

В.В. Тютюник¹, д.т.н., професор, нач. каф. (ORCID 0000-0001-5394-6367)
О.А. Левтеров¹, д.т.н., професор, доцент каф. (ORCID 0000-0001-5926-7146)
О.О. Тютюник², к.т.н., доцент, доцент каф. (ORCID 0000-0002-3330-8920)
Д.В. Усачов¹, ад'юнкт (ORCID 0000-0002-1140-9798)

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

²Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна

РОЗВИТОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЖЕРЕЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ЯКІ ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАСТУВАННЯМ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

З метою розвитку науково-технічних основ створення геоінформаційної системи моніторингу надзвичайних ситуацій терористичного характеру, як складової підсистеми Safe City в системі Smart City, в роботі представлені результати дослідження акустичних спектрів пострілів різних типів вогнепальної зброї. Автори пропонують метод ідентифікації акустичних спектрів пострілів за характеристичними частотами (екстремуми амплітудно-частотних характеристик) та порівняння енергії спектру. В роботі розглянутий приклад застосування запропонованого методу для ідентифікації пострілів з пістолету Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолету «Форт-14Р» та автомату АК-74 калібру 5,45 мм. Розроблено функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу.

Ключові слова: SAFE CITY, моніторинг надзвичайних ситуацій, тероризм, ідентифікація вогнепальної зброї, акустичний сигнал від пострілу, фільтрація сигналів, спектральний аналіз, амплітудно-частотна характеристика, енергія спектра, віднімання спектрів, ситуаційний центр, підтримка прийняття антикризових рішень.

1. Вступ

Важливою умовою протидії основним загрозам для міст України є створення ефективної системи «SAFE CITY», складові підсистеми якої перебувають у тісних взаємозв'язках і взаємозалежностях, а також охоплюють такі види безпеки як: політична, економічна, державна, соціальна, інформаційна, економічна, гуманітарна, військова, цивільна, пожежна, екологічна тощо. Функціонування такої системи безпеки передбачає діяльність із виявлення, попередження та усунення загроз для безпеки в усіх важливих сферах життєдіяльності міст держави [1].

На сьогодні до небезпек з великим рівнем соціальних та матеріальних збитків для життєдіяльності міст віднесено тероризм як суспільно-небезпечну діяльність, що полягає у свідомому і цілеспрямованому застосуванні насильства, шляхом захоплення заручників, підпалів, убивств, залякування населення та органів влади або вчинення інших посягань на життя і здоров'я ні в чому не

винних людей або погрози вчинення злочинних дій з метою досягнення злочинних цілей.

Терористична діяльність охоплює: 1) планування, організацію, підготовку і реалізацію терористичних актів; 2) підбурювання до вчинення терористичних актів, насильство над фізичними особами або організаціями, знищення матеріальних об'єктів у терористичних цілях; 3) організацію незаконних збройних формувань, злочинних угруповань (злочинних організацій), організованих злочинних груп для вчинення терористичних актів, так само як і участь в таких актах; 4) вербування, озброєння, підготовку та використання терористів; 5) пропаганду і поширення ідеології тероризму; 6) фінансування завідомо терористичних груп (організацій) або інше сприяння їм [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 на земній кулі, існує значна кількість небезпечних подій з використанням вогнепальної зброї, серед яких є стрілянини: в супермаркеті Walmart в місті Чесапек (штат Вірджинія, США). Загибло до десяти людей, повідомляється про велику кількість поранених (листопад 2022 року) [3]; в готелі у центрі Львова (Україна). Обійшлося без жертв (грудень 2022 року) [4]; на зборах членів об'єднання Valleverde, що налічує 200 людей та управляє будинком у районі водосховища Турано (Рим, Італія). В результаті троє загиблих та четверо поранених [5]; біля лісу на Закарпатті (Україна). Обійшлося без жертв (грудень 2022 року) [6]; в центрі Парижа (Франція). Загибло 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]; в Лос-Анджелесі під час святкування китайського Нового року (штат Каліфорнія, США). Щонайменше десять осіб загинули (січень 2023 року) [10]; у місті Лейкленд (штат Флорида, США). У результаті чергової масової стрілянини загибло троє людей, ще семеро госпіталізовані з травмами різного ступеня тяжкості (січень 2023 року) [11]; в університеті американського містечка Іст-Лансінг (штат Мічиган, США). Через дії озброєного чоловіка загинули троє студентів та п'ятеро поранено (лютий 2023 року) [12]; у прибережному місті Хаф-Мун-Бей, приблизно за 50 км на південь від Сан-Франциско (штат Каліфорнія, США). Озброєний чоловік убив сімох людей (лютий 2023 року) [13]; у центрі Праги (Чехія) чоловік почав стрілянину у приміщенні Карлового університету. Внаслідок цього 14 людей загибло та 26 поранено. Згодом ще один чоловік помер у лікарні. Серед постраждалих – троє іноземних громадян. Нападник застрелився сам (грудень 2023 року) [14]; під час служби в італійській церкві Санта-Марія (район Сарієр, Стамбул) сталась стрілянина. Одна людина отримала смертельне поранення (січень 2024 року) [15]; у грузинському місті Руставі (Грузія), озброєний чоловік відкрив стрілянину на місцевому ринку. Внаслідок стрілянини загибло четверо людей (лютий 2024 року) [16]; у Детройті (США, штат Мічиган) внаслідок стрілянини

у парку поранення отримали 9 осіб. Стрілець під'їхав до парку, підійшов до майданчика і 28 разів вистрілив, кілька разів зупиняючись для перезарядки [17]; в американському місті Віндер (США, штат Джорджія) у старшій школі Апалачі 14-річний юнак відкрив вогонь, внаслідок чого загинуло четверо людей, ще дев'ятеро були поранені (вересень 2024 року) [18]; на Тернопільщині (Україна) військовий біля сільської школи розстріляв людей. Загинуло двоє людей, ще трьох з важкими пораненнями доправили до лікарні [19].

Виходячи з аналізу цих небезпечних подій, необхідно вказати те, що на сьогодні процес виявлення факту використанням 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 вказує на необхідність термінового розв'язання питань включення до складу системи «SAFE CITY» різних функціональних елементів територіальної автоматизованої системи моніторингу НС та ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття відповідних антикризових рішень для розв'язання різних функціональних задач виявлення, ідентифікації, попередження та ліквідації терористичних дій, які пов'язані із незаконним зберіганням та використанням вогнепальної зброї.

Актуальності проведенню цих наукових досліджень надає той факт, що Рада національної безпеки і оборони України вирішила розширити та у подальшому розвинути єдину мережу ситуаційних центрів, до складу якої мають входити Головний ситуаційний центр України, Урядовий ситуаційний центр, ситуаційні центри органів сектору безпеки і оборони, ситуаційні центри центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій, а також резервні та рухомі ситуаційні центри [20].

В той же час, у порівнянні з відеофіксацією (основне джерело інформації для функціонування ситуаційних центрів в 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, а також від умов видимості та розміру зброї. Це і обумовило напрямок наших досліджень.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Результати проведеного аналізу літературних даних та інформаційних Інтернет-ресурсів [21–33] свідчать про те, що сучасні методи та засоби аналізу акустичних характеристик джерел небезпек можливо поєднати у два 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 цих 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 у цій галузі є ряд світових компанії. 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].

Мініатюрна версія цієї 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 цього локатору 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 дозволяю 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 ця 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, но також ручних протитанкових гранатометів, мінометів та протитанкових ракет. Новий 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 площадках, 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] авторами запропоновано структурну схему пристрою локації джерела вогнепальних пострілів. Представлено опис структурної схеми та принцип функціонування макету пристрою. Дано пояснення алгоритму запису та обробки сигналу. Приведені результати лабораторних випробувань макету та оцінка 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.

Виходячи з вище висловленого, одним з перспективних напрямків розвитку системи «SAFE CITY» є розповсюдження методу спектрального аналізу акустичних коливань для створення системи штучного інтелекту для моніторингу надзвичайних ситуацій терористичного характеру та автоматизованої ідентифікації у міській зоні фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів.

3. Мета та завдання дослідження

Метою цієї 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 поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: 1) дослідити особливості функціонування на території міста системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру, які пов'язані із незаконним використанням вогнепальної зброї; 2) удосконалити метод ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів; 3) розробити функціональну схему апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за акустичними властивостями.

4. Особливості функціонування на території міста системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру, які пов'язані із незаконним використанням вогнепальної зброї

Система акустичного моніторингу НС терористичного характеру включає розміщені на території міста наземні стаціонарні засоби автоматизованого контролю акустичного простору, ситуаційний центр, підсистему зв'язку та передачі телеметричної інформації, а також підсистему виконання антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС. Функціональну схему цієї системи представлено на рис. 1 [1, 2, 34].

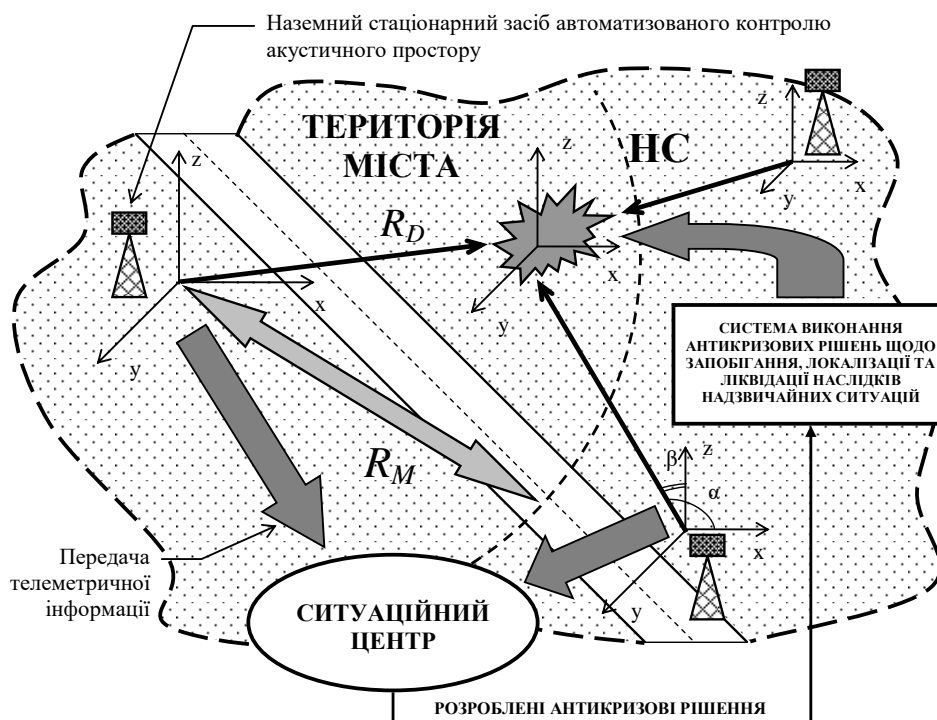


Рис. 1. Схема функціонування на території міста системи акустичного моніторингу НС терористичного характеру

Основним показником ефективності функціонування підсистеми оперативного акустичного моніторингу зони НС на території міста є достовірність ідентифікації джерела небезпеки за видом та місцем виникнення.

Фактори, які можуть впливати на достовірність акустичної ідентифікації джерела небезпеки, можливо об'єднати у три групи. До першої групи належать фактори, які характеризують безпосередньо динаміку зміни показників розвитку джерела небезпеки. До другої групи факторів належать тактико-технічні характеристики засобів контролю акустичного простору (метрологічні та експлуатаційні показники засобів отримання та обробки інформації). До третьої групи факторів належать географічні та фізико-хімічні характеристики місця виникнення джерела небезпеки та середовища розповсюдження інформаційного акустичного сигналу.

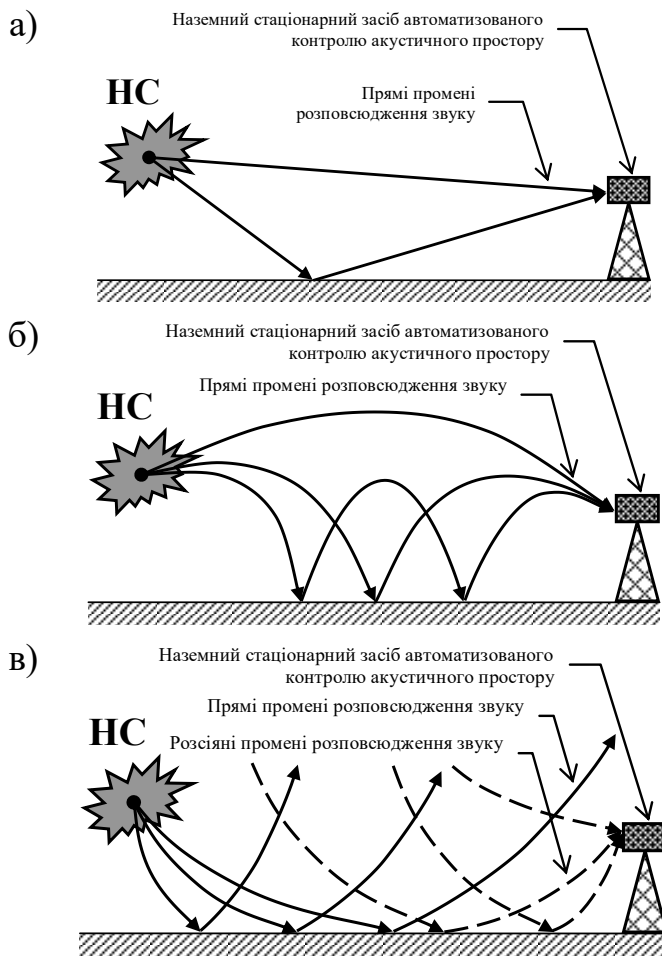


Рис. 2. Променеві картини розповсюдження звуку в атмосфері від джерел терористичних дій до наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору в різних метеорологічних умовах: а) нейтральний режим; б) хвилевідний режим (приведено тільки промені типу "верх-низ"); в) антихвилевідний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

Нейтральний режим розповсюдження звуку (рис. 2, а) характерний для відносно не великих відстаней та при прямій видимості. Так, в точці пройму наземного стаціонарного засобу автоматизованого контролю акустичного простору відбувається інтерференція прямого (випромінюваного джерелом терористичних дій) та відбитого від поверхні Землі променів.

За умов приземного розповсюдження в атмосфері звуку від джерела терористичних дій на великі відстані характеристики акустичних хвиль визначаються головним образом рефракцією на градієнтах температури та швидкості вітру, що призводить до виникнення хвилевідного режиму (рис. 2, б) та антихвилевідного режиму (рис. 2, в). У першому випадку промені загибаються до низу з багаторазовим відбитком від Землі. Цьому режиму поширення звуку притаманні відносно малі значення ослаблення звуку.

В іншому випадку промені загибаються вгору і зона акустичної тіні виникає біля Землі на певній відстані від джерела НС. Тому, тільки дуже слабкий звук, розсіяний турбулентними неоднорідностями у верхніх шарах атмосфери,

проникає у цю зону. Ці два режиму розповсюдження звуку працюють в основному на відстанях які перевищують 1 км.

В той же час, територія великого міста характеризується функціонуванням динамічно-розгалуженої системи забудови на великій площі поверхні земної кулі, де локально та ймовірно виникають різні атмосферні процеси, а також існує велика концентрація на одиниці площі об'єктів різного функціонального призначення, будівель та споруд з різною кількістю поверхів, автотранспортів шляхів тощо. Всі ці фактори сприяють виникненню перешкод для ефективного прийому інформаційного сигналу засобів контролю акустичного простору. Тому, розглядаючи умови акустичного моніторингу за зоною НС на територія такого міста виникає доцільність встановлення засобів контролю акустичного простору на відстанях які не перевищують 1 км.

В таких умовах виникає необхідність аналізу ефективності функціонування засобів контролю акустичного простору у режиму слабкої рефракції звуку, який можливо віднести до випадку прямого поширення звукової хвилі в точку спостереження. При цьому режимі (див. рис. 2, а) в точку спостереження приходять тільки два променя: прямий промінь, який не має точки повороту, та відбитий від Землі промінь, де променева картина розповсюдження звуку характеризується зневажливо малою кривизною траєкторій променів. Розрахунок звукових тисків у цьому випадку можливо виконати за виразом:

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

де R_M – радіус зони імовірнісної 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) виражає закон збереження енергії та є рівнянням енергетичного балансу. Всі складові правої частини цього рівняння, крім складової $L_s(f)$, мають, як правило, від'ємне значення. Для достовірної акустичної ідентифікації джерела терористичних дій та визначення на території міста місця виникнення цього джерела необхідно виконання наступних умов: $R_D \leq R_M$.

5. Удосконалення методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів

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 акустичних хвиль від пострілів з вогнепальної зброї. Для проведення лабораторних досліджень застосовано лабораторну установку, функціональна схема якої представлена на рис. 3.

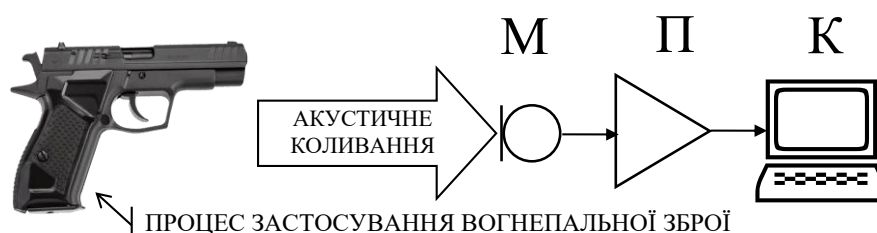


Рис. 3. Схема лабораторної установки: М – мікрофон; П – підсилювач; К – комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням

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. 4–6.

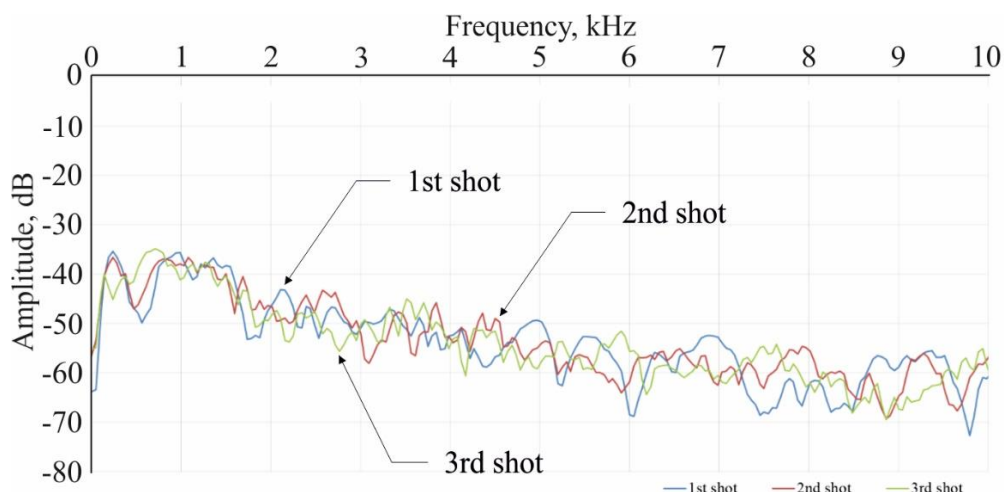


Рис. 4. Спектри пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм

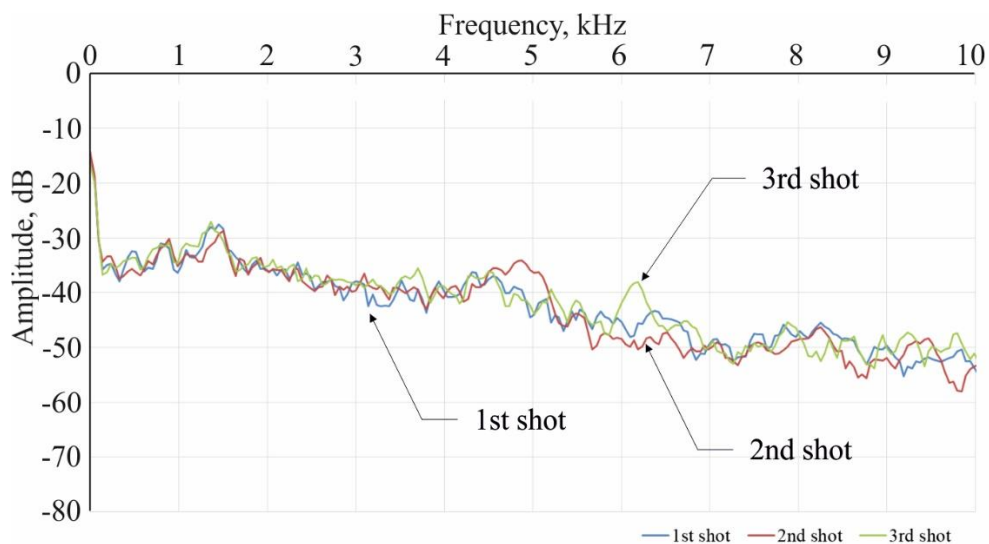


Рис. 5. Спектри пострілів з травматичного пістолета «Форт–14Р»

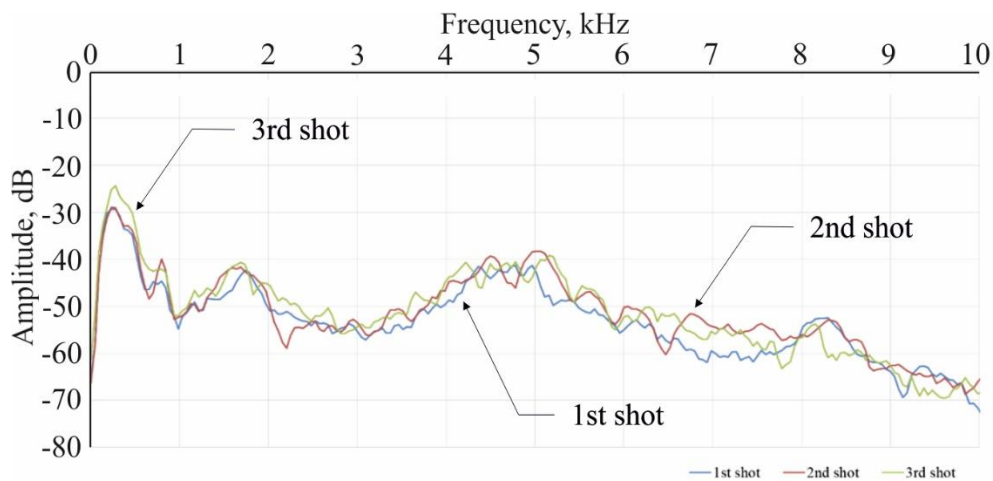


Рис. 6. Спектри пострілів з автомата АК–74 калібру 5.45 мм

Таблиця 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

За результатами порівняльного аналізу наведених на рис. 4–6 результатів досліджень складено середню характеристику акустичного спектру пострілу для трьох типів вогнепальної зброї, шляхом визначення характеристичних частот з

максимальними значеннями амплітуд. Результати обробки експериментальних даних наведено в табл. 1.

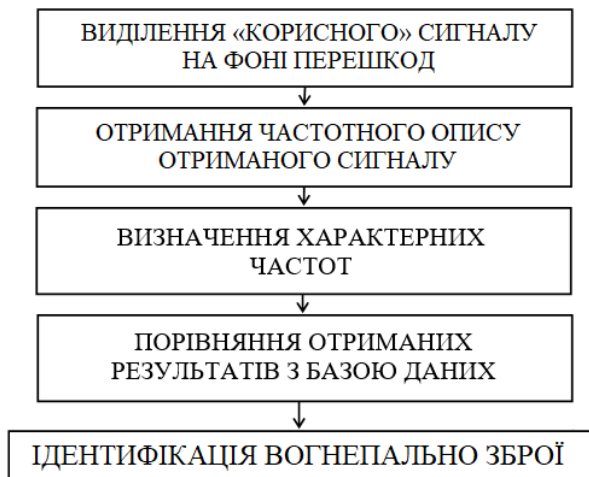


Рис. 7. Алгоритм ідентифікації різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів

Для ідентифікації пострілу запропоновано наступний алгоритм (рис 7): 1) виділення «корисного» сигналу на фоні перешкод (фільтрування); 2) отримання частотного (спектрального) опису отриманого сигналу; 3) визначення характеристичних частот (частоти з амплітудою, що перевищує встановлене порогове значення – див. рис. 8) отриманого сигналу; 4) порівняння отриманих результатів з базою даних щодо ідентифікації вогнепальної зброї.

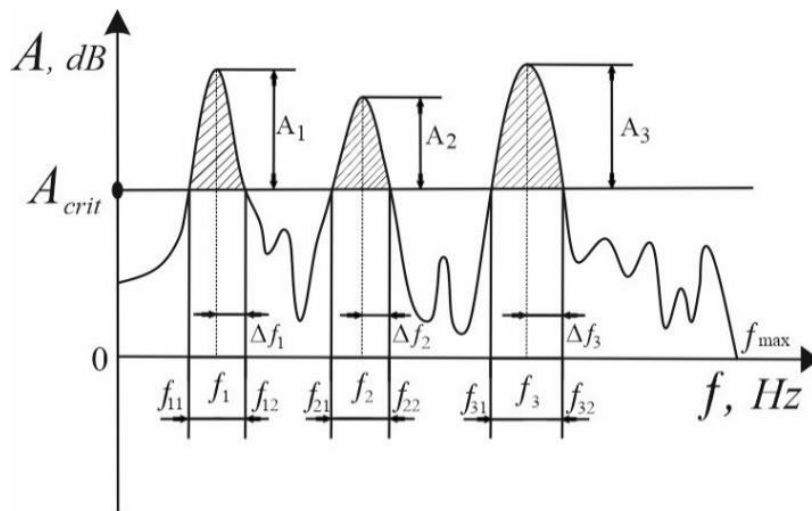


Рис. 8. Визначення характеристичних частот спектру пострілу та визначення енергії спектра на відповідних гармоніках: A_i – амплітуда i -ї гармоніки спектру; f_i – частота i -ї гармоніки спектру; Δf_i – допустимий діапазон коливання частоти i -ї гармоніки спектру прийнятого сигналу (див. табл. 1); A_{crit} – 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:

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

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

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

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

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

Процес ідентифікації зброї відбувається за умови:

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

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 .

6. Експериментальні дослідження та обговорення спроможностей удосконаленого методу для ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів

За результатами дослідження спроможностей удосконаленого методу для ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів необхідно висловити наступне.

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 пороху в патроні, швидкість кулі при вильоті із ствола, довжина та температура ствола тощо.

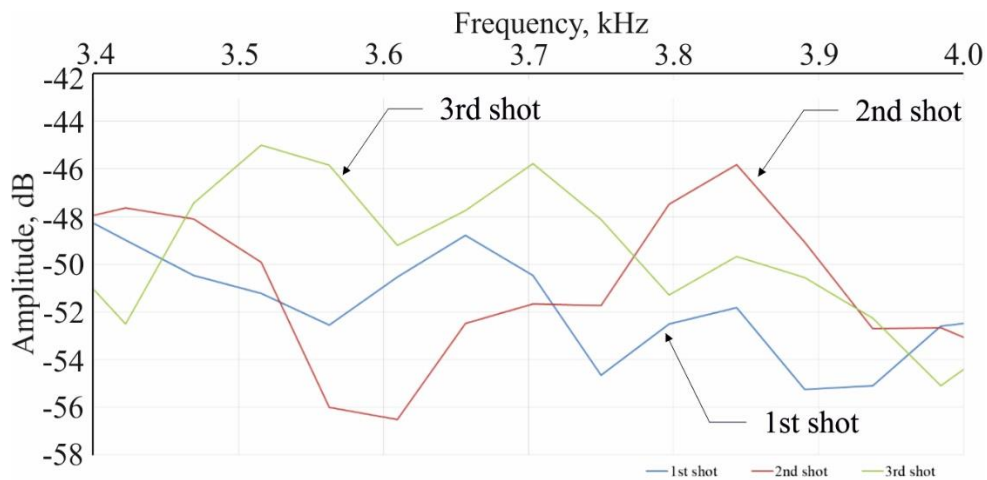


Рис. 9. Зміщення у спектральних характеристиках пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм

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 % ($\Delta f_i = 0,05 f_i$).

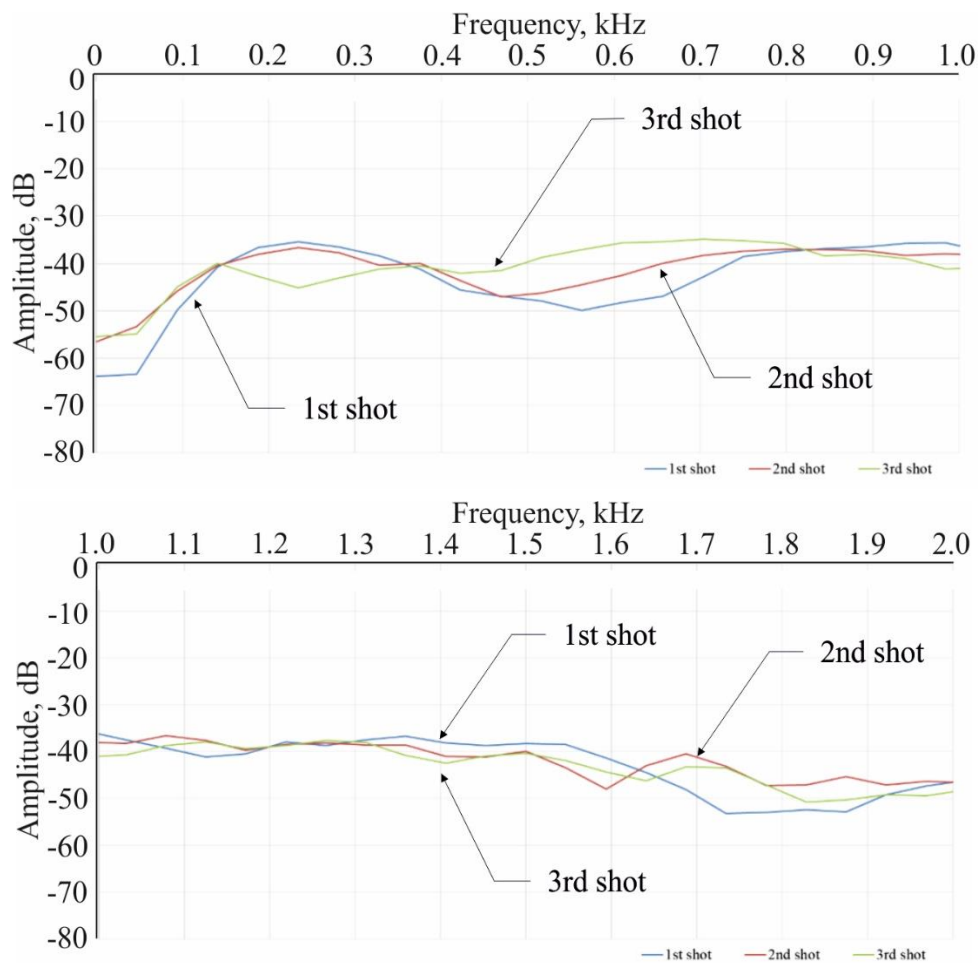


Рис. 10. Область ідентичних ділянок спектрів трьох пострілів пістолета Макарова калібру 9 мм

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.

Найбільш важливим фактором який впливає на характеристики спектрів пострілів 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).

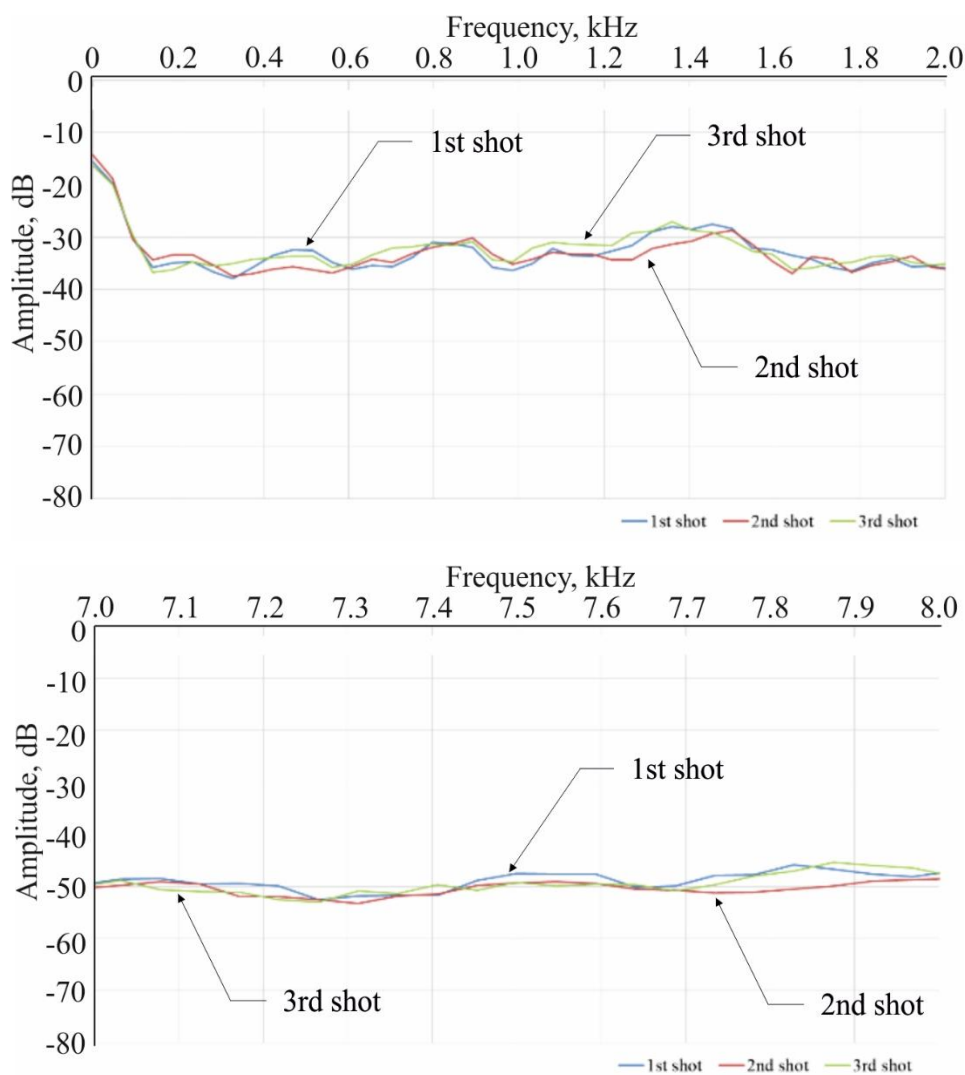


Рис. 11. Область ідентичних ділянок спектрів трьох пострілів травматичного пістолета «Форт-14Р»

Під час експерименту для фільтрації сигналів використана порогова амплітуда, для визначення характеристичних 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 відрізнятись.

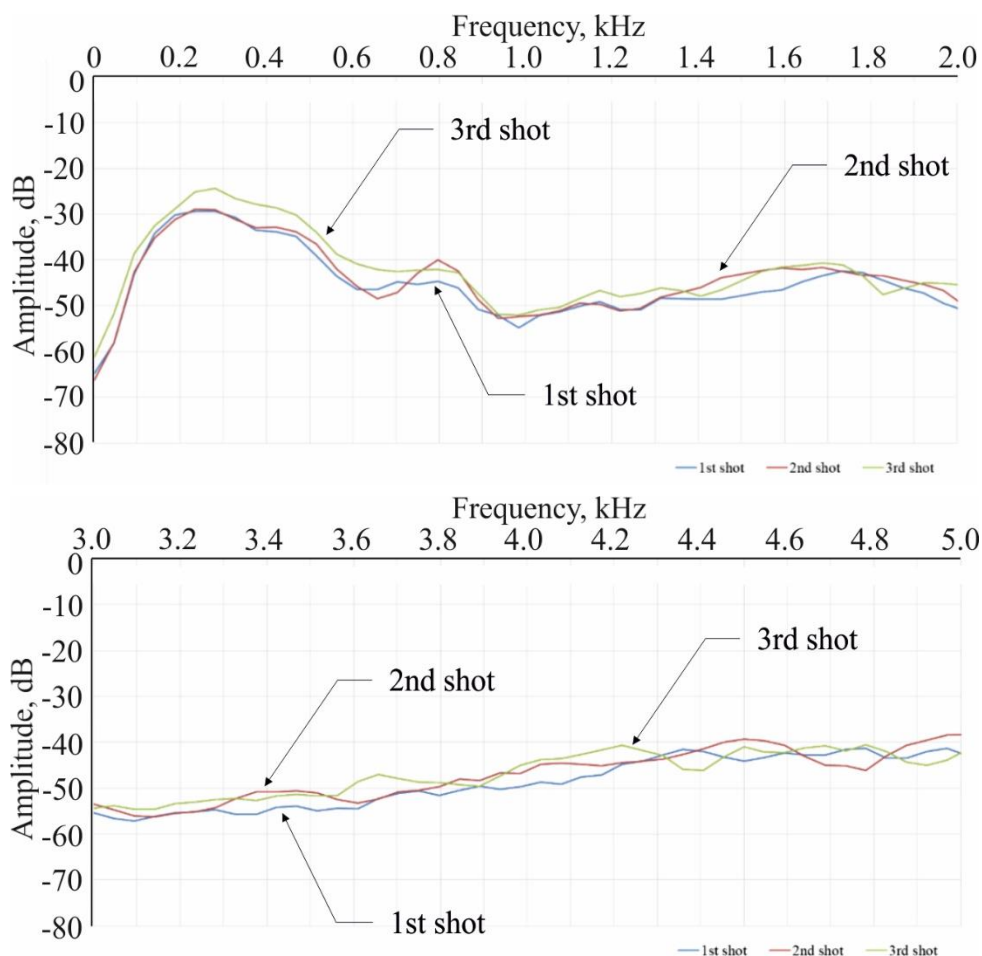


Рис. 12. Область ідентичних ділянок спектрів трьох пострілів автомата АК–74 калібру 5,45 мм

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.

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 допустимі інтервальні значення S_p . В межах цих інтервалів амплітудно-частотні характеристики пострілів вважаються достовірними для подальшого аналізу та інтерпретації (рис. 15).

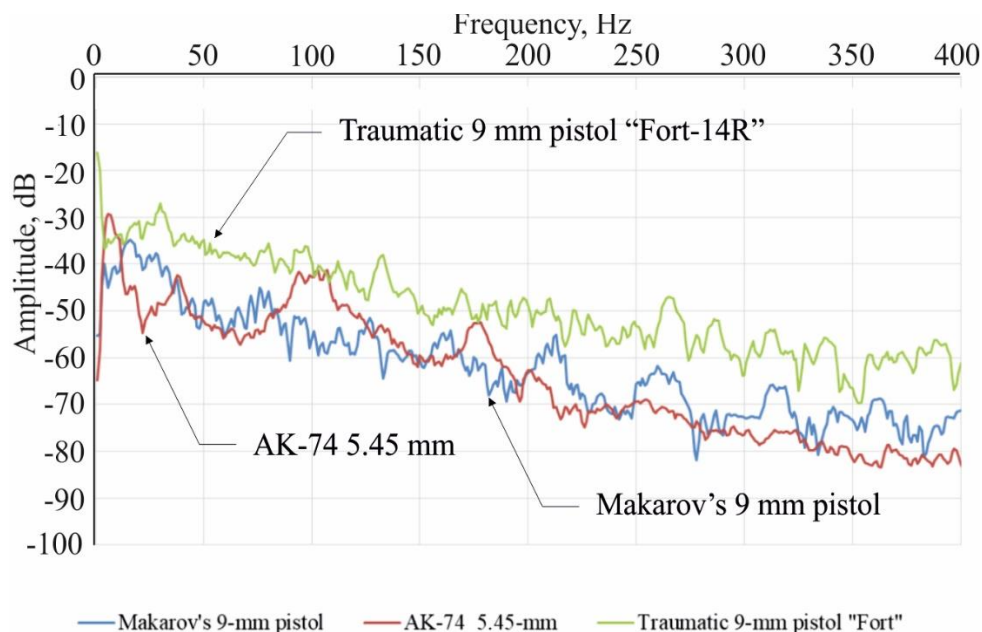


Рис. 13. Загальна амплітудно-частотні характеристики трьох пострілів з пістолета Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолета «Форт–14Р» та автомата АК–74 калібру 5,45 мм

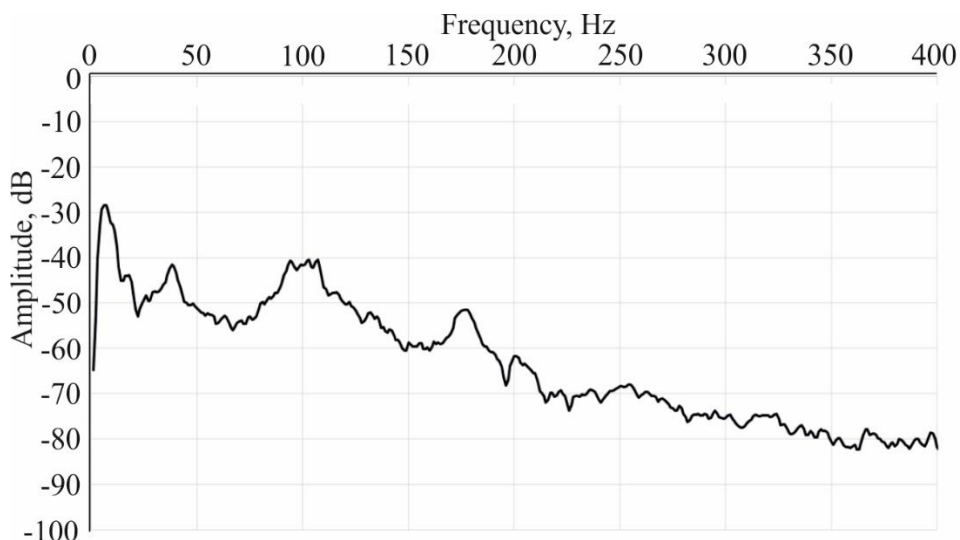


Рис. 14. Амплітудно-частотна характеристика еталонного спектра пострілу

Після застосування процедури віднімання еталонного спектра від експериментально отриманих спектрів пострілів (результати наведені на 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.

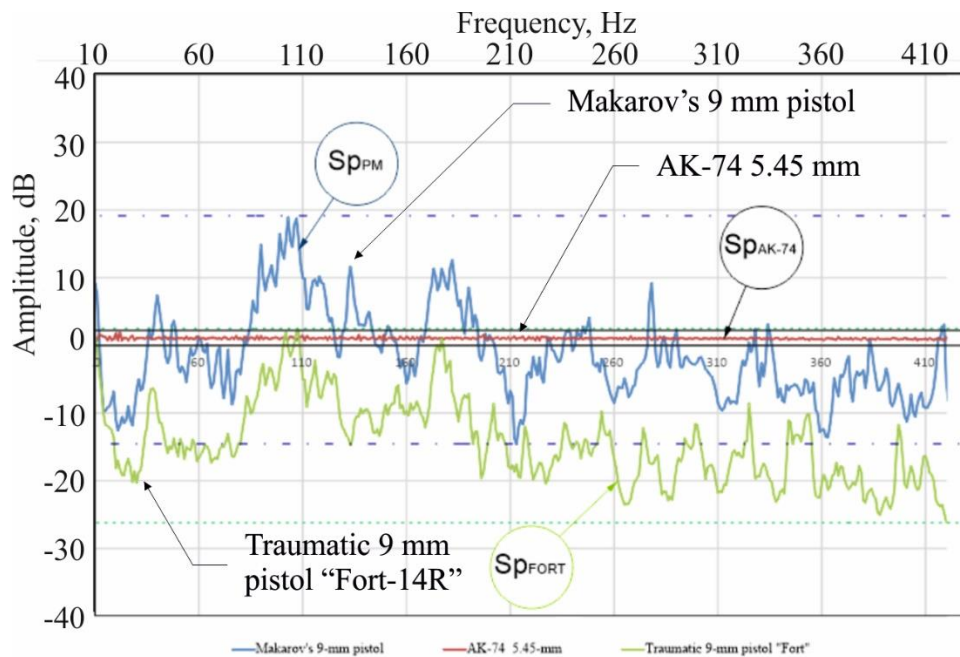


Рис. 15. Максимально допустиме значення S_p пострілів

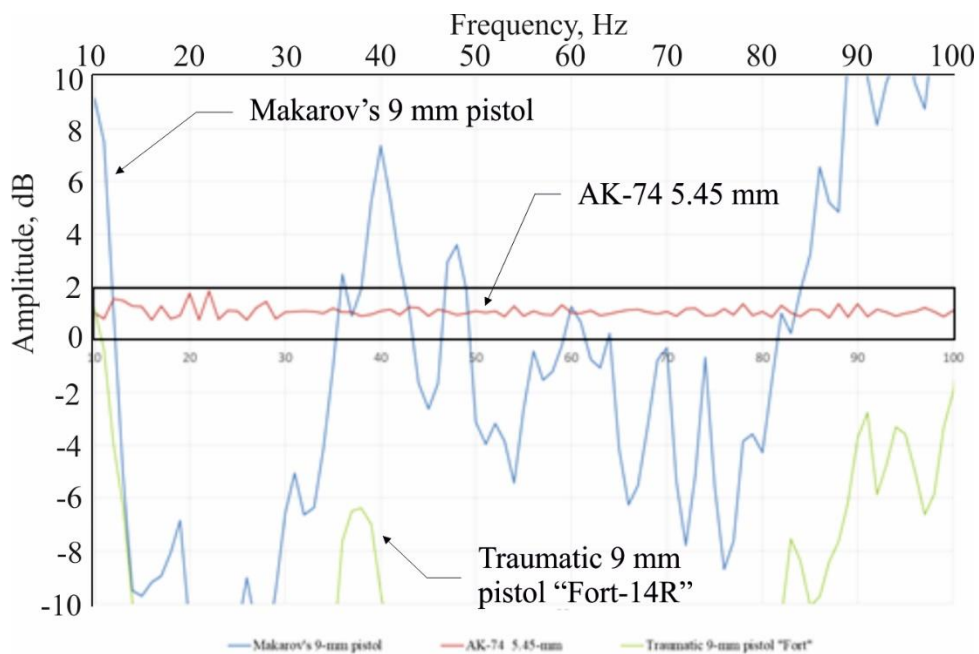


Рис. 16. Результати віднімання еталонного спектра від експериментально отриманих спектрів пострілів

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

7. Розробка функціональної схеми апаратної реалізації удосконаленого методу ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу

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

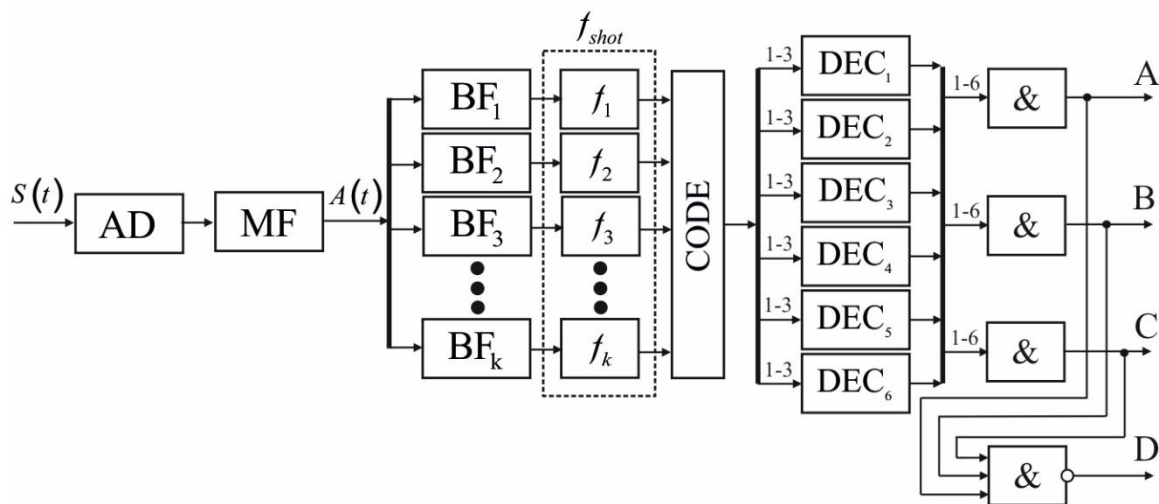


Рис. 17. Функціональна схема ідентифікації вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу: $S(t)$ – вхідний акустичний сигнал, амплітуда якого змінюється у часі t ; AD – акустичний датчик; MF – медіанний фільтр; BF_k – смугові фільтри, де k – кількість смугових фільтрів;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

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 .

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.

Таблиця 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

Процес ідентифікації вогнепальної зброї базується, згідно даних рис. 17, 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, 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.

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.

8. Висновки

1. Удосконалено метод ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів

пострілів, який являє собою: визначення 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.

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 характеристичних 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 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.

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. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19296>

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).

- C. 67–80. doi: 10.33099/2311-7249/2020-39-3-67-80. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18114>
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_richnii_cholovik_vlashtuvav_strilyaninu_v_goteli_n1553963
 5. Стрілянина в Римі: троє загиблих, 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-povidomyayut-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-zagibli-ta-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-stalasya-strilyanina-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_zagynulo_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 NO. 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.defencweb.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-avisa.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. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20090>

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, Adjutant

¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

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

FEATURES OF SUPPORTING THE ADOPTION OF ANTI-CRISIS DECISIONS IN THE CONTEXT OF GEOPHYSICAL EMERGENCIES

In order to develop the scientific and technical foundations of the creation of a geo-information system for monitoring terrorist emergencies, as a component of the Safe City subsystem in the Smart City system, the paper presents the results of the study of the acoustic spectra of shots of various types of firearms. The authors propose a method of identifying the acoustic spectra of gunshots by characteristic frequencies (extrema of amplitude-frequency characteristics) and comparing the energy of the spectrum. A functional scheme of the hardware implementation of the improved method of identification of the facts of the use of various types of firearms based on the spectral properties of the received acoustic signal has been developed.

The specifics of development and operation, based on the scheme of hardware implementation of the improved method of identification of the facts of the use of various types of firearms based on the spectral properties of the received acoustic signal, the geo-information system of acoustic monitoring of emergency situations of a terrorist nature and the automated identification of the facts of the use of various types of firearms in the urban area have been established. For this purpose, the following procedures are expected: 1) placing on the territory of the city land-based stationary means of automated control of the acoustic space; 2) collection and systematization of information about the state of the acoustic space of the city; 3) identification of the facts of the use of various types of firearms based on the spectral properties of the received acoustic signal; 4) simulation of the development of emergency situations of a terrorist nature on the territory of the city; 5) development and adoption of management decisions regarding the prevention and elimination of emergency situations of a terrorist nature on the territory of the city, as well as the minimization of their consequences.

Keywords: emergency monitoring, terrorism, firearms identification, acoustic signal from a gunshot, signal filtering, spectral analysis, amplitude-frequency response, spectral energy, spectral subtraction, situation center, anti-crisis decision support

References

1. Tiutiunyk V., Tiutiunyk O., Usachov D. 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. 2023. #2. S. 58–76. doi: 10.33269/nvcz.2023.2.58-76. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19296>
2. Ruban I., Tiutiunyk V., Tiutiunyk O. Development of Scientific and Technical Basis of Operational Geoinformation Acoustic Monitoring of Sources of Terrorist Threats. *Suchasni informatsiyi tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony*. Kyiv: Natsional'nyy universytet oborony Ukrainy. 2020. #3(39). S. 67–80. doi: 10.33099/2311-7249/2020-39-3-67-80. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18114>
3. Strilyanyina v supermarketi Walmart u SShA: zahynuly do 10 lyudey. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-63726537>
4. U tsentri L'vova 24-richnyy cholovik vlashtuvav strilyanynu v hoteli. URL: http://zaxid.net/u_tsentri_lvova_24_richniy_cholovik_vlashtuvav_strilyaninu_v_gote_li_n1553963
5. Strilyanyina v Rymi: troye zahyblykh, chetvero poranenykh. URL: <https://tsn.ua/svit/strilyanina-v-rimi-troye-zagiblih-chetvero-poranenih-2220880.html>
6. 39-richnoho cholovika zatrymaly za strilyanynu bilya lisu na Zakarpatti. URL: 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. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64078090>
8. V amerykans'kiy shkoli stalasya strilyanyina: ye zahybli. URL: <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. URL: <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. URL: <https://tsn.ua/svit/u-ssha-stalasya-strilyanina-povidomlyayut-pro-10-zagiblih-foto-2248942.html>
11. U SShA stalasya chergova masova strilyanyina: ye zhertvy. URL: <https://tsn.ua/svit/v-ssha-stalasya-cherгова-masova-strilyanina-ye-zhertvi-2254741.html>
12. V universyteti shtatu Michyhan stalasya strilyanyina: ye zahybli ta poraneni. URL: <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 dnev – semero zahyblykh. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64383486>

14. Spochatku vbyv bat'ka, a potim shche 15 lyudey: zhurnalist pro detali naymasovishoyi strilyanyny v istoriyi Chekhiyi. URL: <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 strilyanyna v italiys'kiy tserkvi – odna lyudyna zahynula. URL: <https://pmg.weukraine.tv/novyny/u-stambuli-stalasya-striljanina-v-italijskij-tserkvi-odna-ljudina-zahynula/>
16. U Hruziyi vnaslidok strilyanyny na rynku zahynulo chetvero lyudey. URL: https://zaxid.net/u-gruziyi-vnaslidok-strilyanini-na-rinku-zaginulo-chetvero-lyudey_n1579717
17. U Detroyti vnaslidok strilyanyny u parku poranennya otrymaly 9 osib. Sered nykh mama i dva syny. URL: <https://lb.ua/world/2024/06/16/619152-detroyti-vnaslidok-strilyanini.html>
18. U shkoli v SShA stalasya strilyanyna: zahynuly shchonaymenshe chetvero lyudey, pidozryuyut' 14-richnoho pidlitka. URL: <https://nv.ua/ukr/world/countries/strilyanina-u-ssha-pidlitok-vidkriv-vogon-polyudyah-chotiri-lyudini-zaginuli-50448394.html>
19. Na Ternopil'shchyni cholovik rozstrilyav lyudey bilya sil's'koyi shkoly. URL: <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 sytuatsiynyykh tsentriv ta tsyfrovoyi transformatsiyi sfery natsional'noyi bezpeky i oborony», Vvedeno v diyu Ukazom Prezydenta Ukrayiny vid 18 chervnya 2021 roku #260/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text>
21. Tatarnikova T.O. 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, 2016. 238 s. 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 NO. 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. Ofitsynyy sayt kompaniyi Microflown Avisia. URL: <https://www.microflown-avisa.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. Lokator dzherela postrilu. URL: <https://ames.kpi.ua/lokator-dzherela-postrilu/>
34. Tiutiunyk V., Lievtierov O. , Tiutiunyk O., Usachov D. The Peculiarities of Acoustic Monitoring of Large Fires with Rare Organic Substances in Urban Areas. Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony. Kyyiv: Natsional'nyy universytet oborony Ukrayiny. 2024. #1(49). S.111–127. doi: 10.33099/2311-7249/2024-49-1-111-127. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20090>