

В. Б. Кононов, О. А. Кононова, Н. В. Соломіна

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТУ АКУСТИЧНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ ВІД ДОВЖИНИ КАБЕЛЮ ПРИ РОЗІМКНЕНОМУ І ЗІМКНЕНОМУ СТАНІ ПРИЛАДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

**Предметом** вивчення в статті є залежності коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю при розімкненому і зімкненому стані приладів ідентифікації, що необхідний для отримання заданого значення коефіцієнту акустичного відображення сигналу. **Метою статті** є визначення впливу зовнішнього навантаження на амплітуду вихідного сигналу у пристроях радіочастотної системи ідентифікації об'єктів на акустичних поверхневих хвилях. **Задача, що вирішується**, – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких в практику вимірювання дозволять визначити методику оцінки залежності коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю при розімкненому і зімкненому стані приладів ідентифікації об'єктів. **Висновки:** запропоновані технічні рішення, що отримані при експериментальному дослідженні підтвердили резонансну залежність амплітуди сигналу, який відображується, від реактивності дозволяють рекомендувати визначити методи затримки в якості вторинного перетворювача, який модулює електричний сигнал в відповідності зі зміною електричних параметрів первинного вимірювального перетворювача. Це надає обслузі радіочастотної системи ідентифікації об'єктів можливість використання коаксіального кабелю в якості елемента, який навантажується чи узгоджується, для створення різних сенсорів

**Ключові слова:** коефіцієнт акустичного відображення, амплітуда вихідного сигналу, лінія затримки.

### Вступ

**Постановка задачі.** Для забезпечення точного виміру амплітуди вихідного сигналу у радіотехнічних пристроях на амплітуду вихідного сигналу на акустичних поверхневих хвилях здійснюється детектування інфразвукових хвиль об'єктів, які мають великі геометричні розміри. Теоретичне дослідження характеру впливу електричного навантаження, яке підключається до зустрічно-штирьового перетворювача радіочастотної системи ідентифікації об'єктів, а також експериментальне підтвердження резонансної залежності амплітуди сигналу, який відображується, від реактивності дозволяють рекомендувати лінію затримки, що відображається в якості вторинного перетворювача, що модулює електричний сигнал в відповідності зі зміною електричних параметрів первинного вимірювального перетворювача. Тому дослідження впливу зовнішнього навантаження на амплітуду вихідного сигналу у пристроях радіочастотної системи ідентифікації об'єктів на акустичних поверхневих хвилях є актуальною науково-технічною задачею при повірці радіотехнічних зразків, визначає актуальність статті.

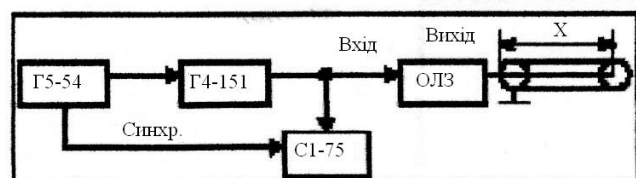
**Аналіз літератури.** Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, викладено в статтях авторів [1, 2] та джерелах [3-15]. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості викладено в статтях [1]. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення викладено в статті [2]. Основи експлуатації засобів

вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО викладені в літературі [8-15]. Але в [1-15] питання, які пов'язані із визначенням впливу зовнішнього навантаження на амплітуду вихідного сигналу у пристроях радіочастотної системи ідентифікації об'єктів на акустичних поверхневих хвилях, не розглядалися.

**Метою статті** є визначення впливу зовнішнього навантаження на амплітуду вихідного сигналу у пристроях радіочастотної системи ідентифікації об'єктів на акустичних поверхневих хвилях.

### Основний матеріал

Перш за все розглянемо залежності коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю при розімкненому і зімкненому стані приладів ідентифікації об'єктів супротивника підрозділами РТВ ППО ЗС України в умовах проведення операції Об'єднаних сил за схемою на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема дослідження залежності коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю при розімкненому і зімкненому стані

Коаксіальний кабель типу РК 50-1-21 визначається такими параметрами [2]:  $\rho = 50$  Ом – хвильовий опір кабелю;  $C_{II} = 95$  пФ/м – погонна ємність;  $K_{y0} = 1,41$  – коефіцієнт скорочення довжини хвилі;  $\tau = 2$  – діелектрична проникність фторопласту Ф4

( $\tau$  – період резонансної частоти). Вхідний імпеданс кабелю з підключеним навантаженням опору  $Z_H$  визначається за формулою:

$$Z_{ex} = (Z_H + l\omega \operatorname{tg}(\beta X)) / (1 + l \cdot Z_H \cdot \operatorname{tg}(\beta X) / \rho), \quad (1)$$

де  $\omega$  – кутова частота;  $l$  – довжина;  $\rho$  – густина;  $x$  – положення рівноваги;  $\beta$  – одиниця вимірювання децибел (дБ). Вираз для вхідного імпедансу кабелю, який розімкнено на кінці, є таким:

$$Z_{ex}(X) = -l\rho \operatorname{ctg}(\beta X). \quad (2)$$

Залежність коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю в розімкненому стані показана на рис. 2.

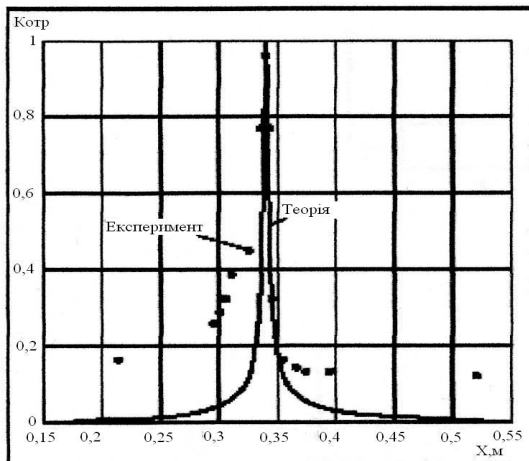


Рис. 2. Залежність коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю в розімкненому стані

Для коаксіального кабелю, який замкнуто на кінці, формула (2) приймає вигляд:

$$Z_{ex}(X) = l\rho \operatorname{tg}(\beta X), \quad (3)$$

де  $X$  – довжина кабелю;  $\beta = \omega_0 / v$  – фазова стала.

Використовуючи коефіцієнт скорочення, фазову постійну можна визначити як

$$\begin{aligned} \beta &= \omega_0 K_{ук} / v_C = \\ &= 2\pi 300 \times 10^6 \cdot 1,41 / 3 \times 10^8 = 8,85 \text{ [рад / м]}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $v_C$  – швидкість світла;  $\omega_0$  – центральна частота. Тоді модуль коефіцієнта відображення

$$|K_{OTP}(Y_W)| = \left| \frac{G_0}{G_0 + i\omega_0 C_T + Y_W} \right|, \quad (5)$$

де  $G_0$  – активна складова акустичної провідності зустрічно-штирьового перетворювача;  $C_T$  – статистична ємність зустрічно-штирьового перетворювача;  $Y_W$  – провідність навантаження, отже:

$$|K_{розімкнен}(X)| = \left| \frac{G_0}{G_0 + l\omega_0 C_\tau - 1/(150 \operatorname{ctg} 8,85X)} \right|; \quad (6)$$

$$|K_{зімкнен}(X)| = \left| \frac{G_0}{G_0 + l\omega_0 C_\tau + 1/(150 \operatorname{ctg} 8,85X)} \right|. \quad (7)$$

Експериментальна оцінка впливу навантаження на вихідний сигнал проводилася на лабораторному стенді. До відображувачої лінії затримки підключався коаксіальний кабель, розімкнутий на кінці. З імпульсного генератора Г5-54 модульований відеосигнал надходить на високочастотний генератор Г4-151. В результаті радіосигнал з заповненням 300МГц і амплітудою  $A_{ПАД}$  надходить на відображувачу лінію затримки, де відбувається пряме і зворотне перетворення електричного і акустичного сигналів і в результаті на виході відображувачої лінії затримки виникає електричний сигнал з амплітудою  $A_{ОТР}$ , зміщений відносно  $A_{ПАД}$  на час затримки. Падаючий і відображений сигнали фіксуються на екрані осцилографу С1-75. Амплітуда відображеного електричного сигналу пропорційна коефіцієнту відображення від навантаженого зустрічно-штирьового перетворювача з коефіцієнтом пропорційності, враховуючим втрати на перетворення і розповсюдження поверхневих акустичних хвиль:

$$\tau A_{ОТР} / A_{ПАД} = K_{ОТР}. \quad (8)$$

Зміною довжини кабелю  $X$  шляхом його скорочення на фіксоване значення вимірювалася відповідна амплітуда  $A_{ОТР}$ . Частота  $\omega_0$  і амплітуда  $A_{ПАД}$  на протязі проведення експерименту не змінились. Коефіцієнт  $\tau$  визначався з виразу:

$$\tau_{вих}(A_{ОТР} / A_{ПАД}) = 1. \quad (9)$$

Як відомо, розімкнена на кінці лінія має вхідний імпеданс, який змінюється як по своєму характеру, так і по величині в залежності від довжини кабелю. При довжині кабелю від  $2/4(177\text{мм})$  до  $2/2(355\text{мм})$   $Z_{ХХ}$  можна вважати індуктивним, в цьому випадку можна розрахувати значення індуктивності від довжини кабелю:

$$L(X) = |Z_{ХХ}(X)| / \omega_0. \quad (10)$$

При довжині кабелю від  $z/2(355\text{мм})$  до  $3z/4(532\text{мм})$   $Z_{ХХ}$  має ємнісний характер:

$$C(X) = 1 / (|Z_{ХХ}(X)| \omega_0). \quad (11)$$

З формул (10), (11) визначаємо довжину кабелю, при якій реалізується значення індуктивності, яке компенсує статичну ємність перетворювача –  $X_0 = 0,345\text{м}$ . Таким чином, при підключенні коаксіального кабелю довжиною  $X_0$  коефіцієнт відображення від зустрічно-штирьового перетворювача буде максимальним. За допомогою виразів (11) і (10) побудована залежність коефіцієнта відображення від індуктивності (рис. 3) та ємності (рис. 4).

Аналізуючи теоретичні та експериментальні результати, можна зробити наступні висновки.

1. Підключення до лінії затримки, яка відображується, реактивного навантаження з величиною, яка змінюється, дозволяє ефективно керувати амплітудою вихідного сигналу.

2. Найбільша зміна коефіцієнта відображення, а отже і зміна амплітуди сигналу, який відображується, спостерігається при індуктивному навантаженні поблизу значення індуктивності, яка компенсує статичну ємність перетворювача.

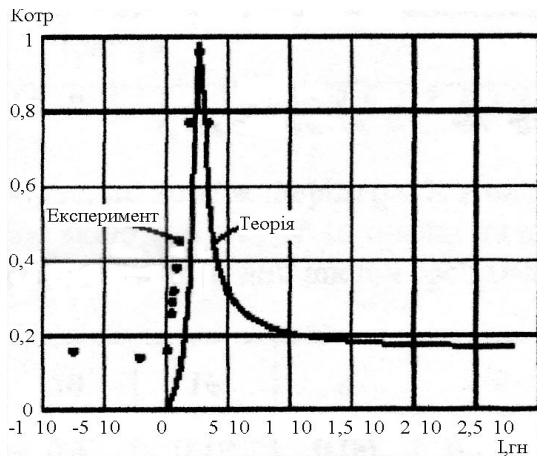


Рис. 3. Залежність коефіцієнту акустичного відображення від значення індуктивності

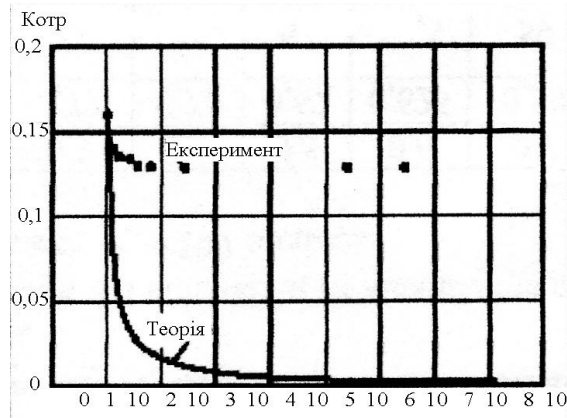


Рис. 4. Залежність коефіцієнту акустичного відображення від значення ємності

3. Експериментально визначений коефіцієнт відображення не обертається в нуль на відміну від теоретичного значення тому, що розрахунок коефіцієнту відображення за формулою (11) не дозволяє врахувати інші механізми відображення від електронної структури зустрічно-штирьового перетворювача.

Інший варіант реалізації вхідного опору індуктивного характеру, який має величину, яка компенсує статичну ємність перетворювача, потребує підключення коаксіального кабелю визначеної довжини з ємнісним навантаженням. Таке підключення представляє інтерес в зв'язку з широкими можливостями, які відкриваються, створення чутливих ємнісних елементів. Прирівнюючи вираз (11) для вхідного опору кабелю  $Z_{BX} = l\omega L_{комп}$  з підключеним навантаженням опору  $Z_H = 1/(l\omega C)$ , не важко отримати відповідність довжини кабелю і ємнісного навантаження, яке підключають:

$$C(X) = \frac{\rho + L_{комп}\omega \operatorname{tg}(\beta X)}{\rho^2 \omega \operatorname{tg}(\beta X) - \rho\omega^2 L_{комп}}, \quad (12)$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кононов В.Б., Бурцева В.В. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. ХНУПС. – Вип.1 (147). – Харків, 2017. – С. 88–92.
2. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів виміральної техніки військового призначення // АКТТ. – Харків: НАУ ХАІ—2011.-№ 8 (85). – С.231–234.

де  $\rho=50$  Ом;  $L_{комп}=0,26 \times 10^{-6}$  Гн;  $\beta=8,85$ ;  $\omega=300 \times 10^6 \times 2\pi$  – циклічна частота.

Величина модулю коефіцієнту акустичного відображення на робочій частоті визначається виразом (5), де  $Y_H = 1/Z_{ex}$ , а  $Z_{ex}$  знаходиться з формули (1). Відповідний графік залежності коефіцієнта акустичного відображення від ємності, яка навантажується, при різних довжинах кабелю подано на рис. 5.

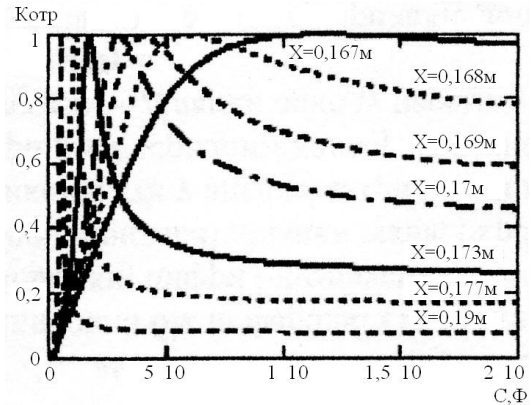


Рис. 5. Залежність коефіцієнту акустичного відображення від значення ємності, що навантажується, при різній довжині кабелю

Розглянута множина характеристик забезпечує різні варіації довжини кабелю при високій чутливості коефіцієнта акустичного відображення до зміни ємності, яка навантажується.

Висновки

1. За результатами проведеного дослідження залежності коефіцієнту акустичного відображення від довжини кабелю при розімкненому і зімкненому стані приладів ідентифікації об'єктів авторами вирішена задача впливу зовнішнього навантаження на амплітуду вихідного сигналу у пристроях радіочастотної системи ідентифікації об'єктів на акустичних поверхневих хвилях.

2. Проведене теоретичне дослідження характеру впливу електричного навантаження, яке підключається до зустрічно-штирьового перетворювача, і експериментальне підтвердження резонансної залежності амплітуди сигналу, який відображується, від реактивності дозволяють рекомендувати відображувачу лінію затримки в якості вторинного перетворювача, який модулює електричний сигнал в відповідності зі зміною електричних параметрів первинного вимірювального перетворювача.

3. Використання коаксіального кабелю в якості елемента, який навантажується чи узгоджується, відкриває широкі можливості для створення різних сенсорів.

3. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
4. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V.. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kasprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
5. Коваленко А. А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 180-184.
6. Коваленко А. А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 1(38). – С. 116-119.
7. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45. DOI: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
8. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
9. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
10. Кононов В.Б., Науменко А.М., Водолажко О.В., Коваль О.В., Кондрашова І.І. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. – Навч. посібник. - Харків: ХНУПС, 2017. –288 с.
11. Кононов В.Б. Застосування електричних вимірювань засобами вимірювальної техніки в умовах проведення АТО: навч. посіб./ В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль та ін.. – Х.:ХНУПС, 2018. – 392 с.
12. Кононов В.Б. Instrumentation and general principles of sensors. Part 1: навч. посіб./ В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль та ін. – Х.:ХНУПС, 2018. – 64 с.
13. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 : навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, П. М. Яблонський. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.
14. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування: навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, О. В. Ярошенко. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.
15. Кузнецов І. Б., Марценківський В. Т., Ярошенко О. В., Буяло О. В., Проценко В. О. Удосконалення парку пересувних лабораторій вимірювальної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем // Збірник наукових праць КНУ ім. Т. Шевченка. Вип. 32. – К. : ВІКНУ, 2011. – С. 33–46.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. І. Кондрашов,  
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків  
Received (Надійшла) 14.05.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.06.2019

### **Исследование зависимости коэффициента акустического отображения от длины кабеля при разомкнутом и замкнутом положении приборов идентификации объектов**

В. Б. Кононов, Е. А. Кононова, Н.В. Соломіна

**Предметом** изучения статьи являются зависимости коэффициента акустического отображения от длины кабеля при разомкнутом и замкнутом состоянии приборов идентификации объектов, необходимый для получения заданного значения коэффициента акустического отображения сигнала. **Целью статьи** является определения влияния внешней нагрузки на амплитуду входного сигнала в устройствах радиочастотной системы идентификации объектов на акустических поверхностных волнах. **Решаемая задача** – обоснование технических решений, внедрение которых в практику измерений позволят определить методику оценки зависимости коэффициента акустического отображения сигнала от длины кабеля при разомкнутом и замкнутом состоянии приборов идентификации объектов. **Выводы:** предложенные технические решения, полученные при экспериментальном исследовании, подтвердили резонансную зависимость амплитуды сигнала, который отображается, от реактивности позволяет рекомендовать определенные методы задержки в качестве вторичного преобразования, который модулирует электрический сигнал в соответствии с изменением электрических параметров первичного измерительного преобразователя. Это даёт обслуживающему персоналу радиочастотной системы идентификации объектов возможность использования коаксиального кабеля в качестве элемента, который возможно использовать при построении разных сенсоров.

**Ключевые слова:** коэффициент акустического отображения, амплитуда выходного сигнала, линия задержки.

### **Investigation of the dependence of the acoustic mapping coefficient on the cable length at open and closed position of object identification devices**

V. Kononov, O. Kononova, N. Solomina

**The subject** of the study of the article are the dependences of the coefficient of the active display of the cable at the open and closed state of the instrumentation required for the value of the co-ferment of the signal display mapping. **The purpose of the article is** determination the influence of external load on the amplitude of the input signal in the devices of the radio frequency system. **The task is** to substantiation of the technical solutions, the introduction of which into the practice of measurement allows us to determine the metrology of assessing the dependence of the coefficient. **Conclusions:** proposed technical solutions will allow to define methods of experimental study confirmed the resonant dependent amplitude of the signal that is displayed on the reactivity allows us to recommend identified delay methods as a secondary transducer. This gives the staff of the radio frequency identification system cheating the possibility of using coaxial cable as a clement that can be used to build different sensors.

**Keywords:** coefficient of acoustic mapping, amplitude of the input signal, display delay line.