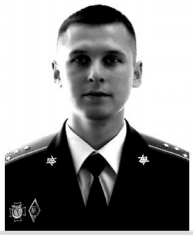
УДК 343.74



В. В. Руденко | **О. В. Заєць** | **В. В. Берека** | **О. М. Пастушенко**

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ПРИХОВАНОЇ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ І БОЄПРИПАСІВ

Синтезована структура радіолокаційної системи виявлення та розпізнавання потенційних носіїв прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів, що дозволяє здійснювати ефективний контроль за несанкціонованим розповсюдженням зброї.

К л ю ч о в і с л о в а: нелінійна радіолокація, корозія вогнепальної зброї, виявлення та розпізнавання вогнепальної зброї, синтез структур систем.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день фіксуються численні спроби незаконного переміщення зброї і боєприпасів із зони проведення АТО, що становить безпосередню загрозу безпеці громадян. Тому виявлення та розпізнавання прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів в умовах ведення проти України гібридної війни є одним з ключових пріоритетів та відповідає проекту G 4992 в межах програми співпраці з НАТО “Наука заради миру та безпеки” [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виявлення прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів може проводитись методом безпосереднього контакту з потенційним носієм зброї з використанням ручних та стаціонарних арочних металодетекторів [2]. Основним недоліком цього методу є те, що його не можна застосовувати приховано, саме це робить його неефективним. Крім того, пропускна здатність пункту контролю, на якому використовується цей метод, значно знижується. Наведені недоліки спонукають до пошуку перспективних технологій безконтактного дистанційного виявлення та розпізнавання вогнепальної зброї і боєприпасів та синтезу на їх основі високотехнологічних систем, де однією з головних вимог, крім ефективності, є прихованість застосування.

Відомо, що для виявлення електронних засобів несанкціонованого добування інформації широко застосовуються методи нелінійної радіолокації [3, 4]. Наразі вважається, що оскільки вогнепальна зброя не має у своєму складі радіоелектронних компонентів, то її не можна виявляти методами нелінійної радіолокації. Практичне застосування нелінійних радіолокаторів показало, що існують структури метал – окисел, які подібно до напівпровідникових елементів створюють гармоніки зондуючого сигналу радіолокатора та зменшують імовірність правильного виявлення засобів несанкціонованого добування інформації. Такі структури утворюються за рахунок корозії техногенних металевих конструкцій, якими є зброя і боєприпаси. В процесі бойового застосування та зберігання вогнепальна зброя і боєприпаси взаємодіють із зовнішнім середовищем та піддаються впливу хімічної (газової) і електрохімічної корозії [5–8]. У цьому контексті перспективною є технологія виявлення прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів методами нелінійної радіолокації.

Метою статті є синтез структури радіолокаційної системи виявлення та розпізнавання потенційних носіїв прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів на фоні мобільних телефонів, радіоприймальних пристроїв, засобів прослуховування музики та прикрас з дорогоцінних металів.

Виклад основного матеріалу. При взаємодії з електролітами під час бойового застосування та зберігання вогнепальна зброя і боєприпаси окислюються і на їх поверхнях утворюються осередки корозії, які, на відміну від неокисленого металу, мають нелінійну вольт-амперну характеристику (рис. 1, *а*). Нелінійні вольт-амперні характеристики (ВАХ) також мають *р-n* переходи діодів, транзисторів та інтегральних мікросхем аксесуарів типу мобільних телефонів, радіоприймальних

© В. В. Руденко, О. В. Заєць, В. В. Берека, О. М. Пастушенко, 2017

пристроїв та засобів прослуховування музики (рис. 1, *б*), що збільшує ймовірність безпідставних тривог.

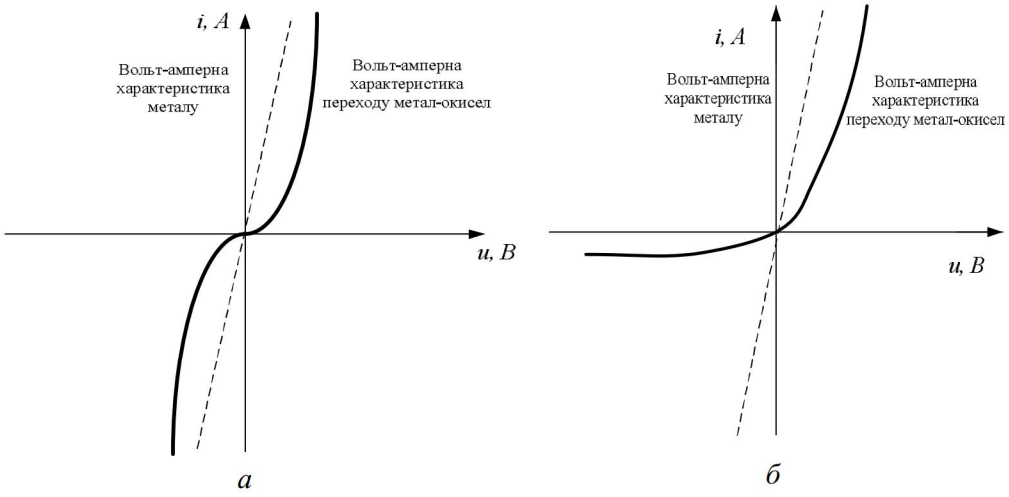


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики: *а* – металу та переходу метал–окисел; *б* – металу та *p-n* переходу напівпровідникових приладів

Розпізнавання вогнепальної зброї на фоні аксесуарів з електронними компонентами може базуватись на особливостях ВАХ, які в точці (U_0, I_0) можуть бути апроксимовані рядом Тейлора n-ї степені:

$$i(u) = i(U_0) + \frac{i'(U_0)}{1!}(u-U_0) + \frac{i''(U_0)}{2!}(u-U_0)^2 + ... + \frac{i^{(n)}(U_0)}{n!}(u-U_0)^n = \\ = a_0 + a_1(u-U_0) + a_2(u-U_0)^2 + a_3(u-U_0)^3 + ... + a_n(u-U_0)^n, \quad (1)$$

де $a_n = \frac{i^{(n)}(U_0)}{n!}$.

Вольт-амперна характеристика переходу метал–окисел вогнепальної зброї і боєприпасів апроксимується членом 3-ї степені $a_3(u-U_0)^3$, в той час як ВАХ *p-n* переходів діодів, транзисторів та інтегральних мікросхем – членом 2-ї степені $a_2(u-U_0)^2$.

При наведенні нелінійним радіолокатором напруги $u_p(t) = U_m \cos\omega_1 t$ на контактах метал–окисел зброї і боєприпасів та на *p-n* переходах діодів, транзисторів та інтегральних мікросхем через них буде проходити струм

$$i(t) = I_0 + I_{m1}\cos\omega_1 t + I_{m2}\cos 2\omega_1 t + I_{m3}\cos 3\omega_1 t + ... + I_{mn}\cos n\omega_1 t. \quad (2)$$

Співвідношення амплітуд гармонік $I_{mn}\cos n\omega_1 t$ можуть слугувати ознакою для виявлення та розпізнавання прихованої зброї і боєприпасів на фоні аксесуарів та прикрас з дорогоцінних металів.

Якщо амплітуда гармоніки $I_{m3}\cos 3\omega_1 t$, яка відповідає члену 3-ї степені апроксимуючого ряду $a_3(u-U_0)^3$, більша за амплітуду гармоніки $I_{m2}\cos 2\omega_1 t$, яка утворена членом 2-ї степені $a_2(u-U_0)^2$, то ймовірно, що нелінійним локатором виявлено зброю. У випадку $I_{m2}\cos 2\omega_1 t \geq I_{m3}\cos 3\omega_1 t$ приймається рішення, що виявлено об'єкт, який є аксесуаром.

За своїми електромагнітними характеристиками прикраси та аксесуари близькі до металу вогнепальної зброї і боєприпасів, що значно ускладнює задачу їх розпізнавання.

Синтезуємо оптимальну структуру радіолокаційної системи виявлення та розпізнавання прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів у разі опромінення передавачем потенційного носія монохроматичним сигналом $u_p(t) = U_m \cos\omega_1 t$ (див. рис. 2).

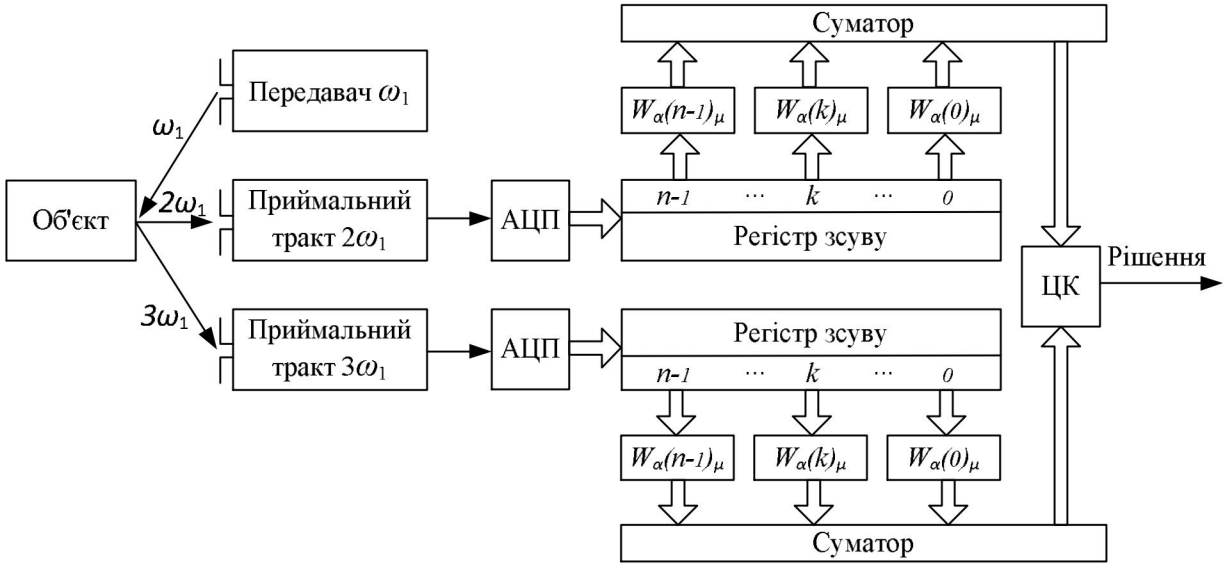


Рис. 2. Структурна схема системи виявлення та розпізнавання зброї і боєприпасів

Перевипромінені об'єктом та прийняті приймальними трактами сигнали перетворюються на цифрову форму у вигляді послідовності дискретних змінних u_k, $k = 0, 1, ..., n-1$, кожна з яких набуває значення x_α, $\alpha = 1, 2, ..., r$. Для статистично незалежних відліків таку послідовність можна апроксимувати регулярними неоднорідними нульзв'язними ($\upsilon = 0$) ланцюгами Маркова з r станами. Незалежність відліків відповідає ситуації, коли інтервал дискретизації Δt перевищує час кореляції процесу $u(t)$ на вході аналого-цифрового перетворювача (АЦП). У цьому випадку багатомірне розподілення ймовірностей послідовності дискретних змінних $u_к$ для сигналу з шумом для μ-класу(μ=1, 2) об'єктів виявлення $P_{сп}(u)$ та шуму $P_n(u)$ можна записати як

$$P_{сп\mu}(u) = P_{сп\mu}(u_0, u_1, ..., u_k, ..., u_{n-1}) = P_{сп\mu}(u_0) P_{сп\mu}(u_1), ..., P_{сп\mu}(u_k), ..., P_{сп\mu}(u_{n-1});$$
$$P_n(u) = P_n(u_0, u_1, ..., u_k, ..., u_{n-1}) = P_n(u_0) P_n(u_1), ..., P_n(u_k), ..., P_n(u_{n-1}). \quad (3)$$

Врахувавши квантування АЦП за амплітудою та його кодування, багатомірне розподілення ймовірностей послідовності дискретних змінних $u_к$ можна записати таким чином:

$$P_{сп\mu}(u) = \prod_{k=0}^{n-1} \prod_{\alpha=1}^{r} P^{\theta_\alpha(k)}{}_{\alpha сп\mu}(k); P_n(u) = \prod_{k=0}^{n-1} \prod_{\alpha=1}^{r} P^{\theta_\alpha(k)}{}_{\alpha n}(k), \quad (4)$$

де $P_{\alpha сп}(k), P_{\alpha n}(k)$ – ймовірність того, що змінна $u_к$ набула значення x_α; $\theta_\alpha(k)$ – індикатор стану x_α, $\theta_\alpha(k) = 1$ при $u_к = x_\alpha$ та $\theta_\alpha(k) = 0$ при $u_к \neq x_\alpha$.

Для прийняття рішення про належність реалізації перевипроміненого сигналу до μ-класу достатньою статистикою є відношення правдоподібності

$$l_\mu(u) = \frac{P_{сп\mu}(u)}{P_n(u)}. \quad (5)$$

Критерій прийняття рішення про віднесення реалізації прийнятого сигналу до μ-класу полягає у визначенні μ з максимальним $l_\mu(u)$.

Структуру системи розпізнавання можна спростити, якщо замінити операцію множення логарифмуванням. Логарифм відношення правдоподібності матиме такий вигляд:

$$\ln l_\mu(u) = \ln \frac{P_{сп\mu}(u)}{P_n(u)} = \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{\alpha=1}^{r} \theta_\alpha(k) \ln \frac{P_{\alpha сп}(\kappa)_\mu}{P_{\alpha n}(\kappa)} = \sum_{\kappa=0}^{n-1} \sum_{\alpha=1}^{r} \theta_\alpha(k) W_\alpha(k)_\mu, \quad (6)$$

де $W_\alpha(k)$ – вагові коефіцієнти.

Процедура розпізнавання полягає в обчисленні логарифмів відношень правдоподібності $\ln l_\mu(u)$ та визначенні μ, що відповідає максимальному з розрахованих відношень.

Відліки $u_к$ з виходів АЦП записуються в регістри зсуву (див. рис. 2); їх розрядні виходи є адресними входами постійних запам'ятовуючих пристроїв, у яких записані вагові коефіцієнти $W_\alpha(k)_\mu$, що вибираються із запам'ятовуючих пристроїв; на суматорах формуються відношення правдоподібності $\ln l_\mu(u)$; в цифровому компараторі (ЦК) порівнюються сформовані відношення правдоподібності та виноситься рішення.

Вагові коефіцієнти $W_\alpha(k)_\mu$ формуються шляхом "навчання" на наборі еталонних сигналів, що перевипромінюються реальними зразками озброєння.

Висновки

При взаємодії з електролітами під час бойового застосування та зберігання вогнепальна зброя і боєприпаси окислюються і на їх поверхнях утворюються осередки корозії, які, на відміну від неокисленого металу, мають нелінійну вольт-амперну характеристику, що своєю чергою призводить до створення гармонік $I_{mn}\cos n\omega_1 t$ при опроміненні їх гармонічним сигналом. Співвідношення амплітуд визначених гармонік $I_{mn}\cos n\omega_1 t$ можуть слугувати ознакою для виявлення та розпізнавання прихованої зброї і боєприпасів на фоні аксесуарів та прикрас з дорогоцінних металів. На основі цієї ознаки з використанням апарату дискретних багатомірних ланцюгів Маркова синтезована придатна до удосконалення структура радіолокаційної системи виявлення та розпізнавання потенційних носіїв прихованої вогнепальної зброї і боєприпасів, яка дозволяє здійснювати ефективний контроль за несанкціонованим розповсюдженням зброї.

Список використаних джерел

1. Special Edition NATO SPS Science Day in Kyiv, Ukraine, 27 May 2016 ISSN 1027-3239. Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr. 2016.

2. Хореев, А. А. Способы и средства защиты информации [Текст] / А. А. Хореев. – М. : МО РФ, 1998. – 316 с.

3. Вернигоров, Н. С. Неизвестная нелинейная локация как технология двойного применения [Текст] / Н. С. Вернигоров // Конфидент защита информации. – 2003. – Вып. 6. – С. 80–83.

4. Щербаков, Г. Н. Применение нелинейной радиолокации для дистанционного обнаружения малоразмерных объектов [Текст] / Г. Н. Щербаков // Специальная техника. – 1999. – Вып. 1. – С. 34–39.

5. Поддубный, В. Н. Коррозия оружия и боеприпасов [Текст] / В. Н. Поддубный. – М. : Воениздат, 1952. – 352 с.

6. Поддубный, В. Н. Как сберегать вооружение от коррозии [Текст] / В. Н. Поддубный. – М. : Воениздат, 1961. –72 с.

7. Corrosion-Resistant Lined Pump and Compressor Pipe / N. A. Bogatov, A. A. Bogatov and D. R. Salikhyanov // Steel in Translation. – 11, 2014. – Vol. 44. – pp. 867–869.

8. Жуков, А. П. Основы металловедения и теории коррозии [Текст] / А. П. Жуков, А. И. Малахов. – М. : Высш. шк., 1991. – 168 с.

Стаття надійшла до редакції 12.05.2017 р.

УДК 343. 74

В. В. Руденко, А. В. Заяц, В. В. Берека, А. Н. Пастушенко

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ СКРЫТОГО ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ОРУЖИЯ И БОЕПРИПАСОВ

Синтезирована структура радиолокационной системы обнаружения и распознавания потенциальных носителей скрытого огнестрельного оружия и боеприпасов, позволяет создать эффективный контроль за несанкционированным распространением оружия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: нелинейная радиолокация, коррозия огнестрельного оружия, обнаружение и распознавание огнестрельного оружия, синтез структур систем.

UDC 343. 74

V. V. Rudenko, O. V. Zaets, V. V. Bereka, O. M. Pastushenko

SYNTHESIS OF THE STRUCTURE RADAR DETECTION AND IDENTIFICATION OF CONCEALED FIREARMS AND AMMUNITION

Structure synthesized radar detection and identification of potential carriers of concealed firearms and ammunition to create effective control of illicit weapons proliferation.

K e y w o r d s: nonlinear radiolocation, corrosion of firearms, detection and identification of firearms, synthesis of systems structures

Руденко Віктор Валерійович – тимчасово виконуючий обов'язки командира військової частини А1906.

Заєць Олександр Володимирович – науковий співробітник відділу першого науково-дослідного управління військової частини А1906.

Берека Валерій Веніамінович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу першого науково-дослідного управління військової частини А1906.

Пастушенко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу першого науково-дослідного управління військової частини А1906.