

ПОКАЗНИКИ І КРИТЕРІЇ АКУСТИЧНОЇ ПРИХОВАНOSTІ ВИКОНАННЯ ВОГНЕВОГО ЗАВДАННЯ

Обґрунтовано важливість акустичної прихованості виконання деяких вогневих завдань та необхідність показників і критеріїв її оцінювання. Розроблено детермінований і ймовірнісний показники акустичної прихованості виконання вогневого завдання та критерії до них. Визначено переваги і сфери застосування зазначених показників і критеріїв. Отримані результати можуть використовуватися для порівнювальної оцінки наявних зразків малошумної зброї та формування вимог до характеристик перспективних її зразків.

Ключові слова: акустична прихованість, шум пострілу, звуковий тиск, показник, критерій, стрілецька зброя, вогневе завдання.

Постановка проблеми. Деякі вогневі завдання (ВЗ) потребують прихованого виконання, зокрема прихованості акустичної. Так, під час виконання завдань силами спеціальних операцій акустична прихованість виконання ВЗ (АПВВЗ) дає змогу знищити чатових, спостерігачів та інших за умови, що основні сили противника не отримують негайної інформації про напад або проникнення зазначених сил на заборонену територію.

У ході проведення активної фази спеціальної операції силами безпеки завдяки безшумному (малошумному) пострілу можливо максимізувати час, протягом якого правопорушники не володіють інформацією про активне застосування вогнепальної зброї правоохоронними органами, а також про місця знаходження окремих працівників сил безпеки, що проводять початок спеціальної операції. Акустична прихованість також сприяє успішності виконання ВЗ з обмеженням щодо втрат серед заручників через збільшення спроб влучити в особу (осіб), що утримують заручників.

Незважаючи на велику кількість зразків малошумної зброї та пристроїв зниження рівня шуму пострілу, на цей час є проблеми формування вимог до тактико-технічних характеристик такої зброї, ухвалення рішень щодо прийняття її на озброєння відповідних сил, вибору малошумної зброї з числа доступних зразків, що відповідатиме конкретним умовам виконання певних ВЗ [1–4].

Одним із кроків на шляху вирішення зазначених проблем є розроблення показників і критеріїв АПВВЗ, значення яких мають бути відправними пунктами у процесах формування вимог до тактико-технічних характеристик малошумної зброї та обґрунтованого вибору зразків такої зброї з-поміж варіантів, що пропонуються ринком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням акустичної прихованості військ, зокрема зразків озброєння та військової техніки, приділено увагу у низці праць. Значна їх частина спрямована на оцінювання і забезпечення акустичної прихованості підводних човнів та літальних апаратів. Так, у [5] розглянуто питання захисту і прихованості підводних човнів, співвідношення понять «захист» і «прихованість», ролі акустичної прихованості для живучості об'єкта та способів її забезпечення. У публікації [6] зазначено важливість акустичної прихованості для живучості підводних човнів і докладно розглянуто способи зниження їхньої акустичної помітності. У джерелі [7] наведено методи виявлення підводних апаратів за акустичними полями. Інформаційних ресурс [8] акцентує увагу на важливості звукової скритності військовослужбовців задля забезпечення їхньої живучості під час виконання завдань за призначенням і надає рекомендації щодо прихованого та безшумного пересування. Засоби і способи виявлення літальних апаратів за допомогою моніторингу звукового поля описано у [9].

У значній кількості праць автори приділяють увагу акустичній розвідці цілей. Так, у статті [10] розглянуто акустичну систему визначення цілі, яка забезпечує солдату відносно положення джерела пострілу. У публікації [11] зазначено, що одним із видів розвідки є звукова розвідка, і розглянуто звуковий комплекс розвідки вогневих позицій артилерійських гармат та мінометів. У джерелах [12] і [13] описано системи виявлення пострілів «Сова» та «OTHELLO-P», що призначені для визначення вогневих позицій стрільців у режимі реального часу. У статтях [14] і [15] розглянуто засоби акустичної розвідки, які можуть використовуватися для отримання інформації про об'єкти, що випромінюють звукові хвилі. При цьому у наведених та інших джерелах не знайдено інформації стосовно показників і критеріїв визначення акустичної прихованості об'єктів чи процесів.

Мета статті – розроблення показників і критеріїв акустичної прихованості виконання вогневого завдання.

Виклад основного матеріалу. Саме поняття «акустична прихованість виконання вогневого завдання» пов'язане з наявністю або відсутністю події виявлення противником факту застосування зброї, що може призвести до несприятливих наслідків (переміщення цілі в укриття, вогонь у відповідь, знищення заручників тощо). Чіткої дефініції зазначеного (АПВВЗ) або подібного терміна у науковій літературі не наводиться, тому доцільно його визначити. «Прихованість» – це стан за значенням «прихований» [16].

Є кілька визначень терміна «прихований» [17, 18]: такий, що не має яскраво виражених ознак; ледве помітний; не виявляється відкрито або повною мірою; зберігається у таємниці; діє таємно, без виявлення своїх намірів; ще не виявив себе в чому-небудь; не виявляє себе видимими ознаками.

Акустика – це вчення про звук, тобто пружні коливання та хвилі у газах, рідинах і твердих тілах, які сприймає людське вухо [19, 20].

Отже, під «акустичною прихованістю виконання вогневого завдання» будемо розуміти характеристику вогневого завдання, яка визначає можливість виконати його таємно, без виявлення звуковими ознаками.

Варто зауважити, що вказану можливість слід характеризувати певними показниками, які можуть бути як детермінованими, так і ймовірнісними. Більш простими є детерміновані показники, тому розглянемо таку можливість.

Дослідження свідчать, що акустична прихованість виконання вогневого завдання залежить від низки параметрів процесу виконання ВЗ, основними серед яких є такі: характеристики звукового поля, яке утворюється внаслідок пострілу зі зброї, характеристики звукових полів шумів, що маскують (звукових маскерів), та відстань від стрільця до цілі. Зазначені звукові поля доволі повно можна описати за допомогою звукових тисків (рівнів звукового тиску) та частотних характеристик відповідних шумів [1]. Частотні характеристики пострілу для однотипних зброї та пристрою зниження рівня шуму пострілу є відносно сталими, тому надалі не розглядатимуться.

Залежність акустичної прихованості від кількох параметрів зумовлює необхідність використання як показника АПВВЗ R_{APP} деякої функції:

$$R_{APP} = f(\tilde{p}_X, \tilde{p}_0), \quad (1)$$

де \tilde{p}_X – ефективне значення звукового тиску шуму пострілу в точці розташування цілі, Па;

\tilde{p}_0 – граничний поріг чутності людини, Па.

Сполучення значень \tilde{p}_X , \tilde{p}_0 визначатиме, чи реалізується можливість виконати ВЗ приховано. Якщо ефективне значення звукового тиску шуму пострілу \tilde{p}_X не перевищує граничного рівня чутності людини \tilde{p}_0 , то відповідно до формули (2) [21] рівень звукового тиску шуму пострілу не набирає позитивного значення і сам шум не буде чутний противником, навіть у повній тиші:

$$L_X = 20 \lg \frac{\tilde{p}_X}{\tilde{p}_0}, \quad (2)$$

де L_X – рівень звукового тиску шуму пострілу в точці розташування цілі (на відстані X від зброї), дБ.

На практиці у будь-яких умовах наявні сторонні шуми, що відіграють роль звукових маскерів. У такому разі шуми, які мають ефективні значення звукового тиску \tilde{p} , що є нижчими за ефективне значення звукового тиску шуму маскеру \tilde{p}_M (в одній і тій же самій точці простору), також не будуть чутними. По суті, формула (2) набере вигляду (3), що пояснюється ефектом звукового маскування:

$$L_{X_{ум}} = 20 \lg \frac{\tilde{p}_X}{\tilde{p}_{MX}}, \quad (3)$$

де $L_{X_{ум}}$ – умовний рівень звукового тиску шуму пострілу на відстані X від зброї, (дБ).

На практиці відомими є, як правило, параметри шумів пострілу і маскеру не в точці розташування цілі, а в точках розташування джерел шумів (або на певній відстані до них). Ефективне значення звукового тиску і відповідно рівень звукового тиску шуму пострілу є функцією відстані від джерела шуму до цілі, тому відстань X (яка є важливою для виконання ВЗ і може набирати різні значення) також має враховуватися під час оцінювання АПВВЗ. Так само слід враховувати і відстань від джерела шуму маскеру до цілі X_M , особливо у випадках штучного звукового маскування.

Наприклад, залежність рівня звукового тиску від відстані X може бути визначена за формулою (4) [21], а залежності ефективних значень звукових тисків шумів пострілу і маскеру від відповідних відстаней – за формулами (5) та (6) [21]:

$$L_X = L_1 - 20 \lg \frac{X}{X_1}, \quad (4)$$

$$\tilde{p}_X = \frac{\tilde{p}_1 \cdot X_1}{X}, \quad (5)$$

$$\tilde{p}_{MX} = \frac{\tilde{p}_{M1} \cdot X_{M1}}{X_M}, \quad (6)$$

де L_1 – рівень звукового тиску шуму пострілу на деякій початковій відстані від джерела шуму (стрільця) X_1 , дБ;

X – відстань від джерела шуму пострілу до цілі, м;

X_M – відстань від джерела шуму маскеру до цілі, м;

X_1 – початкова відстань, на якій вимірювався звуковий тиск шуму пострілу (або значення звукового тиску є відомим), м;

X_{M1} – початкова відстань, на якій вимірювався звуковий тиск шуму маскеру (або значення звукового тиску є відомим), м;

\tilde{p}_1 – ефективне значення звукового тиску шуму пострілу на відстані X_1 , Па;

\tilde{p}_{M1} – ефективне значення звукового тиску шуму маскеру на відстані X_{M1} , Па.

Поєднуючи формули (3) з (5) та (6), отримаємо

$$L_{X_{\text{ум}}} = 20 \lg \frac{\tilde{p}_1 \cdot X_1 \cdot X_M}{\tilde{p}_{M1} \cdot X \cdot X_{M1}}. \quad (7)$$

Як видно із формули (7), підвищення значень звукового тиску шуму пострілу і відстані до маскеру відбиватиметься на АПВВЗ негативно, а підвищення значень звукового тиску шуму маскеру і відстані до цілі – навпаки, позитивно.

Вираз (7) можна розглядати як показник АПВВЗ:

$$R_{\text{АПР}} = 20 \lg \frac{\tilde{p}_1 \cdot X_1 \cdot X_M}{\tilde{p}_{M1} \cdot X \cdot X_{M1}}. \quad (8)$$

Цей показник може набирати негативні та позитивні значення або дорівнювати нулю. Позитивне значення $R_{\text{АПР}}$ відповідає тому, що факт застосування зброї може бути виявлений противником, а його нульове чи негативне значення – акустично прихованому виконанню ВЗ. Негативне значення $R_{\text{АПР}}$ може набирати, коли числівник логарифма буде менше знаменника, тобто коли $\tilde{p}_X < \tilde{p}_{MX}$, але така ситуація є гіпотетичною і на практиці трапляється нечасто. Наявність резерву, що полягає у різниці значень \tilde{p}_X та \tilde{p}_{MX} , доцільно використати, скоротивши різницю до нуля, наприклад, шляхом зменшення відстані до цілі. Навіть за позитивного значення $R_{\text{АПР}}$ виявлення факту застосування зброї залежить від того, наскільки чутний звук буде асоціюватися саме з пострілом зі зброї. Проте значення $R_{\text{АПР}} \leq 0$ гарантують АПВВЗ.

Із наведеного є очевидним, що менше значення пропонованого показника відповідає більшій акустичній прихованості виконання ВЗ. Тому як критерій АПВВЗ можна запропонувати простий граничний критерій:

$$R_{\text{АПР}} \leq R_{\text{АПРmax}}, \quad (9)$$

де $R_{\text{АПРmax}}$ – максимально допустиме значення показника АПВВЗ, дБ.

Значення $R_{\text{АПРmax}} = 0$ є таким, що гарантує акустичну прихованість і може вважатися найбільш раціональним.

У випадку, коли є відомими або можуть бути обчислені ефективні значення звукового тиску

шумів пострілу і маскеру у місці розташування цілі, як критерій АПВВЗ доцільно застосовувати більш просту нерівність (9), яка впливає з виразу (3):

$$\tilde{p}_X \leq \tilde{p}_{MX}. \quad (10)$$

Слід ураховувати, що наявність земної поверхні, різних нерівностей та перешкод обумовлює явища інтерференції та дифракції звукової хвилі [22, 23], які впливають на параметри звукового поля шуму пострілу. Це призводить до суттєвих відмінностей його реальних характеристик від розрахункових.

Крім того, експериментально встановлено, що навіть за однакових умов у разі стрільби з однієї зброї та з незмінної відстані сприйняття шуму пострілу різними особами може дещо розрізнятися [24, 25]. Зазначене обумовлюється як відмінностями гостроти слуху окремих респондентів, що залучалися до емпіричних досліджень, так і складною психофізичною природою сприйняття звуку людиною. Цим пояснюються також відмінності в інтерпретації респондентами чутного шуму, коли одні ідентифікували його як шум пострілу, а інші – як шум іншого джерела, яке не пов'язане зі стрільбою.

Так, у статті [24], в якій досліджено ймовірність виявлення факту застосування зброї противником у функції від характеристик шуму пострілу зброї та відстані до цілі, наводяться чотири градації суб'єктивних відчуттів шуму пострілу окремими особами: шум пострілу добре чутний, але приглушений (група А); чутний імпульсний шум, але немає чіткої асоціації з пострілом зброї (група Б); імпульсний шум ледь чутний і зовсім не асоціюється з пострілом зброї (група В); звук пострілу не чутний (група Г). При цьому у міру віддалення від джерела шуму перехід респондентів з однієї групи до іншої здійснювався не одночасно, а поступово. Тому автори [24] як мірило звукової помітності малошумної зброї прийняли відносну кількість респондентів, які мали ті чи інші відчуття.

Можна зробити висновок, що АПВВЗ має ймовірнісну природу, і її доцільно характеризувати ймовірнісними показниками. Як такий показник пропонується ймовірність невиявлення противником факту застосування зброї P_{HEB} :

$$P_{HEB} = (1 - P_B)^n, \quad (11)$$

де P_B – ймовірність виявлення противником факту застосування зброї;

n – кількість здійснених зі зброї пострілів, од.

Як критерій оцінювання АПВВЗ можна застосувати простий граничний критерій:

$$P_{HEB} \geq P_{HEBmin}, \quad (12)$$

де P_{HEBmin} – мінімально допустима ймовірність невиявлення противником факту застосування зброї.

Отже, розроблено показники акустичної прихованості виконання вогневого завдання [формули (8) і (11)] та відповідні критерії [формули (9), (10), (12)]. У разі застосування зброї по цілях, що розташовані поблизу поверхні землі, доцільно користуватися показником (11) та критерієм (12). В умовах, коли впливом поверхонь та об'єктів можна знехтувати (наприклад, під час стрільби по цілях, що розташовані у будівлях на достатній висоті, або за необхідності звукового маскування від літальних розвідувальних апаратів), доречнішими є показник АПВВЗ (8) та критерій (9). У специфічних випадках можливе застосування критерію АПВВЗ (10).

Перевага показника АПВВЗ (8) полягає у можливості прогнозу характеристик звукового поля та АПВВЗ аналітичними методами на основі даних про розміщення стрільця та цілі, а також фізичних параметрів атмосфери. Для використання ж показника (11) необхідно мати емпіричну залежність $P_B(\tilde{p}_1, \tilde{p}_{M1}, X)$ або $P_B(L_1, L_{M1}, X)$, яка для кожного зразка зброї буде унікальною. Проте наявність подібних залежностей дає змогу зробити більш достовірні прогнози P_{HEB} . Це пояснюється перевагами емпіричних залежностей, які полягають у врахуванні особливостей сприйняття та інтерпретації людиною звуків, зокрема шуму пострілу, а також інших чинників, що не враховані в аналітичних моделях.

Висновок

У статті розроблено детермінований і ймовірнісний показники акустичної прихованості виконання вогневого завдання та критерії до них. Визначено переваги і сфери застосування зазначених показників та критеріїв.

Напрямом подальшого дослідження є встановлення впливу показників акустичної прихованості на інші показники ефективності виконання вогневого завдання.

Перелік джерел посилання

1. Біленко О. І. Визначення параметрів звуку пострілу, які впливають на виконання специфічних вогневих завдань силами безпеки та підлягатимуть регламентації. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. № 1 (37). С. 5–11.
2. Біленко О. І. Тактико-технічні характеристики стрілецької зброї для сил охорони правопорядку, які підлягають регламентації. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 2/10 (62). С. 28–32.
3. Біленко О. І., Мартинов І. В., Пістряк П. В. Дослідження стану науково-методичного апарату формування вимог до характеристик шуму пострілу зі стрілецької зброї. *Честь і закон*. 2021. № 4. С. 45–51.
4. Біленко О. І., Кайдалов Р. О., Крюков О. М. Особливості формування вимог до технічних характеристик стрілецької зброї для сил безпеки за умов регламентації шуму пострілу. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2021. Вип. 2. С. 22–32.
5. Mil. Press Flot: Захист і прихованість. URL: <https://flot.com/publications/books/shelf/submarines/p14.htm> (дата звернення: 18.01.2024).
6. Пашин В. М., Іванов В. С., Мишинський Е. Л. Акустична скритність сучасних вітчизняних підводних човнів як досягнення суднобудівельної науки. URL <http://surl.li/rohed> (дата звернення: 22.01.2024).
7. Військовий огляд: Скритність підводних апаратів. URL: <http://surl.li/rohfm> (дата звернення: 18.01.2024).
8. Сили територіальної оборони ВСУ: Прийоми та способи прихованого та безшумного пересування. URL: <http://surl.li/rohfv> (дата звернення: 18.01.2024).
9. Bezpeka shop: Системи виявлення дронів та протидронні системи. URL: <http://surl.li/rohgt> (дата звернення: 25.01.2024).
10. TopWar: Acoustic systems for determining the shot. URL: <http://surl.li/rohha> (дата звернення: 25.01.2024).
11. Militarniy: Автоматизований звуковий комплекс розвідки вогневих позицій. URL: <http://surl.li/rohkk> (дата звернення: 25.01.2024).
12. Gur Khan: Система виявлення пострілів «Сова-М». URL: https://gurkhan.blogspot.com/2016/05/blog-post_89.html (дата звернення: 25.01.2024).
13. STMEGI: Ізраїльська оборонна компанія представила новий датчик виявлення пострілів на полі бою. URL: <http://surl.li/rohkr> (дата звернення: 25.01.2024).
14. Олейніков А. М., Бородавка А. В. Основні напрями вдосконалювання засобів акустичної розвідки. *Радіотехніка : всеукр. міжвідом. наук.-техн. зб.* Харків, 2017. Вип. 189. С. 189–194.
15. Хорев А. А. Засоби акустичної розвідки: спрямовані мікрофони і лазерні акустичні системи розвідки. *Спецтехніка і зв'язок*. 2008. № 3. С. 34–43.
16. Словник української мови у 20 томах. URL: <http://surl.li/rohkz> (дата звернення: 02.02.2024).
17. Словник-UA: портал української мови та культури. URL: <http://surl.li/rohlm> (дата звернення: 02.02.2024).
18. Slovnyk.me: Великий тлумачний словник сучасної мови. URL: <http://surl.li/rohma> (дата звернення: 02.02.2024).
19. Акустична енциклопедія. URL: <http://surl.li/rohmh> (дата звернення: 02.02.2024).
20. Vue.gov.ua: Акустика. URL: <http://surl.li/gqeki> (дата звернення: 02.02.2024).
21. Дубровський І. М., Єгоров Б. В., Рябошапка К. П. Довідник з фізики. Київ : Наук. думка, 1986. 557 с.
22. Енциклопедія фізики і техніки: затухання звуку. URL: http://femto.com.ua/articles/part_1/1207.html (дата звернення: 05.02.2024).
23. Гринченко В. Т., Мелешко В. В. Гармонійні коливання і хвилі у пружних тілах. Київ : Наук. думка, 1981. 284 с.
24. Біленко О. І., Мартинов І. В. Вплив характеристик шуму пострілу зброї та відстані до цілі на ймовірності виявлення факту застосування зброї противником. *Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України*. Київ : ЦНДІОВТ ЗСУ, 2023. Вип. 3 (90). С. 40–47.
25. Біленко О. І., Мартинов І. В. Вплив звукового маскера на ймовірності виявлення факту застосування зброї противником. *Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України*. Київ : ЦНДІОВТ ЗСУ, 2023. Вип. 4 (91). С. 96–105.

ПОКАЗНИКИ І КРИТЕРІЇ АКУСТИЧНОЇ ПРИХОВАНOSTІ ВИКОНАННЯ ВОГНЕВОГО ЗАВДАННЯ

Деякі вогневі завдання потребують прихованого виконання, зокрема прихованості акустичної. Наприклад, під час виконання завдань силами спеціальних операцій акустична прихованість виконання дає змогу знищити чатових, спостерігачів та інших за умови, що основні сили противника не отримають негайної інформації про напад або проникнення зазначених сил на заборонену територію.

Незважаючи на значну кількість зразків малошумної зброї та пристроїв зниження рівня шуму пострілу, на цей час є проблеми формування вимог до характеристик такої зброї, ухвалення рішень щодо прийняття її на озброєння відповідних сил, вибору малошумної зброї з числа доступних зразків, що відповідатиме конкретним умовам виконання певних вогневих завдань.

Одним із кроків на шляху вирішення зазначених проблем є розроблення таких показників і критеріїв акустичної прихованості виконання вогневих завдань, значення яких мають бути відправними пунктами у процесах формування вимог до малошумної зброї та обґрунтованого вибору зразків цієї зброї з числа варіантів, що пропонуються ринком.

Розроблено детермінований і ймовірнісний показники акустичної прихованості виконання вогневого завдання і критерії до них. У разі застосування зброї по цілях, що розташовані поблизу поверхні землі, доцільно використовувати ймовірнісний показник з відповідним критерієм. В умовах, коли впливом поверхонь та об'єктів можна знехтувати, більш доречним є детермінований показник.

Перевага детермінованого показника акустичної прихованості виконання вогневих завдань полягає у можливості прогнозу характеристик звукового поля та акустичної прихованості виконання вогневих завдань аналітичними методами на основі даних про фізичні параметри атмосфери. Для використання ймовірнісного показника необхідно мати емпіричну залежність ймовірності виявлення шуму пострілу від характеристик шуму пострілу, шумів, що маскують, та відстані до зброї, яка для кожного зразка зброї буде унікальною. Проте наявність наведеної залежності дає змогу зробити більш достовірні прогнози акустичної прихованості, що пояснюється врахуванням зазначеною залежністю особливостей сприйняття та інтерпретації людиною звуків, зокрема шуму пострілу.

Отримані результати можливо використовувати для порівнювальної оцінки наявних зразків малошумної зброї та формування вимог до перспективних її зразків.

Ключові слова: акустична прихованість, шум пострілу, звуковий тиск, показник, критерій, стрілецька зброя, вогневе завдання.

Біленко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри управління та логістики Національної академії Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0001-6007-3330>

Гоца Ростислав Віталійович – начальник групи запобігання і профілактики кримінальних та інших правопорушень Вінницького зонального відділу Військової служби правопорядку
<https://orcid.org/0009-0004-5850-0961>