

DOI: 10.18372/2225-5036.30.20358

ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ

Зоя Самосуд

Державний університет "Київський авіаційний інститут"



САМОСУД Зоя Олегівна

Рік та місце народження: 1985 рік, м. Київ, Україна.

Освіта: Національний авіаційний університет, 2007 рік.

Наукові інтереси: інформаційна безпека, системи захисту інформації.

Публікації: більше 20 наукових публікацій, серед яких наукові статті, тези доповідей та патенти на винаходи.

E-mail: z.samosud@gmail.com

Анотація. Ця робота присвячена питанню формування та генерації акустичного імпульсного сигналу для методу акустичної локації. У цьому методі відстань до розташування мовного закладного пристрою визначається за часом проходження акустичного імпульсу до мікрофона закладки. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження показали, що використання акустичного відеоімпульсу в методі акустичної локації для пошуку мовних закладних пристроїв практично неможливе. Дослідження засвідчили, що на створення форми акустичного відеоімпульсу значно впливає наявність високочастотних гармонік та відсутність низькочастотних. Відсутність високочастотних гармонік більше впливає на крутість фронту та спаду, і менше – на форму імпульсу. Щоб використати динамік, який випромінює в діапазоні середніх акустичних частот і зберегти форму випроміненого імпульсу, необхідно застосовувати несучу частоту, яка відповідає середній частоті діапазону випромінювання, із модуляцією відеоімпульсом. У такому разі бічні гармонічні складові при модуляції потраплятимуть у діапазон частот, які випромінює динамік. Отже, для формування і генерації акустичного імпульсного сигналу, придатного для вимірювання затримки по фронту під час його розповсюдження, потрібно сформуванню та згенерувати акустичний радіоімпульс. Таким чином, у результаті проведеної роботи визначено умови та вимоги до формування й генерації акустичного імпульсу для методу акустичної локації.

Ключові слова: акустичний відеоімпульс, акустичний радіоімпульс, високочастотні гармоніки, низькочастотні гармоніки, мовний закладний пристрій, динамік, крутість фронту і спаду, форма імпульсу.

Вступ. Існує велика кількість різноманітних технічних методів і способів несанкціонованого отримання конфіденційної інформації. За допомогою технічних засобів передача інформації може здійснюватися радіоканалом, оптичним, дротовим та акустичним каналами. Цими каналами можуть передаватися всі види інформації. Одним із важливих видів інформації, яку легко перехопити та безпосередньо сприймає зловмисник, є акустична мовна інформація. Захист від витoku акустичної інформації здійснюється або шляхом виявлення закладних пристроїв, або шляхом створення різного роду перешкод. Пошук мовних закладних пристроїв також може здійснюватися багатьма способами, залежно від типу каналу передавання інформації. Ці методи й способи, як правило, є складними та не вказують точне місце або напрямок до розташування закладного пристрою. Однак існує метод акустичної локації [1-3], який дозволяє визначити напрям і місцезнаходження мікрофона акустичної закладки або будь-якого іншого пристрою з акустоелектричним ефектом, якщо від закладного пристрою надходить сигнал до пошукового приймача, телефонної лінії, нелінійного локатора чи іншого пошукового пристрою.

Метод акустичної локації базується на генерації акустичного імпульсу, за напрямком і

затримкою якого визначається місцезнаходження мікрофона закладного пристрою. Основною проблемою цього методу є формування та генерація акустичного імпульсу, придатного для застосування у методі акустичної локації.

Аналіз існуючих досліджень

У дослідженій літературі не наведено універсального методу формування та генерації акустичного відеоімпульсу. У кожному конкретному випадку питання формування й генерації необхідного імпульсу вирішується індивідуально, відповідно до поставлених вимог.

Найбільш близькими до тематики цього дослідження є роботи [4, 5]. У роботі [4] під час створення пристрою запобігання аваріям транспортних засобів для вимірювання відстані до об'єкта пропонується використовувати генерацію серії ультразвукових імпульсів. У цьому випадку застосовується спеціальний ультразвуковий випромінювач, який водночас є й приймачем. Серія імпульсів після випромінювання перетворюється на дзвоноподібний радіоімпульс, що не відповідає сигналу, поданому на випромінювач. Слід зауважити, що в цій роботі серія імпульсів потрібна для керування роботою запропонованого пристрою, а не для генерації конкретної форми ультразвукового імпульсу.

У дослідженні не розглянуто фізичні процеси, що впливають на генерацію та форму ультразвукового імпульсу. Крім того, застосовані тривалість імпульсу, скважність, діапазон випромінювання не можуть бути використані в методі акустичної локації при пошуку мовних закладних пристроїв. Закладні пристрої гарантовано пропускають мовний діапазон (300–3400 Гц) і можуть не пропускати ультразвуковий, якщо у закладці застосовується фільтр на мовний діапазон. Відповідно, вимоги до формування й генерації акустичного імпульсу в методі акустичної локації для пошуку закладок суттєво відрізняються від методу, наведеного в роботі [4].

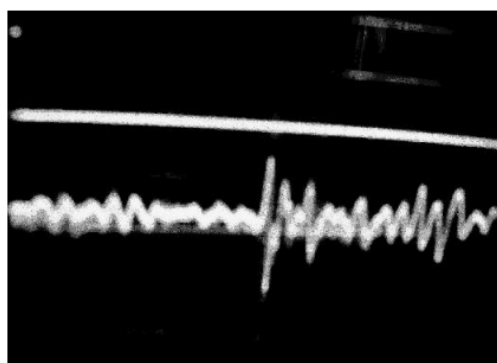
Однією з вимог методу є використання звичайного акустичного динаміка як випромінювача. Крім того, у методі акустичної локації має застосовуватись послідовність імпульсів із великою скважністю, щоб виключити хибні сигнали, що виникають через багаторазові відбиття імпульсу від стін і предметів у приміщенні.

У теоретичній роботі [5] запропоновано метод формування в заданій точці простору акустичного імпульсу будь-якої форми шляхом випромінювання гармонічних складових окремими випромінювачами - динаміками. Припускається, що кожен динамік генерує свою гармонічну складову з фазою, яка відповідає тій чи іншій формі імпульсу.

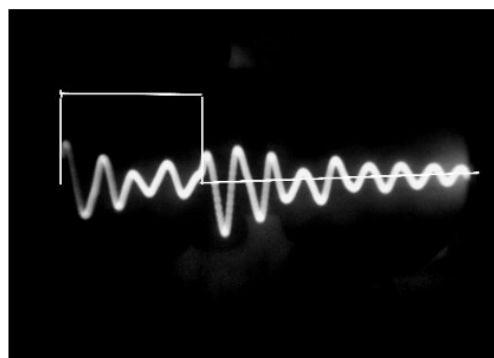
Запропонований у роботі [5] метод формування акустичного імпульсу не може бути використаний у методі акустичної локації при пошуку закладних пристроїв. Кількість динаміків визначає кількість гармонік, що беруть участь у формуванні імпульсу. Водночас форма згенерованого імпульсу залежить від кількості гармонік, що беруть участь у його побудові. Зі збільшенням скважності кількість гармонік зростає, а обмежена кількість випромінювачів призводить до спотворення форми імпульсу. У роботі не наведено досліджень і не показано, які складові ряду Фур'є і наскільки впливають на форму імпульсу при випромінюванні. Таким чином, метою цієї роботи було дослідження можливості формування і генерації акустичного імпульсу для методу акустичної локації в мовному діапазоні частот (300–3400 Гц).

Основна частина досліджень

Щоб реалізувати методіку акустичної локації, необхідно сформувати акустичний імпульсний сигнал прямокутної форми, за фронтом якого можна було б визначити його часову затримку від випромінюючого пристрою до мікрофона закладки. Точність визначення затримки суттєво впливає на точність визначення місцезнаходження закладного пристрою. У цій роботі були проведені експериментальні дослідження з випромінюваними та прийнятими акустичними імпульсами, осцилограми яких наведено на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Осцилограми від прямокутних імпульсів, що формувалися акустичним випромінювачем і приймалися акустичною закладкою при експериментальних дослідженнях методом акустичної локації:

- а) – фотографія осцилограми від прямокутного імпульсу, отриманого із закладки, яка знаходилась на відстані 1,7 метра;
- б) – форма випроміненого і прийнятого прямокутного імпульсу з випромінювача на мікрофон на відстані 0,35 метра.

Експериментальні дослідження пошуку акустичного закладного пристрою (рис. 1а) проводились у приміщенні розміром 4×4 метри з висотою стелі 2,5 метра, з імпульсом тривалістю 0,2 мс, який видно на верхньому промені осцилографа. Розгортка осцилографа відповідала 1 мс/см. Від початку імпульсу (точка зліва на верхньому промені) визначалася затримка імпульсного сигналу (до першого максимуму амплітуди на нижньому промені) від акустичного випромінювача пошукового пристрою на основі акустичної локації [1, 2] до мікрофона акустичної закладки. У цьому випадку закладка знаходилась на відстані 1,7 метра від імпульсного випромінювача.

Із осцилограми (рис. 1а) видно, що прямокутний імпульс, який видно в лівому куті на верхньому промені і який подавався на акустичну систему, а потім приймався мікрофоном закладки (видно на нижньому промені), має чергування осциляцій з різною амплітудою. Подальші експериментальні дослідження показали, що серія перших, найбільш високих осциляцій викликана безпосереднім прийомом акустичного імпульсу мікрофоном закладки.

Серія наступних, з меншою амплітудою, осциляцій пов'язана з відбиттям акустичного імпульсу від інших поверхонь приміщення.

Наявність осциляцій між випроміненим імпульсом (верхній промінь) та відгуком закладки (максимальна амплітуда на нижньому промені) також пов'язана з пере-відбиттями акустичного імпульсу та його слабким затуханням у цьому приміщенні. Позбутись цих осциляцій можна шляхом збільшення скважності імпульсного сигналу.

З осцилограми (рис. 1а) не видно залежності форми осциляцій від параметрів згенерованих імпульсів. Щоб визначити форму випроміненого і прийнятого акустичного імпульсу, мікрофон розміщувався безпосередньо перед акустичним випромінювачем на відстані 0,35 метра. Осцилограма цього експерименту показана на рис. 1б. Форма електричного імпульсу тривалістю 4,5 мс, що подавалась на випромінювач у вигляді динаміка, зображена білою лінією на осцилограмі. Із збільшенням тривалості імпульсу відстань між максимумами осциляцій зростає.

Таким чином, реально спостережуваний сигнал далекий від ідеальної імпульсної форми. Таку форму

акустичного сигналу можна пояснити або порушенням спектрального складу при випромінюванні імпульсу, або коротким часом релаксації частинок повітря при великих тривалостях імпульсу. Очевидно, що при такій формі імпульсу метод акустичної локації, особливо в приміщенні з великою кількістю відбиттів і при змінній тривалості імпульсу (для точнішого визначення часу затримки), не може бути використаний. Для ефективного застосування методу акустичної локації необхідно мати чітко виражений фронт акустичного імпульсу, щоб точно визначити час затримки.

Для пояснення отриманих експериментальних результатів були проведені такі теоретичні дослідження. Відомо, що імпульсний сигнал може бути представлений у вигляді ряду Фур'є. Оскільки маємо періодичний акустичний імпульсний сигнал, то, не порушуючи загальності представлення сигналу, можемо подати його у вигляді парної функції з початковим відліком у центрі одного з імпульсів:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \cos(k \cdot \Omega \cdot t), \text{ где } a_k = \frac{4}{T} \cdot \int_0^{T/2} f(t) \cdot dt, \quad a_k = \frac{4}{T} \cdot \int_0^{T/2} f(t) \cdot \cos(k \cdot \Omega \cdot t) \cdot dt, \quad (1)$$

а $f(t)$ – представлення імпульсу у вигляді ряду Фур'є, T – період слідування імпульсів, a_0 – амплітуда постійної складової, a_k – амплітуда k -ої гармоніки, $\Omega = 2\pi/T$ – кругова частота, t – координата часу.

Вираз (1) може описувати ідеальний прямокутний імпульс. У реальних умовах при генерації імпульсу неможливо отримати нескінченний спектр гармонік. Якщо в електронних схемах можна забезпечити наявність постійної складової та достатньої кількості гармонічних складових імпульсу, то при випромінюванні акустичного імпульсу динаміком такої можливості немає. Механічні частини динаміка мають певну масу, і, як наслідок, механічні резонансні частоти. У результаті цього спектр гармонік, що генеруються динаміком у процесі випромінювання акустичного імпульсу, суттєво змінюється і вносить викривлення у форму акустичного імпульсу. Через масу механічної частини динаміка високочастотні складові спектра також не можуть бути випромінені. Крім того, динамік не здатен випромінювати низькочастотні гармоніки через швидку релаксацію частинок повітря при розрідженні та підвищенні тиску в низькочастотних коливаннях акустичного сигналу. Таким чином, динамік випромінює лише обмежений спектр акустичних коливань.

З урахуванням цих припущень були проведені теоретичні дослідження з обмеженням спектра в ряді Фур'є. На рис. 2 представлено результати цих теоретичних досліджень.

На рис. 2а представлена форма імпульсного сигналу, розрахованого за формулою (1) ряду Фур'є з урахуванням постійної та перших 20 гармонічних складових. У розрахунках бралася тривалість імпульсу, що дорівнює 0,04 умовної одиниці часу, а скважність – 3. Імпульс має хорошу прямокутну форму з досить крутим фронтом та спадом у порівнянні з тривалістю. Обмеження високочастотних гармонік призводить до появи високочастотних осциляцій з досить малою амплітудою. Збільшення кількості гармонік призводить до ще більшого зменшення амплітуди осциляцій. Слід зазначити, що скважність імпульсу суттєво впливає на його форму. Зміна скважності, від використаної в розрахунках, призводить до значних змін форми імпульсу. Залежність форми імпульсу від скважності є темою подальших досліджень. У цій же роботі проведені дослідження щодо обмеження спектра гармонічних складових на форму імпульсу, щоб визначити можливості генерації акустичних імпульсних сигналів у методі акустичної локації для пошуку акустичних закладних пристроїв у діапазоні (300-3400) Гц.

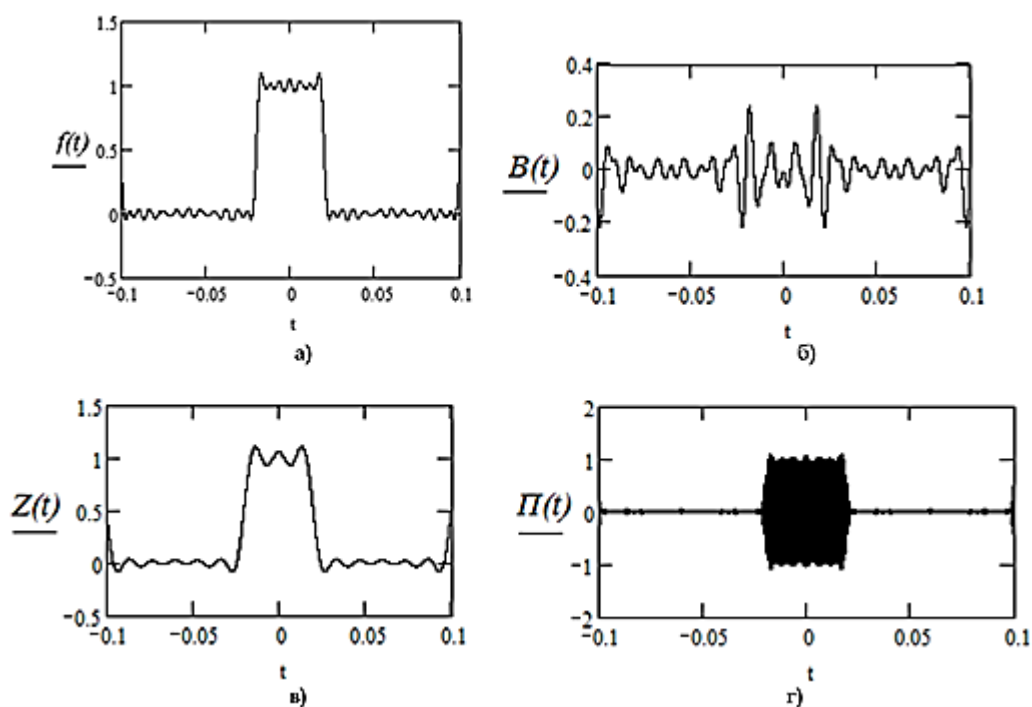


Рис. 2. Результати теоретичних досліджень випромінюваного акустичного імпульсу: а) форма імпульсу, розрахована за допомогою ряду Фур'є з урахуванням постійної та перших 20 гармонічних складових; б) форма імпульсу, розрахована з урахуванням від 9 до 20 гармоніки включно; в) форма імпульсу, розрахована з урахуванням постійної складової та перших 8 гармонік включно; г) акустичний радіоімпульс, несуча частота якого модульована рядом Фур'є з урахуванням постійної складової та перших 20 гармонік.

На рис. 2б представлена форма імпульсного сигналу з обмеженням кількості низькочастотних гармонік. У цьому випадку використовувалися тільки гармоніки з 9-ї по 20-у включно.

З рис. 2б видно, що відсутність постійної складової та перших 8 гармонік призводить до суттєвої зміни форми імпульсу. Високочастотні гармонічні складові призводять тільки до появи осциляцій, амплітуда яких збільшується в області фронту та спаду імпульсу. Така форма дуже схожа на форму в експериментальних дослідженнях (рис. 1б), де форма випромінюваного та прийнятого прямокутного імпульсу з випромінювача на мікрофон на відстані 0,35 метра практично збігається за формою з розрахунками. Крім того, така ж форма спостерігається в експериментальних дослідженнях по пошуку акустичного закладного пристрою методом акустичної локації (рис. 1а).

На рис. 2в представлена форма імпульсного сигналу з обмеженням кількості високочастотних гармонік. Тут використовувалися тільки постійна складова та перші 8 гармонік включно. З рис. 2в видно, що постійна складова та низькочастотні гармоніки описують форму прямокутного імпульсу з зміною фронтів і спаду імпульсу та появою низькочастотних осциляцій з більшою амплітудою, ніж на рис. 2а.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження вказують на те, що звичайні динаміки не здатні генерувати відеоімпульсні сигнали в методі акустичної локації закладних пристроїв.

Відомо, що динаміки мають досить хорошу амплітудно-частотну характеристику в області розмовних акустичних частот в діапазоні від 300 Гц до 3400 Гц.

Акустичні закладні пристрої для знімання мовної інформації також обмежуються цим же діапазоном частот. Отже, якщо в цьому діапазоні сформувати і згенерувати акустичний імпульсний сигнал, то за затримкою імпульсного сигналу можна визначити відстань до місця знаходження закладного пристрою.

Згідно з проведеними дослідженнями, випромінити акустичний імпульс можна, якщо сформувати сигнал у вигляді акустичного радіоімпульсу. У цьому випадку акустичний радіоімпульс являє собою несучу середню частоту 1850 Гц, модуляційну відеоімпульсом, який визначається рядом Фур'є (1):

$$П(t) = \left[\frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \cos(k \cdot \Omega \cdot t) \right] \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (2)$$

де ω – несуча кругова частота акустичного радіоімпульсу. При модуляції імпульсом навколо несучої утворюється спектр бокових частот імпульсу, який дозволяє передавати в смузі частот динаміка постійну та низькочастотні гармонічні складові, які, як показали теоретичні дослідження, в меншій мірі спотворюють імпульсний сигнал.

На рис. 2г представлена форма радіоімпульсу, розрахованого за формулою (2) з урахуванням постійної та перших 20 гармонічних складових і несучою $\omega=3500\pi$. З рис. 2г видно, що форма

огиначаючого акустичного радіоімпульсу повністю відповідає формі відеоімпульсу з рис. 2а. У реєструючій схемі, після детектування, виділяється акустичний відеоімпульс, по затримці якого визначається відстань до закладки. На рис. 3а представлена форма електричного радіоімпульсу, поданого на котушку динаміка. Така форма була досягнута в результаті формування пачки коротких прямокутних імпульсів, які подавались через фільтр з розрахунковою смугою від 300 Гц до 3400 Гц з видаленням постійної складової.

Пачка коротких імпульсів формувалась таким чином, щоб зі зміною тривалості огиначаючого імпульсу в пачці не з'являлись коротші імпульси, а стрибкоподібно змінювалась лише їх кількість. Це дозволило виключити збагачення спектра акустичного радіоімпульсу додатковими гармонічними складовими і, відповідно, додатковими спотвореннями при випромінюванні. У верхній частині рис. 3б представлена форма акустичного радіоімпульсу,

отриманого з мікрофона та записаного комп'ютером за допомогою програми Adobe Audition 1.5. Якщо порівняти радіоімпульси на рис. 3а і рис. 3б, можна сказати, що акустичний радіоімпульс має таку ж кількість коротких імпульсів (7 імпульсів), як і електрична пачка.

Однак після акустичної пачки імпульсів залишається певний коливальний процес, що виражається в затухаючих осциляціях, які викликані резонансними коливаннями механічної системи динаміка. Відсутність осциляцій перед акустичним радіоімпульсом забезпечується великою скважністю сигналу, в результаті чого резонансні механічні коливання між випромінюваними радіоімпульсами встигають затухнути. Такий акустичний сигнал цілком придатний для методу акустичної локації мовних закладних пристроїв. Наявність певного коливального процесу після імпульсу практично не впливає на визначення часу затримки і, як наслідок, на визначення відстані до закладки.

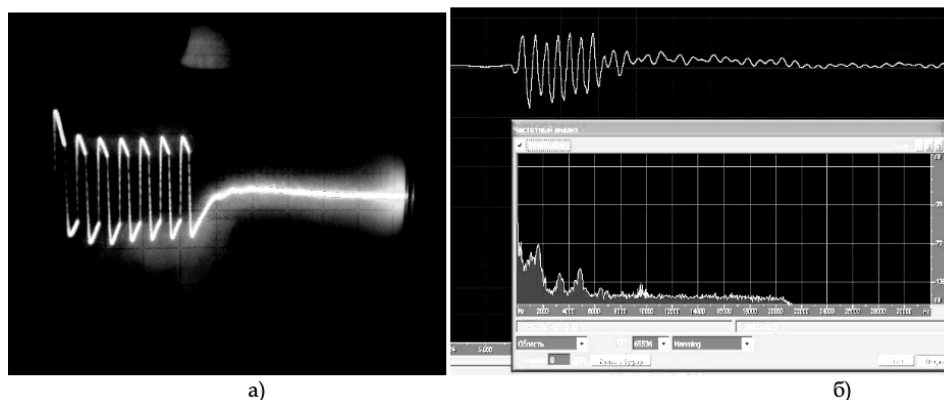


Рис. 3. Форма акустичного радіоімпульсу:

а) осцилограма електричного радіоімпульсу, поданого на динамік;

б) форма акустичного радіоімпульсу, отриманого з мікрофона та записаного комп'ютером за допомогою програми Adobe Audition 1,5

Такий акустичний радіосигнал після двопівперіодного випрямлення та інтегрування дозволяє отримати відеоімпульс достатньо хорошої якості. У нижній частині рис. 3б представлений спектр акустичного радіоімпульсу. На рисунку видно кілька максимумів. Перший максимум відповідає несучій частоті, а решта є кратними несучій.

Висновки

В результаті виконаної роботи можна зробити такі висновки:

Аналіз результатів досліджень інших авторів щодо формування акустичного імпульсу показує, що ця проблема залишається актуальною до сьогодні.

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження в даній роботі показали, що використання акустичного відеоімпульсу в методі акустичної локації для пошуку мовних закладних пристроїв в діапазоні 300-3400 Гц практично неможливе. Показано, що на спотворення форми випромінювання акустичного відеоімпульсу значною

мірою впливає наявність високочастотних гармонік і відсутність низькочастотних. Відсутність високочастотних гармонік значно впливає на крутість фронту та спаду, і меншою мірою — на форму імпульсу. Щоб використовувати динамік, який випромінює в діапазоні середніх акустичних частот, і зберегти форму випромінюваного імпульсу, необхідно використовувати несучу частоту, що відповідає середній частоті діапазону випромінювання, з модуляцією відеоімпульсом (1). У цьому випадку бічні гармонічні складові від відеоімпульсу при модуляції потрапляють у діапазон випромінюваних динаміком частот. Після прийому закладним пристроєм акустичного радіоімпульсу та його детектування можна отримати відеоімпульс з якістю, достатнім для визначення затримки, а отже, визначити відстань до мовного закладного пристрою.

Отже, для того щоб сформувати та згенерувати акустичний імпульсний сигнал, придатний для вимірювання затримки при його

розповсюдженні, необхідно сформувати та згенерувати акустичний радіоімпульс.

Таким чином, в результаті виконаної роботи визначені умови і вимоги до формування та генерації акустичного імпульсу для методу акустичної локації.

Список використаних джерел

[1] Патент UA 43628U Пристрій для визначення місця знаходження закладного пристрою за допомогою лазера кл. G 01 S 7/00, 15/00 бюл. №16 опубл. 25.08.2009.

[2] Патент UA 86600 Пристрій пошуку закладного пристрою за допомогою акустичної локації кл. G 01 S 7/52, 15/00 бюл. №1 опубл. 10.01.2014.

[3] Самосуд З.О. Пошук закладних пристроїв за допомогою акустичної локації / З.О. Самосуд / Безпека інформації. – 2015. – №3(21). – С. 263-268.

[4] Патент UA 37232 Пристрій для вимірювання відстані за допомогою ультразвуку кл. G 01 S 7/52, 15/00 бюл. №4 опубл. 15.05.2001.

[5] Савчук В.Н. Генерація низькочастотних гармонік як спектральних складових послідовності акустичних імпульсів / В.Н. Савчук, Т.Л. Савчук, Г.І. Сокол, Я.Д. Левченко // Космічна техніка. Ракетне озброєння. – 2015. – №2 (109). – С. 83-88.

УДК 004.056.6 (043.2)

Samosud Z.O. Forming and generation of acoustic impulse for the method of acoustic location

Abstract. This work is dedicated to the formation and the generation of an acoustic impulse signal for the acoustic location method. In this method, the distance to the place of the secret intelligence device (SID) is determined by the time of an acoustic impulse signal pass to the microphone of the SID. The experimental and theoretical researches have shown that the use of an acoustic video impulse signal in the acoustic location of SID method is practically impossible. Researches have shown that the distortion of the acoustic video impulse of radiation is largely influenced by the presence of high-frequency harmonics and lack low-frequency harmonics. The absence of high-frequency harmonics has a greater influence on the front and fall slope and to a lesser extent on the shape of the impulse. To use a speaker that emits mid-range acoustic frequencies, and keep the shape of the emitted impulse is necessary to use the carrier frequency, which corresponds to a centre frequency of the emission band with modulation by video impulse. In this case, the side harmonics by modulating the fall in the range of frequencies emitted by the speaker. Therefore, to generate an acoustic impulse and to generate a signal suitable for measuring the propagation delay it is necessary to form and generate the radio impulse. Thus, as a result of the work we determined the conditions and requirements for forming and generating an acoustic impulse for acoustic location method.

Key words: acoustic video impulse, acoustic radio impulse, high-frequency harmonics, low-frequency harmonics, secret intelligence device, speaker, front and fall slope, form of impulse.