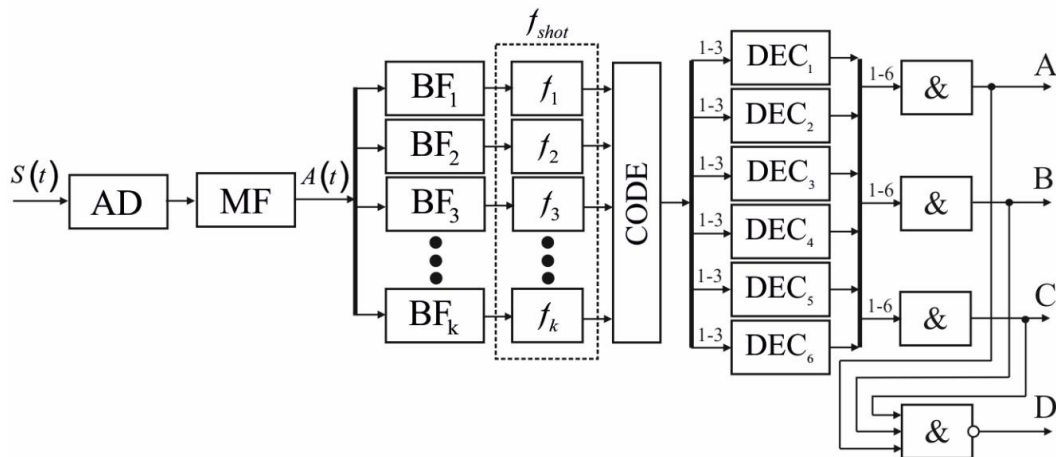


Рис. 17. Функціональна схема ідентифікації вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу: $S(t)$ – вхідний акустичний сигнал, амплітуда якого змінюється у часі t ; AD – акустичний датчик; MF – медіанний фільтр; BF_k – смугові фільтри, де k – кількість смугових фільтрів; f_{shot} – блок характеристичних частот пострілів; DEC – декодер; & – логічний елемент «Кон'юнкція»

Виділення характеристичних частот (f_i , де $i=1, \dots, k$) прийнятого корисного акустичного сигналу $A(t)$ здійснюється шляхом використання смугових фільтрів BF_k . Набір частот f_i формується з експериментальних даних для кожного типу вогнепальної зброї шляхом визначення спектральних гармонік з максимальними значеннями амплітуд (за умов максимальної енергії спектру). Результати аналізу експериментальних даних формують базу даних – блок характеристичних частот пострілів (f_{shot}), які є специфічними для конкретної зброї і дозволяють ідентифікувати її тип. Блок кодування (CODE) переводить сигнали на частотах f_i у двійковий код, з кількістю розрядів k . Результати кодування сигналів пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолета «Форт-14Р» 9 мм та автомата АК-74 калібру 5.45 мм представлено у табл. 2.

Процес ідентифікації вогнепальної зброї базується на аналізі 18-розрядного коду за 6 групами по 3 розряди (рис. 17), шляхом застосування декодерів (DEC) та

логічних елементів «Кон'юнкція». В залежності від результатів аналізу, в каналах А, В та С з'являється відповідна комбінація сигналів, що відображає особливості зафіксованого пострілу. У разі відсутності в цих каналах сигналів на рівні логічної «1», в каналі D з'являється сигнал, який свідчить, що прийнятий акустичний сигнал не відповідає відомим зразкам вогнепальної зброї. Таким чином, підхід дозволяє розробити засіб автоматичного визначення типу вогнепальної зброї, функціонування якого спирається на кодуванні гармонік прийнятого акустичного сигналу на характеристичних частотах та порівняння отриманих результатів з базою даних двійкових кодів для різних видів зброї.

Табл. 2. Комбінації двійкового коду відповідно до характеристичних частот спектрів пострілів досліджуваних зразків вогнепальної зброї

Вид зброї	Канал	Резонансна частота смугового фільтру, кГц																	
		f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅	f ₁₆	f ₁₇	f ₁₈
		0.6	0.8	1.3	1.5	1.7	2.3	2.8	3.0	3.6	4.0	4.5	6.0	7.7	8.4	8.9	11.6	12.3	13.6
		Двійковий код																	
ПМ 9 мм	А	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
АК-74 5.45 мм	В	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Форт-14Р	С	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0

Перспективою реалізації представленого у роботі підходу є розробка, на його основі, геоінформаційної системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різних типів вогнепальної зброї. Для цього передбачається виконання наступних процедур: 1) розміщення по території міста наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору; 2) збір та систематизація інформації про стан акустичного простору міста; 3) ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу; 4) моделювання розвитку НС терористичного характеру на території міста; 5) розробку та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС терористичного характеру на території міста, а також мінімізації їх наслідків.

6. Обговорення результатів акустичного моніторингу джерел надзвичайних ситуацій

В роботі показано, що для забезпечення надійної акустичної ідентифікації джерела терористичних дій і точного визначення місця його виникнення в межах міста необхідно дотримання умов $R_D \leq R_M$ рівняння (1), яке відображає закон збереження енергії та є рівнянням енергетичного балансу.

Експериментальним шляхом встановлено, що внаслідок зміни умов навколишнього середовища, невизначеності в методиках вимірювань, а також випадкових або систематичних помилок при обробці отриманих акустичних сигналів пострілів з однієї і тієї зброї спостерігаються зміщення (відхилення) акустичних спектральних характеристик, що відображено на рис. 9.

Підвищення ймовірності ідентифікації типу вогнепальної зброї за прийнятим акустичним сигналом при аналізі акустичного спектру пострілів досягається за рахунок врахування маси кулі, кількості порошу в патроні, швидкості кулі при вильоті із ствола, довжини та температури ствола тощо. Встановлено, що темпе-

ратура ствола є одним із найбільш значущих факторів, що впливає на відповідні характеристики спектрів звуку пострілів зі стрілецької зброї.

Для фільтрації сигналів використана порогова амплітуда, для визначення характеристик частот, на яких амплітуда сигналу перевищує встановлене порогове значення. Підвищення точності ідентифікації акустичного спектру в роботі зумовлено застосуванням методу віднімання спектрів. Достовірність результатів експерименту перевірялась методом критерію Ст'юдента,

Після застосування процедури віднімання еталонного спектра від експериментально отриманих спектрів пострілів (рис. 16), можна зробити висновок про те, що лише один з представлених спектрів при цьому методі дає результат, що наближається до нуля. Це свідчить про те, що отриманий сигнал з високою ймовірністю 0,95 відповідає еталонному, а саме постріл з автомата АК-74 калібру 5,45 мм.

Отримані результати дозволили розробити функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу (рис. 17). Процес ідентифікації вогнепальної зброї базується на аналізі 18-розрядного коду за 6 групами по 3 розряди, шляхом застосування декодерів (DEC) та логічних елементів «Кон'юнкція». В залежності від результатів аналізу відбувається ідентифікація прийнятого акустичного сигналу на відповідність відомим зразкам вогнепальної зброї, що дозволяє розробити засіб автоматичного визначення її типу.

Подальшим розвитком дослідження стане реалізація з використанням представленого у роботі підходу геоінформаційної системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різних типів вогнепальної зброї.

7. Висновки

1. Удосконалено метод ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів, який являє собою: визначення характеристик частот за умов перевищення порогового рівня амплітуд гармонік прийнятого сигналу; визначення енергії такого спектра; віднімання енергії еталонного спектра від енергій експериментально отриманих спектрів пострілів. Застосування удосконаленого методу для дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів з пістолету Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолету «Форт-14Р» та автомату АК-74 калібру 5,45 мм дозволило з ймовірністю 0,95 ідентифікувати тип вогнепальної зброї за прийнятим акустичним сигналом.

2. Розроблено функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу, яка включає: медіанний фільтр; смугові фільтри; блок характеристик частот пострілів; блок кодування; блок декодерів; блок логічних елементів «Кон'юнкція». Процес ідентифікації вогнепальної зброї базується на аналізі 18-розрядного коду за 6 групами по 3 розряди. В залежності від результатів аналізу, на виході засобу з'являється відповідна комбінація сигналів, що відображає особливості зафіксованого пострілу або свідчить, що прийнятий акустичний сигнал не відповідає відомим зразкам вогнепальної зброї.

3. Встановлені особливості розробки та функціонування, на основі схеми апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу, геоінформаційної системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різ-

них типів вогнепальної зброї. Для цього передбачається виконання наступних процедур: 1) розміщення по території міста наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору; 2) збір та систематизація інформації про стан акустичного простору міста; 3) ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу; 4) моделювання розвитку НС терористичного характеру на території міста; 5) розробку та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС терористичного характеру на території міста, а також мінімізації їх наслідків.

Література

1. Тютюник В. В., Тютюник О. О., Усачов Д. В. Особливості створення системи акустичного моніторингу джерел надзвичайних ситуацій у контексті розвитку концепції «Smart city». Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. Київ: Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту. 2023. № 2. С. 58–76. doi: 10.33269/nvcz.2023.2.58-76
2. Рубан І. В., Тютюник В. В., Тютюник О. О. Розвиток науково-технічних основ оперативного геоінформаційного акустичного моніторингу джерел терористичних небезпек. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: Національний університет оборони України. 2020. Вип. 3(39). С. 67–80. doi: 10.33099/2311-7249/2020-39-3-67-80
3. Стрілянина в супермаркеті Walmart у США: загинули до 10 людей. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-63726537>
4. У центрі Львова 24-річний чоловік влаштував стрілянину в готелі. URL: http://zaxid.net/u_tsentri_lvova_24_richniy_cholovik_vlashtuvav_strilyaninu_v_goteli_n1553963
5. Стрілянина в Римі: троє загинилих, четверо поранених. URL: <https://tsn.ua/svit/strilyanina-v-rimi-troye-zagiblih-chetvero-poranenih-2220880.html>
6. 39-річного чоловіка затримали за стрілянину біля лісу на Закарпатті. URL: https://zaxid.net/39_richnogo_cholovika_zatrimali_za_strilyaninu_bilya_lisu_na_zakarpatti_n1555003
7. Стрілянина в центрі Парижа: троє людей вбиті, кілька поранених. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64078090>
8. В американській школі сталася стрілянина: є загиблі. URL: <https://tsn.ua/svit/v-amerikanskiy-shkoli-stalasya-strilyanina-ye-zagibli-2249953.html>
9. Озброєний автоматом чоловік увірвався до посольства Азербайджану в Ірані і влаштував стрілянину. URL: <https://tsn.ua/svit/ozbroyeniy-avtomatom-cholovik-uvirvavsya-u-posolstvo-azerbaydzhanu-v-irani-i-vlashtuvav-strilyaninu-video-2252779.html>
10. У США сталася стрілянина: повідомляють про 10 загиблих. URL: <https://tsn.ua/svit/u-ssha-stalasya-strilyanina-povidomlyayut-pro-10-zagiblih-foto-2248942.html>
11. У США сталася чергова масова стрілянина: є жертви. URL: <https://tsn.ua/svit/v-ssha-stalasya-cherгова-masova-strilyanina-ye-zhertvi-2254741.html>
12. В університеті штату Мічиган сталася стрілянина: є загиблі та поранені. URL: <https://tsn.ua/svit/v-universiteti-shtatu-michigan-stalasya-strilyanina-ye-zagiblit-poraneni-2265409.html>
13. Друга масова стрілянина у Каліфорнії за кілька днів – семеро загиблих. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64383486>
14. Спочатку вбив батька, а потім ще 15 людей: журналіст про деталі наймасовішої стрілянини в історії Чехії. URL: <https://tsn.ua/exclusive/spochatku-vbiv-batka-a-potim-sche-15-lyudey-zhurnalist-pro-detali-naymasovishoyi-strilyanini-v-istoriyi-chehiyi-2477170.html>

15. У Стамбулі сталася стрілянина в італійській церкві – одна людина загинула. URL: <https://pmg.weukraine.tv/novyny/u-stambuli-stalasja-striljanina-v-italijskij-tserkvi-odna-ljudina-zahinula/>

16. У Грузії внаслідок стрілянини на ринку загинуло четверо людей. URL: https://zaxid.net/u_gruziyi_vnaslidok_strilyanini_na_rinku_zaginulo_chetvero_lyudey_n1579717

17. У Детройті внаслідок стрілянини у парку поранення отримали 9 осіб. Серед них мама і два сини. URL: https://lb.ua/world/2024/06/16/619152_detroyti_vnaslidok_strilyanini.html

18. У школі в США сталася стрілянина: загинули щонайменше четверо людей, підозрюють 14-річного підлітка. URL: <https://nv.ua/ukr/world/countries/strilyanina-u-ssha-pidlitok-vidkriv-vogon-po-lyudyah-chotiri-lyudini-zaginuli-50448394.html>

19. На Тернопільщині чоловік розстріляв людей біля сільської школи. URL: <https://lenta.te.ua/society/2024/08/15/203395.html>

20. Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 червня 2021 року «Щодо удосконалення мережі ситуаційних центрів та цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони», Введено в дію Указом Президента України від 18 червня 2021 року № 260/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text>

21. Татарнікова Т.О. Експертні дослідження матеріалів та засобів цифрового звукозапису: дис. на здобуття наук. ступеня канд. юрид. наук: спец. 12.00.09 «Кримінальний процес та криміналістика; судова експертиза; оперативно-розшукова діяльність». Київ: Національна академія внутрішніх справ, 2016. 238 с. URL: <https://elar.naiu.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/e0d8a667-8de2-4465-a190-ce312071ab6f/content>

22. Sniper Location & Gunshot Detection Systems. URL: https://defense-update.com/20081123_sniper_detection.html#google_vignette

23. Dennis Mares. Reducing Gunfire through Acoustic Technology. Problem-oriented guides for police. Response guide series № 14. Gunshot Detection. URL: https://www.researchgate.net/publication/365278760_PROBLEM-ORIENTED_GUIDES_FOR_POLICE_RESPONSE_GUIDE_SERIES_NO_14_GUNSHOT_DETECTION-Reducing_Gunfire_through_Acoustic_Technology

24. Rheinmetall brings Acoustic Shooter Locating System (ASLS) to market. URL: <https://www.defenceweb.co.za/land/land-land/rheinmetall-brings-acoustic-shooter-locating-system-asls-to-market/>

25. Acoustic shooter locating system. URL: <https://www.rheinmetall.com/en/products/c4i/reconnaissance-and-sensor-systems/asls-acoustic-shooter-locating-system#anchor-optional>

26. Boomerang Shooter Detection Technology. URL: <https://milcom-security.com/wp-content/uploads/BoomerangGeneral-102010-5.pdf>

27. Projectile Detection and Cueing (PDCue). URL: https://defense-update.com/20070511_pdcue.html#google_vignette

28. PEARL – Gunshot detection sensor for personal or group weapons. URL: https://issuu.com/robertbreedveld/docs/bss_holland_gunshot_detectie_pearl

29. Surveillance and Threat Detection Systems. URL: <https://www.dbkes.com.tr/brosur/pilarw.pdf>

30. Офіційний сайт компанії Microflown Avisa. URL: <https://www.microflown-avis.com/technology>

31. Sniper Egg. Detecting the threat. Protecting our forces. URL:

<https://defenceforumindia.com/attachments/sniper-egg-pdf.8391/>

32. PinPoint™ – Dismount shot Detection Systems. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/11476334/pinpointtm-dismount-shot-detection-systems>

33. Локатор джерела пострілу. URL: <https://ames.kpi.ua/lokator-dzherela-postrilu/>

34. Тютюник В. В., Левтеров О. А., Тютюник О. О., Усачов Д. В. Розвиток науково-технічних основ створення геоінформаційної системи акустичного моніторингу масштабних пожеж із рідкими органічними речовинами на території міста. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: Національний університет оборони України. 2024. Вип. 1(49). С. 111–127. doi: 10.33099/2311-7249/2024-49-1-111-127

V. Tiutiunyk¹, DSc, Professor, Head of Department

O. Lievtierov¹, DSc, Professor, Associate Professor of the Department

O. Tiutiunyk², PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

D. Usachov¹, Adjunct

¹ National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

² Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

ACOUSTIC MONITORING OF SOURCES OF EMERGENCY SITUATIONS RELATED TO THE DEVICE OF FIREARMS

The method of identifying the facts of the use of various types of firearms has been improved based on the use of the average characteristic of the acoustic spectrum of a shot, by determining the characteristic frequencies with maximum amplitude values, which consists in determining the characteristic frequencies under conditions of exceeding the threshold level of amplitudes of the harmonics of the received signal, determining the energy of such a spectrum, and subtracting the energy of the reference spectrum from the energies of the experimentally obtained spectra of shots. The use of the improved method for studying the characteristics of the acoustic spectra of shots from a Makarov pistol of 9 mm caliber, a traumatic pistol "Fort-14R" and an AK-74 assault rifle of 5.45 mm caliber made it possible to identify the type of firearms by the received acoustic signal with a probability of 0.95. Based on the research results, a functional diagram of the hardware implementation of the improved method for identifying the facts of using various types of firearms by the spectral properties of the received acoustic signal has been developed. The circuit implements a median filter, bandpass filters, a block of characteristic frequencies of shots, an encoding block, a decoder block and a block of logical elements "Conjunction". The identification process consists of analyzing an 18-bit code in 6 groups of 3 digits, at the output of the processing results there is a corresponding combination of signals that determines the belonging to a certain type of weapon and / or its presence in the database of known samples. Based on the hardware implementation circuit of the improved method for identifying the facts of the use of various types of firearms by the spectral properties of the received acoustic signal, the features of the development and operation of a geographic information system for acoustic monitoring of terrorist emergencies and automated identification of facts of use in an urban area are established.

Keywords: monitoring, identification, acoustic signal, signal filtration, spectral analysis, amplitude-frequency characteristic

References

1. Tiutiunyk, V., Tiutiunyk, O., Usachov, D. (2023). Features of Creating a System of Acoustic Monitoring of Emergency Sources in the Context of the Development of the Smart City Concept. *Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. Kyiv: Instytut derzhavnoho upravlinnya ta naukovykh doslidzhen' z tsyvil'noho zakhystu, 2, 58–76. doi: 10.33269/nvcz.2023.2.58-76

2. Ruban, I., Tiutiunyk, V., Tiutiunyk, O. (2020). Development of Scientific and Technical Basis of Operational Geoinformation Acoustic Monitoring of Sources of Terrorist Threats. *Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony*. Kyiv: Natsional'nyy universytet oborony Ukrayiny, 3(39), 67–80. doi: 10.33099/2311-7249/2020-39-3-67-80

3. Strilyanyina v supermarketi Walmart u SSHA: zahynuly do 10 lyudey. Available at: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-63726537>
4. U tsentri L'vova 24-richnyy cholovik vlashtuvav strilyanynu v hoteli. Available at: http://zaxid.net/u_tsentri_lvova_24_richniy_cholovik_vlashtuvav_strilyaninu_v_goteli_n1553963
5. Strilyanyina v Rymi: troye zahyblykh, chetvero poranenykh. Available at: <https://tsn.ua/svit/strilyanina-v-rimi-troye-zagiblih-chetvero-poranenih-2220880.html>
6. 39-richnoho cholovika zatrymaly za strilyanynu bilya lisu na Zakarpatti. Available at: https://zaxid.net/39_richnogo_cholovika_zatrimali_za_strilyaninu_bilya_lisu_na_zakarpatti_n1555003
7. Strilyanyina v tsentri Paryzha: troye lyudey vbyti, kil'ka poranenykh. Available at: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64078090>
8. V amerykans'kiy shkoli stalasya strilyanyina: ye zahybli. Available at: <https://tsn.ua/svit/v-amerikanskiy-shkoli-stalasya-strilyanina-ye-zagibli-2249953.html>
9. Ozbroyenyi avtomatom cholovik uvirvavsya do posol'stva Azerbaydzhanu v Irani i vlashtuvav strilyanynu. Available at: <https://tsn.ua/svit/ozbroyeniy-avtomatom-cholovik-uvirvavsya-u-posolstvo-azerbaydzhanu-v-irani-i-vlashtuvav-strilyaninu-video-2252779.html>
10. U SSHA stalasya strilyanyina: povidomlyayut' pro 10 zahyblykh. Available at: <https://tsn.ua/svit/u-ssha-stalasya-strilyanina-povidomlyayut-pro-10-zagiblih-foto-2248942.html>
11. U SSHA stalasya chervova masova strilyanyina: ye zhertvy. Available at: <https://tsn.ua/svit/v-ssha-stalasya-chervova-masova-strilyanina-ye-zhertvi-2254741.html>
12. V universyteti shtatu Michyhan stalasya strilyanyina: ye zahybli ta poraneni. Available at: <https://tsn.ua/svit/v-universiteti-shtatu-michigan-stalasya-strilyanina-ye-zagibli-ta-poraneni-2265409.html>
13. Druha masova strilyanyina u Kaliforniyi za kil'ka dniv – semero zahyblykh. Available at: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64383486>
14. Spochatku vbyv bat'ka, a potim shche 15 lyudey: zhurnalist pro detali naymasovishoyi strilyanyiny v istoriyi Chekhiyi. Available at: <https://tsn.ua/exclusive/spochatku-vbiv-batka-a-potim-sche-15-lyudey-zhurnalist-pro-detali-naymasovishoyi-strilyanini-v-istoriyi-chehiyi-2477170.html>
15. U Stambuli stalasya strilyanyina v italiys'kiy tserkvi – odna lyudyna zahynula. Available at: <https://pmg.weukraine.tv/novyny/u-stambuli-stalasya-strilyanina-v-italijskij-tserkvi-odna-ljudyna-zahynula/>
16. U Hruziyi vnaslidok strilyanyiny na rynku zahynulo chetvero lyudey. Available at: https://zaxid.net/u_gruziyi_vnaslidok_strilyanini_na_rinku_zaginulo_chetvero_lyudey_n1579717
17. U Detroyti vnaslidok strilyanyiny u parku poranennya otrymaly 9 osib. Sered nykh mama i dva syny. Available at: https://lb.ua/world/2024/06/16/619152_detroyti_vnaslidok_strilyanini.html
18. U shkoli v SSHA stalasya strilyanyina: zahynuly shchonaymenshe chetvero lyudey, pidozryuyut' 14-richnoho pidlitka. Available at: <https://nv.ua/ukr/world/countries/strilyanina-u-ssha-pidlitok-vidkriv-vogon-po-lyudyah-chotiri-lyudini-zaginuli-50448394.html>
19. Na Ternopil'shchyni cholovik rozstrilyav lyudey bilya sil's'koyi shkoly. Available at: <https://lenta.te.ua/society/2024/08/15/203395.html>
20. Rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrayiny vid 4 chervnya

2021 roku «Shchodo udoskonalennya merezhi sytuatsiynykh tsentriv ta tsyfrovoyi transformatsiyi sfery natsional'noyi bezpeky i oborony», Vvedeno v diyu Ukazom Prezidenta Ukrayiny vid 18 chervnya 2021 roku #260/2021. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text>

21. Tatarnikova, T. O. (2016). Ekspertni doslidzhennya materialiv ta zasobiv tsyfrovoho zvukozapysu: dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. yuryd. nauk: spets. 12.00.09 «Kryminal'nyy protses ta kryminalistyka; sudova ekspertyza; operatyvno-rozshukova diyal'nist'». Kyiv: Natsional'na akademiya vnutrishnikh sprav, 238. Available at: <https://elar.naiu.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/e0d8a667-8de2-4465-a190-ce312071ab6f/content>

22. Sniper Location & Gunshot Detection Systems. Available at: https://defense-update.com/20081123_sniper_detection.html#google_vignette

23. Dennis Mares. Reducing Gunfire through Acoustic Technology. Problem-oriented guides for police. response guide series NO. 14. GUNSHOT DETECTION. Available at: https://www.researchgate.net/publication/365278760_PROBLEM-ORIENTED_GUIDES_FOR_POLICE_RESPONSE_GUIDE_SERIES_NO_14_GUNSHOT_DETECTION-Reducing_Gunfire_through_Acoustic_Technology

24. Rheinmetall brings Acoustic Shooter Locating System (ASLS) to market. Available at: <https://www.defenceweb.co.za/land/land-land/rheinmetall-brings-acoustic-shooter-locating-system-asls-to-market/>

25. Acoustic shooter locating system. Available at: <https://www.rheinmetall.com/en/products/c4i/reconnaissance-and-sensor-systems/asls-acoustic-shooter-locating-system#anchor-optional>

26. Boomerang Shooter Detection Technology. Available at: <https://milcom-security.com/wp-content/uploads/BoomerangGeneral-102010-5.pdf>

27. Projectile Detection and Cueing (PDCue). Available at: https://defense-update.com/20070511_pdcue.html#google_vignette

28. PEARL – Gunshot detection sensor for personal or group weapons. Available at: https://issuu.com/robertbreedveld/docs/bss_holland_gunshot_detectie_pearl

29. Surveillance and Threat Detection Systems. Available at: <https://www.dbkes.com.tr/brosur/pilarw.pdf>

30. Ofitsiynyy sayt kompaniyi Microflown Avisa. Available at: <https://www.microflown-avisa.com/technology>

31. Sniper Egg. Detecting the threat. Protecting our forces. Available at: <https://defenceforumindia.com/attachments/sniper-egg-pdf.8391/>

32. PinPoint™ – Dismount shot Detection Systems. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/view/11476334/pinpointtm-dismount-shot-detection-systems>

33. Lokator dzherela postrilu. Available at: <https://ames.kpi.ua/lokator-dzherela-postrilu/>

34. Tiutiunyk, V., Lievtierov, O., Tiutiunyk, O., Usachov, D. (2024). The Peculiarities of Acoustic Monitoring of Large Fires with Rare Organic Substances in Urban Areas. Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony. Kyiv: Natsional'nyy universytet oborony Ukrayiny, 1(49), 111–127. doi: 10.33099/2311-7249/2024-49-1-111-127

Надійшла до редколегії: 12.10.2024

Прийнята до друку: 16.11.2024