

УДК 519.711

Р.В. Грищук,

д.т.н., с.н.с. (Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова),

Ю.О. Гордієнко,

к.т.н. (Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова),

А.Р. Аміров (Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова),**І.А. Солопій** (Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова)

АНАЛІЗ АКУСТИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ПОСТРІЛУ ЗІ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

У роботі представлені результати аналізу існуючих акустичних засобів виявлення пострілу зі стрілецької зброї. Виходячи з конфігурації акустичного сегменту, визначені підходи щодо оброблення акустичних даних, переваги та недоліки для кожної з конфігурацій та методів оброблення акустичних даних. Запропонована класифікація систем виявлення пострілу залежно від їх характеристик, можливостей та призначення. За результатами аналізу існуючих засобів та методів обробки вимірjuвальних даних визначені напрями подальших досліджень щодо створення вітчизняного зразка акустичного засобу виявлення пострілу.

Ключові слова: акустичний засіб виявлення пострілу, стрілецька зброя, дулова хвиля, балістична хвиля.

В работе представлены результаты анализа существующих акустических средств обнаружения выстрела из стрелкового оружия. Исходя из конфигурации акустического сегмента, определены подходы к обработке акустических данных, преимущества и недостатки каждой из конфигураций и методов обработки акустических данных. Предложенная классификация систем обнаружения выстрела в зависимости от их характеристик, возможностей и назначения. По результатам анализа существующих средств и методов обработки измерительных данных определены направления дальнейших исследований по созданию отечественного образца акустического средства обнаружения выстрела.

Ключевые слова: акустическое средство обнаружения выстрела, стрелковое оружие, дульная волна, баллистическая волна.

Paper represents the results of an analysis of existent acoustic facilities of small arms fire detection. Proceeding from configuration of acoustic segment, approaches to acoustic data processing are defined. Advantages and disadvantages of each configuration and acoustic data processing methods are mentioned. Classification of small arms fire detecting systems depending on their specifications, abilities and purpose is proposed. According to the results of an analysis of existent facilities and methods of measured data processing, ways of further researches in order to design home specimen of an acoustic tool of small arms fire detection are determined.

Keywords: acoustic means of fire detection, small-arms, muzzle wave, ballistic wave.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями.

Досвід проведення Антитерористичної операції на Сході нашої держави вказує на необхідність оперативного визначення вогневих позицій (ВП) противника. Особливе місце в цьому процесі відводиться технічним засобам розвідки та виявлення. Висока вартість зарубіжних зразків таких засобів та відсутність вітчизняних аналогів зумовлює нагальну потребу у створенні власних акустичних засобів виявлення пострілу зі стрілецької зброї. Основною вимогою до розроблених зразків таких засобів має бути менша їх вартість та не гірші за аналоги тактико-технічні характеристики. Ефективне вирішення цієї задачі дозволить у найкоротші терміни забезпечити акустичними засобами виявлення пострілу (АЗВП) зі стрілецької зброї бойові підрозділи в зоні проведення Антитерористичної операції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз світової практики, присвяченої питанням виявлення вогневих позицій противника, у тому числі і снайперів, показує, що основним принципом, який покладений в основу технічних засобів виявлення, є принцип виявлення демаскуючих факторів [1]. При цьому одним із важливих демаскуючих факторів, який фіксується технічним засобом виявлення, є акустична характеристика пострілу.

З [2; 3] відомо, що в основу акустичних спостережень покладено реєстрацію акустичних сигналів, викликаних пострілом та прольотом кулі на надзвуковій швидкості. Пріоритетність розроблення саме акустичних засобів розвідки та виявлення вогневих позицій зумовлена їх відносно невисокою вартістю, простотою реалізації, застосування та обслуговування. На озброєнні Збройних Сил України нині перебувають звукометричні комплекси для виявлення місцеположення вогневих позицій артилерії, такі як АЗК-7, Положення-2 та ін [4; 5]. При цьому, на відміну від збройних сил розвинених держав світу, в ЗС України відсутні АЗВП зі стрілецької зброї. Тому для їх створення слід вирішити ряд важливих наукових та практичних задач. Зокрема, слід провести науково-технічний аналіз існуючих АЗВП та методів оброблення акустичних даних. Уточнення потребує класифікація систем виявлення пострілу тощо.

Метою статті є аналіз акустичних засобів виявлення пострілу зі стрілецької зброї та розроблення їх класифікації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Незалежно від конфігурації акустичного сегменту, типу акустичної системи, способу оброблення акустичних даних та методу визначення положення вогневих позицій реалізація спостережень АЗВП ґрунтується на результатах оброблення й аналізу балістичної та/або дулової хвилі [3].

Поява балістичної хвилі (БХ) викликана прольотом кулі з надзвуковою швидкістю [3; 6]. Фронт БХ – це конічна поверхня, що обмежує в надзвуковому потоці газу область, у якій зосереджені збурення, які породжені точковим джерелом, а саме тілом, що рухається в середовищі з надзвуковою швидкістю. Дулова хвиля (ДХ), у свою чергу, викликана виходом порохових газів із каналу ствола,

утворених унаслідок горіння порохового заряду, під великим тиском. Фронт ДХ – це сфера з центром попереду від дульного зрізу каналу ствола.

Здійснимо науково-технічний аналіз існуючих АЗВП залежно від складової акустичного сигналу генерованого пострілом зі стрілецької зброї та методів оброблення акустичних даних.

Відомо [3], що визначення положення вогневих позицій за **результатом оброблення БХ** здійснюється шляхом побудови поверхні БХ (поверхні конусу) та визначення її параметрів – положення вісі конусу (напрямок на вогневу позицію) та кута між твірною конусу та його віссю (відстані до вогневої позиції). При цьому враховуються втрати швидкості кулі залежно від відстані, сили тяжіння, метеорологічних умов тощо.

Кут між твірною конусу та його віссю визначає швидкість кулі як

$$V_K = \frac{V_{AX}}{\sin \mu} \quad (1)$$

де V_K – швидкість кулі, м/с;
 V_{AX} – швидкість звуку, м/с;
 μ – кут Маха, град.

Опираючись на реальні експериментальні дані, встановлено, що швидкість кулі залежить від відстані до вогневої позиції [3]. Обмеженням, яке накладається на АЗВП при аналізі БХ, є умова перевищення швидкості кулі швидкості звуку. Так, для снайперської гвинтівки Драгунова максимальна дальність визначення вогневої позиції снайпера не перевищує відстані 800–900 метрів залежно від температури повітря, відповідно $+20^{\circ}\text{C}$ та -20°C [3].

Перевагою цього підходу до побудови АЗВП є відсутність потреби виявлення та оцінювання параметрів ДХ. Як результат, з'являється можливість виявлення вогневої позиції при застосуванні противником засобів безшумної стрільби (ЗБС). Однак, з іншого боку, при використанні противником набоїв зі зменшеною швидкістю, виявлення вогневої позиції із застосуванням АЗВП цього типу неможливе. АЗВП зазначеного типу, як правило, застосовують на транспортних засобах та інтегруються з бойовими модулями. Приклади таких засобів наведено на рис. 1.

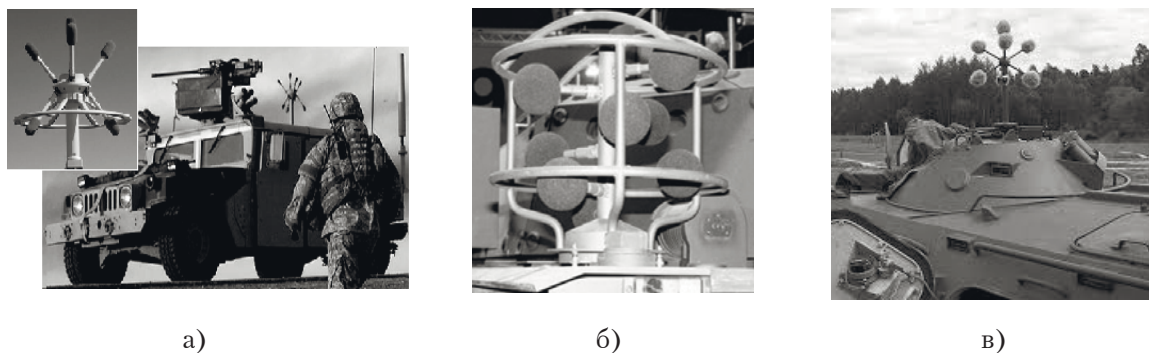


Рис. 1. Акустичні засоби виявлення пострілу за даними виявлення та оцінювання параметрів балістичної хвилі: а) *Boomerang III* (США); б) *ASLS* (ФРН); в) *COVA-M* (РФ)

Визначення вогневої позиції лише за результатами оброблення БХ, призводить до обмеження можливостей застосування АЗВП цього типу в реальних бойових умовах, а саме: максимальна відстань між акустичною системою та траєкторією польоту кулі не повинна перевищувати 30 метрів; точність визначення ВП за азимутом обмежена сектором $15^\circ \div 30^\circ$ [7].

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fzx + Gx + Hy + Kz + L = 0 \quad (2)$$

Для визначення параметрів конусу в загальному вигляді (2) необхідно мати координати десяти точок, які знаходяться на його поверхні. Тобто АЗВП, робота якого ґрунтується на визначенні параметрів лише БХ, повинен мати не менше десяти звукоприймачів (ЗП).

З аналітичної геометрії відомо [8], що коефіцієнти в рівнянні (2), які пов'язані з першими ступенями координат, визначають перенесення початку системи координат. Виходячи з припущення, що необхідно визначити ВП, з якої ведеться вогонь безпосередньо по цілях, які знаходяться поблизу або на яких встановлено АЗВП (саме це і зумовлює обмеження застосування АЗВП цього типу), то коефіцієнтами перших ступенів координат можна знехтувати. У такому разі початок системи координат умовно співпадає з АЗВП, а рівняння (2) набудатиме вигляду

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fzx + L = 0 \quad (3)$$

Згідно з умовою (3) для визначення ВП снайпера необхідно мати не менше семи ЗП. Саме ця умова зумовлює кількість ЗП у складі акустичного сегменту існуючих АЗВП цього типу (див. рис. 1): *Boomerang III* та *COBA-M* – 7 ЗП; *ASLS* – 8 ЗП.

Далі шляхом перебору можливих напрямів на ВП та відстані до неї здійснюють пошук положення системи координат, для яких рівняння (3) набудатиме вигляду

$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{a^2} - \frac{z'^2}{c^2} = 0 \quad (4)$$

Рівняння (4) описує коловий конус у новій системі координат $x'y'z'$. При цьому вісь z' співпадає з траєкторією польоту кулі та визначає напрямок на вогневу позицію. Відстань до ВП визначається через кут між твірною конусу та віссю, яка співпадає з кутом Маха та визначається як

$$\mu = \arctg \frac{a}{c} \quad (5)$$

Одним з напрямів застосування АЗВП цього типу є встановлення їх на гелікоптерах, оскільки з досвіду ведення бойових дій відомо, що 85 % загроз для гелікоптерів становить вогонь з різних видів стрілецької зброї та зенітних установок [9]. Такі засоби в реальному часі дозволяють встановлювати факти обстрілу, визначити тип зброї (її калібр) та місцеположення вогневих позицій. Одержані пілотом гелікоптера дані дозволяють йому вчасно здійснити маневр та вивести гелікоптер із зони небезпеки. Прикладами таких засобів є *HALTT* (США) та *PILAR-HV* (Франція) [9; 10].

Система *Pilar-HV* (Helicopter Version) може включати від одного до чотирьох акустичних сегментів залежно від модифікації гелікоптера (рис. 2). У кабіні пілота встановлюється дисплей який сигналізує про факт обстрілу та вказує на положення вогневої точки.

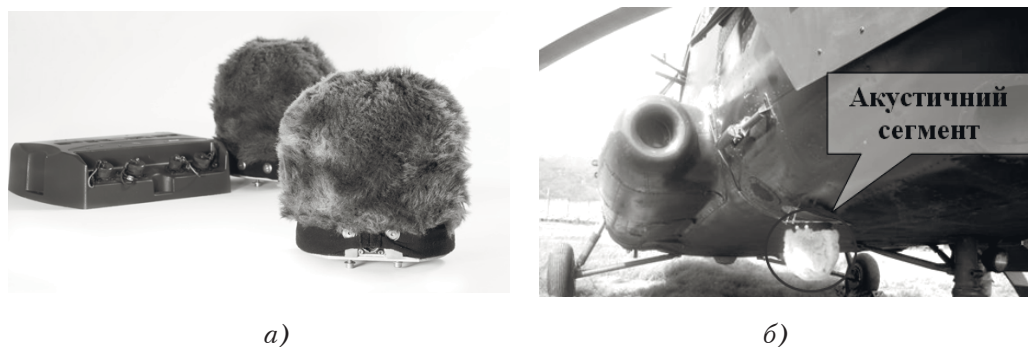


Рис. 2. Французька акустична система виявлення пострілу для гелікоптерів *Pilar-HV*: а) акустичний сегмент; б) приклад встановлення акустичного сегменту на гелікоптері

Передбачається, що система *Pilar-HV* може бути інтегрована з бойовим модулем RWS та включена до єдиної системи управління *Battlefield Management System* (BMS), для обміну інформацією про виявлені наземні цілі між літальними апаратами або наземними військами [10].

Крім того, акустичні засоби можуть встановлюватись на безпілотні літальні апарати (БПЛА) [11]. При цьому, крім завдань розвідки, результати акустичних спостережень також використовуються для встановлення факту обстрілу БПЛА зі стрілецької зброї. Своєчасне встановлення факту обстрілу БПЛА дає можливість оператору здійснити маневр щодо виходу апарату з під обстрілу (набір висоти, вихід з району тощо). Одним із таких засобів є *AVS* (*Acoustic Vector Sensors* – векторний акустичний сенсор) Нідерландської фірми *Microflown Technologies* (рис. 3).



Рис. 3. Варіанти встановлення AVS на БПЛА: а) встановлення на коптер; б) встановлення на RQ-11B Raven

Робота АЗВП, заснованих на **одночасному аналізі БХ та ДХ**, полягає у виявленні і визначенні азимуту та часу вступу БХ, визначенні азимуту приходу та часу вступу ДХ, визначенні різниці часу між вступом цих хвиль. При цьому азимут на ВП, відносно АЗВП, співпадає з азимутом надходження ДХ [3], а

відстань до ВП визначається через різницю часу між надходженням балістичної та дульної хвиль як:

$$D = \frac{V_K \cdot V_{AX}}{V_K - V_{AX}} \Delta \tau, \quad (6)$$

де, V_K – швидкість кулі, м/с.

V_{AX} – швидкість звуку, м/с.

$\Delta \tau$ – різниця часу між вступом балістичної та дульної хвиль, с.

Для визначення ВП цим підходом необхідно не менше трьох ЗП. Існуючі АЗВП, які можуть бути застосовані для аналізу БХ та ДХ у своєму складі мають акустичний сегмент, що складається з чотирьох ЗП, розташованих у вершинах тетраедра. Така конфігурація акустичного сегменту дозволяє підвищити точність визначення кута місяця ВП, що особливо важливо при вирішенні завдань у гірській місцевості або в умовах міської забудови.

АЗВП цього типу можуть бути застосовані як стаціонарно (блокпост, місце зосередження особового складу або військової техніки), так і можуть встановлюватись на транспортні засоби. При встановленні АЗВП на транспортні засоби вони, як правило, інтегруються з бойовими модулями. Приклади АЗВП, які реалізовані за цим підходом, наведені на рис. 4–5.

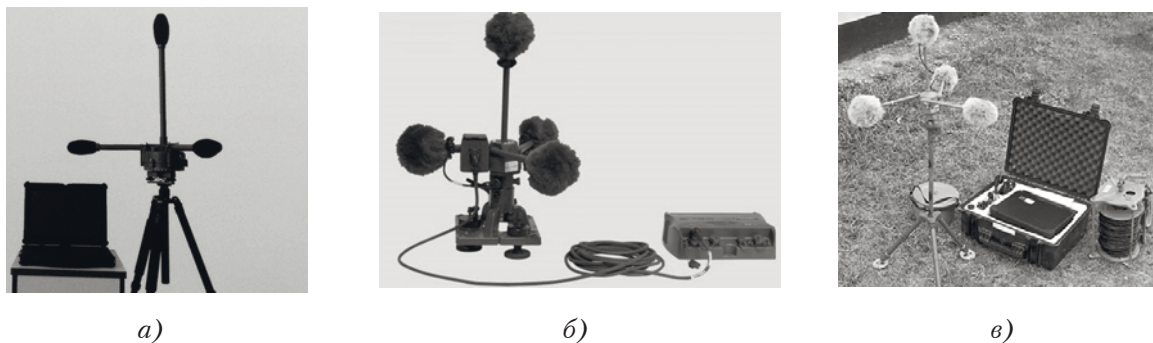


Рис. 4. Стаціонарні акустичні системи виявлення пострілу, які забезпечують одночасний аналіз БХ та ДХ: а) ASAD (КНР); б) Pilar (Франція); в) SOVA (РФ)



Рис. 5. Мобільні акустичні системи виявлення пострілу, які забезпечують одночасний аналіз БХ та ДХ: а) PDCue (ФРН); б) Rafael (Ізраїль); в) Pilar V (Франція)

Слід зазначити, що окремим напрямом застосування наведених вище АЗВП (див. рис. 4, 5) може бути їх комплексування до єдиної просторової

системи виявлення з подальшою сумісною обробкою акустичних даних від кожної з підсистем. Прикладами таких систем є система *COBA* (РФ) та система *Pilar-GV* (ФРН) (рис. 6) [10; 12; 13].

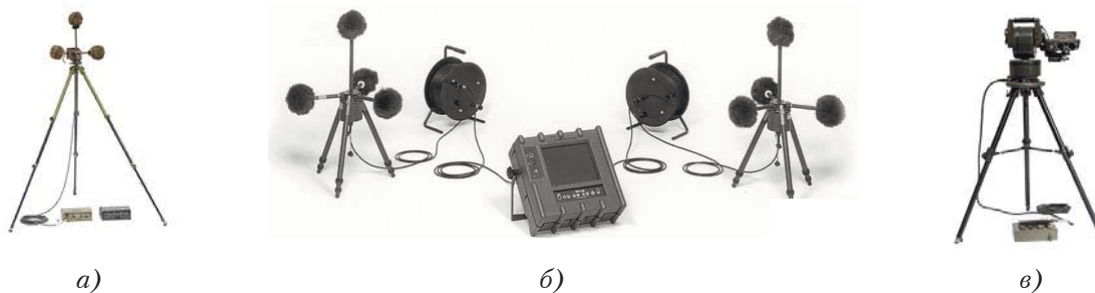


Рис. 6. Акустична система виявлення пострілу PILAR-GV: а) базовий акустичний сегмент; б) двохпозиційний варіант системи; в) автоматизований поворотний пристрій PIVOT

Система *Pilar-GV* призначена для спостереження за важливими об'єктами або місцями тимчасового зосередження військ (сил) та засобів. Вона включає від 2 до 20 базових акустичних сегментів, розташованих навколо заданого об'єкта. Кількість акустичних сегментів залежить від розміру підконтрольної зони. При максимальній кількості акустичних сегментів (20 одиниць) підконтрольна площа становить до 1,5 км². При цьому базовим акустичним сегментом є акустичний сегмент системи *Pilar V* (див. рис. 4 в).

За результатами оброблення акустичних сигналів визначається відстань, азимут та кут місця вогневої позиції. Результати реєстрації та виявлення виводяться на монітор оператора. До складу *PILAR-GV* може входити автоматизований поворотний пристрій *PIVOT*, на який встановлюється відеокамера (див. рис. 6 в). Після виявлення пострілу турель *PIVOT* автоматично повертається у напрямку ВП та забезпечує надходження відеопотоку в реальному режимі часу. Систему *PILAR-GV* вперше в бойових умовах застосовано в Афганістані [14].

Аналіз бойового досвіду застосування просторових систем виявлення пострілу дозволяє зробити висновок про те, що результати оброблення та аналізу БХ дають можливість виявляти ВП при застосуванні противником ЗБС. При реєстрації елементами системи ДХ – її параметри можуть бути використані лише для уточнення положення ВП.

Окремим напрямом у розробленні АЗВП є **індивідуальні засоби виявлення пострілу** – *IGD (Individual Gunshot Detector)* [14; 15]. Звукоприймачі індивідуальних засобів виявлення кріпляться на бронежилет або каску. Під час пострілу система виявляє акустичний сигнал, генерований прольотом кулі з надзвуковою швидкістю, подає звуковий сигнал та виводить відомості про місцеположення вогневої позиції на персональний дисплей. Система враховує пересування бійця та синхронно оновлює місцеположення вогневої позиції відносно його положення. Приклади зазначених систем наведені на рис. 7. Для підвищення точності виявлення портативні засоби виявлення об'єднують у **мережу акустичного моніторингу** поля бою з єдиним центром оброблення (див. рис. 7 г). Обмін інформації здійснюється за допомогою Bluetooth каналу.

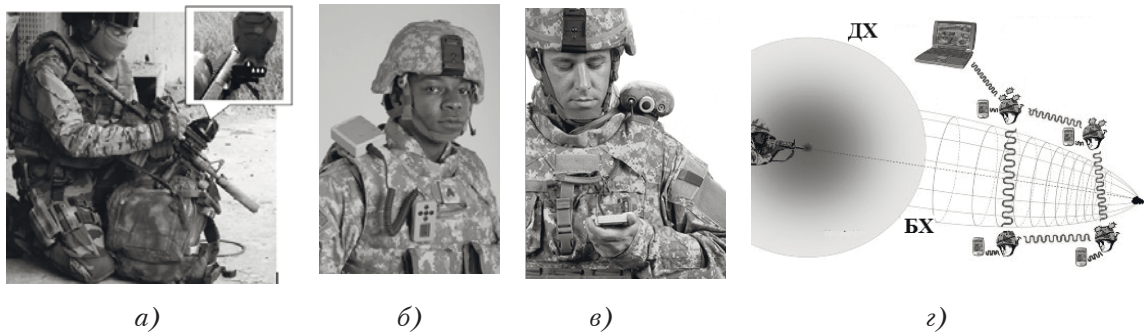


Рис. 7. Індивідуальні засоби виявлення пострілу: а) PEARL (Франція); б) SWAT (США); в) Boomerang Warrior-X (США); г) мережна акустична система на базі Helmet-Based Sniper Location System (США)

Інколи для визначення ВП використовуються лише результати аналізу ДХ. У такому разі використовується триангуляційний метод, необхідною умовою якого є наявність не менше трьох ЗП (рис. 8). АЗВП, побудові за таким принципом, як правило, використовуються правоохоронними органами для виявлення та локації пострілів в умовах міської забудови. Прикладом такої системи є система *ShotSpotter*, що встановлена у Вашингтоні [16]. Вона складається з близько трьохсот акустичних сенсорів, які шляхом триангуляції здійснюють локацію місця пострілу з точністю до 25 метрів (рис. 9).

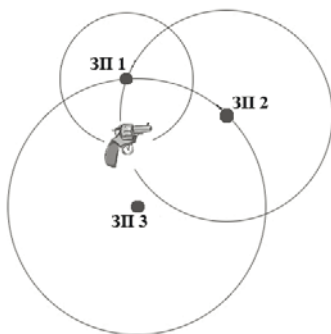


Рис. 8. Принцип роботи системи виявлення пострілу за даними аналізу ДХ



Рис. 9. Елемент акустичної системи ShotSpotter (США)

Перевагою зазначеної системи зокрема та такого підходу в цілому є те, що додатково відкриваються можливості з визначення інтенсивності пострілів, типу зброї (калібру) та кількості стрільців.

Отже, провівши ґрунтовний аналіз АЗВП зі стрілецької зброї та узагальнивши одержані результати, можна зробити висновки про їх переваги та недоліки. Перевагою всіх без винятку АЗВП є пасивний режим спостереження, всепогодність застосування, цілодобовість, круговий, сектор спостереження та незначна вартість, у порівнянні із засобами виявлення пострілу, заснованими на виявленні інших демаскуючих факторів. Головний недолік таких систем – завдання виявлення виконується лише після здійснення пострілу. Крім того, недоліком є те, що можливості АЗВП обмежені за дальністю виявлення.

Різноманітність АЗВП, відмінність їх функціонального призначення та вирішуваних задач, характеристик та конфігурації акустичного сегменту потребує

їх систематизації. З цією метою пропонується розробити їх ознакову класифікацію. У загальному вигляді класифікацію АЗВП можна подати системою вигляду (рис. 10).

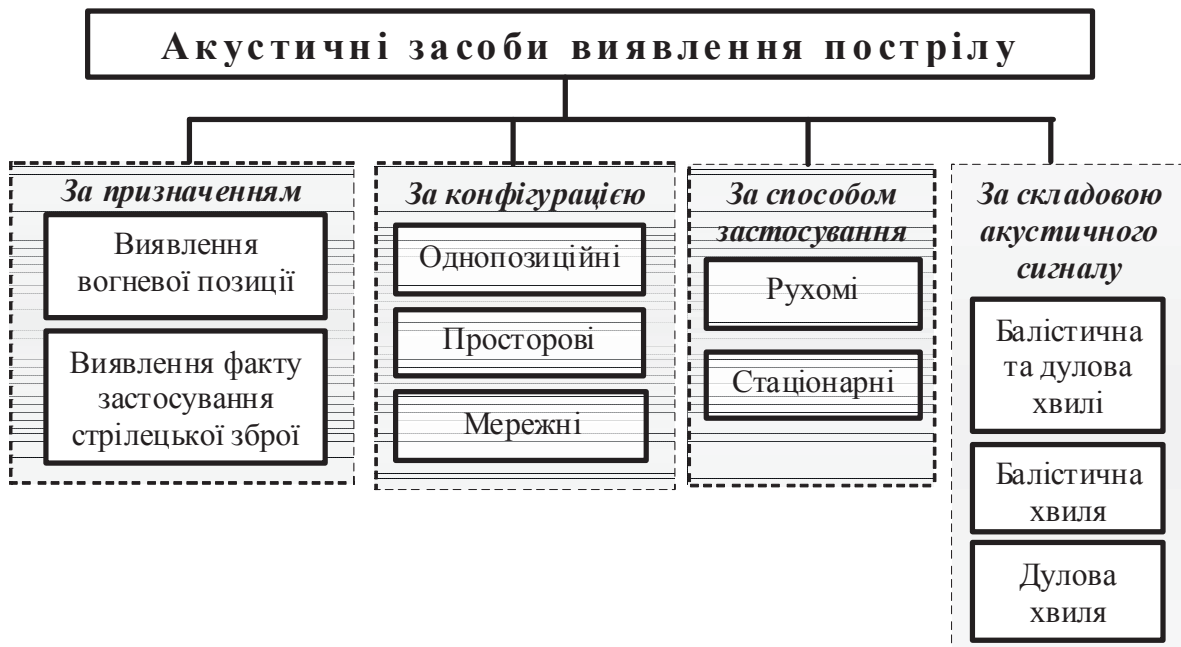


Рис. 10. Ознакова класифікація АЗВП пострілів зі стрілецької зброї

Перевагою запропонованої класифікації (див. рис. 10) є те, що вона може бути доповнена в разі появи нових ознак АЗВП, які характеризують зазначені засоби.

Висновки. Потреба створення АЗВП власного виробництва зумовила необхідність вивчення стану проблеми за зазначеною темою. У статті вперше узагальнено сучасний стан розвитку та бойового застосування АЗВП, описано їх специфіку, визначено переваги та недоліки. Одержані результати дозволили визначити основні підходи, які слід реалізувати у власних АЗВП зі стрілецької зброї. Вперше розроблено ознакову класифікацію таких систем, що в перспективі дозволить уточнити напрями подальших досліджень з питань розроблення вітчизняного зразка акустичного засобу виявлення пострілу зі стрілецької зброї. Для цього пропонуємо: розробити базовий АЗВП та методологічні засади визначення вогневої позиції за результатом однопозиційних спостережень; розробити автоматизовану систему збору та обробки результатів акустичної розвідки (виявлених вогневих позицій), передачі інформації до вищої ланки управління (до батальйону включно) та цілевказівок до пунктів спостереження артилерійських підрозділів.

Також вирішенню підлягають завдання акустичної розвідки – виявлення мінометних та артилерійських батарей, виявлення БпЛА, виявлення і класифікація транспортних засобів тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Криворучко А. В. Дослідження основних демаскуючих ознак вогнепальної стрілецької зброї при пострілі та шляхи їх усунення. Сучасна спеціальна техніка. 2009. № 4 (19). С. 53–57.

2. *Криворучко А. В.* Огляд та порівняльний аналіз технічних засобів систем виявлення позиції снайпера. Сучасна спеціальна техніка. 2012. № 3 (30). С. 75–81.
3. *Аміров А. Р., Павлюк В. В., Гордієнко Ю. О. та ін.* Особливості акустичних сигналів генерованих пострілом зі снайперської гвинтівки. Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир: ЖВІ, 2016. Спецвип. 3. С. 121–128.
4. *Шуляченко Р.И., Кубышкин Ю.И., Кривоносенко В.И. та ін.* Артиллерийская звуковая разведка. Москва: Воен. изд-во, 1993. 392 с.
5. *Кондратюк І. О.* Бойова робота на комплексі АЗК-7: навчальний посібник. Львів: АСВ, 2010. 229 с.
6. *Гейстер С. Р., Быков Р.В.* Малогабаритные акустические системы обнаружения и измерения координат огневых точек. Наука и военная безопасность. 2007. № 1. С. 23–27.
7. State-of-the-Art Shooter Detection. URL: <http://www.raytheon.com/capabilities/products/boomerang/.html> (дата звернення 15.08.2017).
8. *Выгодский М. Я.* Справочник по высшей математике. М. : “Наука”, 1976. 872 с.
9. Military helicopters may get Gunshot Location System/ URL: <https://www.wired.com/2010/03/military-helicopters-may-get-gunshot-location-system> (дата звернення 18.08.2017).
10. Metravib ACOEM Group. URL : <http://www.acoemgroup.com> (дата звернення 08.08.2017).
11. Microflown AVISA. URL : <http://microflown-avisa.com> (дата звернення 29.08.2017).
12. *Трутнев Ю. Р., Шаврин А.А.* Акустическая система “СОВА” для обнаружения огня из стрелкового оружия. URL : <http://army-news.ru/2010/09/sistema-sova> (дата звернення 02.08.2017).
13. *Джерелько Р. Р.* Система обнаружения огня “СОВА”. URL : <https://topwar.ru/8976-sistema-obnaruzheniya-ognya-sova.html> (дата звернення 03.08.2017).
14. Какая техника позволит выиграть войну с террористами. URL : <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=30908> (дата звернення 27.06.2017).
15. *Григоров А. М.* Портативные средства обнаружения огневых позиций снайперов в иностранных армиях. Зарубежное военное обозрение. 2012. Вып. 8. С. 48–50.
16. *Болотов К. К.* В США становятся слышны все выстрелы. URL : <http://www.membrana.ru/particle/2862> (дата звернення 30.06.2017).

Отримано 09.10.2017

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н., проф.