

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.3\(35\).112-117](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.3(35).112-117)

**Ю. Я. МЕЛЕНКО**, кандидат технічних наук  
<https://orcid.org/0000-0002-1805-204X>

**О. М. ПОЗДНЯКОВА**, кандидат технічних наук  
<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

**В. В. БІЛОУС**, кандидат технічних наук  
<https://orcid.org/0000-0002-9228-8704>  
(Державне підприємство «Київський науково-дослідний інститут гідроапаратури», м. Київ)

**К. Ю. ШЕЙКО**  
<https://orcid.org/0000-0003-4809-0634>  
(Командування Військово-Морських Сил Збройних Сил України, м. Одеса)

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИЯВЛЕННЯ ШУМОВИПРОМІНЕННЯ ПІДВОДНИХ ЧОВНІВ У ПАСИВНОМУ РЕЖИМІ

*В статті вперше запропоновано метод пеленгування і визначення координат рухомого підводного човна у пасивному режимі по створюваному ним шуму в інфразвуковому та низькому звуковому діапазонах частот із застосуванням взаємної кореляційної функції при одночасному прийомі акустичної інформації від трьох пасивних ненаправлених радіогідроакустичних буїв. Застосування взаємно-кореляційної функції, як метод пеленгування, може бути застосований в усьому робочому діапазоні частот РГБ-16В, від 2 до 5000 Гц, тобто одночасно, чого немає у жодній відомій на сьогодні гідроакустичній системі. Метод створює можливість для розробки моделі адитивних антенних решіток з нееквідистантно розташованими приймальними елементами.*

**Ключові слова:** поле авіаційних радіогідроакустичних буїв, виявлення підводних човнів.

### ВСТУП

На сьогодні авіаційні пошуково-прицільні системи (АППС) на основі авіаційних радіогідроакустичних буїв (РГБ) використовуються в основному як одиночні датчики гідроакустичної інформації. В той же час стає зрозумілим, що обробка інформації від систем таких РГБ дає значно більше інформаційних даних при пошуку підводних об'єктів. Це може бути суттєве

збільшення направлених властивостей АППС, а відтак, і дальності виявлення підводних об'єктів; направлений огляд АППС кругової акваторії; керування при необхідності точністю визначення азимуту цілі; визначення при необхідності дальності цілі; супроводження АППС одночасно кількох підводних об'єктів і т. д. Такі можливості АППС відкрилися у зв'язку з наявністю: вільно плаваючих авіаційних РГБ; жорстким визначенням завдяки GPS положення кожного буя; можливостями обробки на носії інформації від багатьох джерел; можливостями керування параметрами пошуку інформації.

**Метою статті** є дослідження можливостей використання інформації від плоского поля авіаційних РГБ для визначення параметрів шуканого підводного джерела випромінювання шуму.

### АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ЧИННИКІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ШУМУ ПІДВОДНИХ ЧОВНІВ

Основними чинниками створення випромінювання шуму підводних човнів (ПЧ) є гвинто-кормові механізми, які за рахунок обертання валу і гребного гвинта, а також перекладки кормових і носових рулів глибини, створюють вальну і лопастну дискретні складові, короткочасні вібрації корпусу, шуми обтікання та інші чинники.

Частотний діапазон шумовипромінювання ПЧ проекту 636 типу «Варшав'янка» знаходиться в межах від 0,5 до 250 Гц з приведеним рівнем шуму 0,05 Па/√Гц на кожній із частот в полосі від 10 до 100 Гц. Кількість обертів валу складає від 30 до 400 за хвилину, на гребному гвинті розташовано 7 лопатей спеціальної форми, призначених для збільшення тяги та зниження рівня випромінювання шуму.

Частота дискретних складових спектру випромінювання вираховується за формулою:

$$f_{\text{д.с.}} = \frac{N_{\text{об.вала}} \cdot N_{\text{лопатей}}}{60 \text{ с}} \quad (1)$$

Із виразу (1) випливає, що частоти випромінювання (дискретні складові або суцільна частина спектру), створювані обертами гребних гвинтів ПЧ, лежать в інфразвуковому та низькому звуковому діапазонах частот.

Обертання лопатей випромінює дві різні чіткі складові сигнатури акустичних шумів: перша відноситься до тональної складової та її гармонік, зумовлена саме повторюванням власного обертання валу і гребного гвинта, друга – широкополосний шум, який є випадковим неперіодичним сигналом, обумовлений турбулентними потоками поза лопатями гвинта.

### АНАЛІЗ ГІДРОАКУСТИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОЛЯ АВАЦІЙНИХ РГБ

Українською оборонною промисловістю успішно реалізовано проект з розробки радіогідроакустичної системи «Ятрань» (РГС «Ятрань») на базі пасивних ненаправлених буїв РГБ-16В [12] ДП «Київський НДІ гідроапаратури» (РГС «Ятрань») та РГБ-16В успішно використані при проведенні міжнародних військових навчань «Sea Breese – 2017», «Sea Breese – 2018»), призначеної для виявлення рухомих підводних і надводних об'єктів по створюваних ними, особливо в



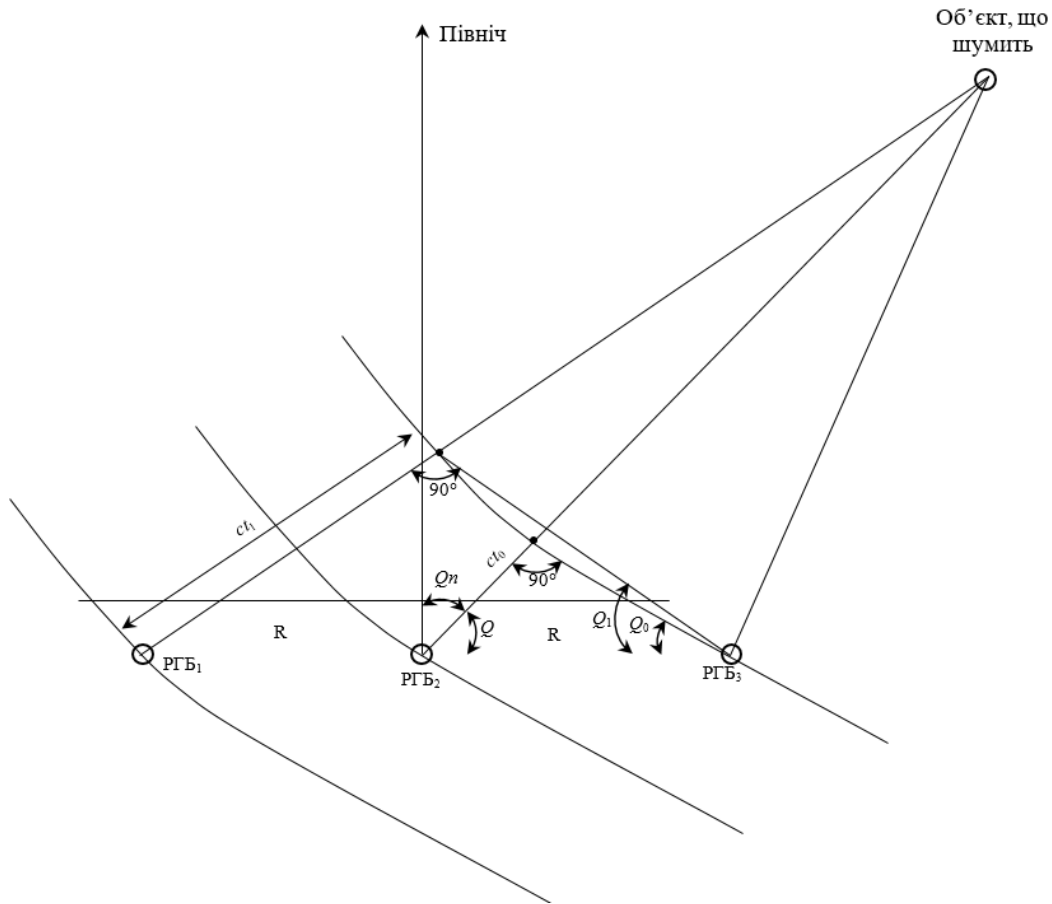


Рис. 2. Умовне розташування РГБ

Взаємна кореляційна функція між сигналами від РГБ-2 і РГБ-3 дозволяє визначити момент часу  $t_0$ , а перемноження на швидкість звуку  $c$  відстанню  $Ct_0$ , на яку сигнал проходить більшу відстань до РГБ-2, ніж той самий сигнал до РГБ-3. Тоді, із рис. 2 видно, що

$$\frac{Ct_0}{R} = \sin Q, \tag{6}$$

$$\frac{Ct_1}{2R} = \sin Q_1, \tag{7}$$

тоді із виразу (6), пеленг на шумовипромінюючий об'єкт

$$Q_0 = \arcsin\left(\frac{Ct_0}{R}\right), Q = 90^\circ - Q_0 = \arcsin\frac{Ct_0}{R}, \tag{8}$$

тоді пеленг буде дорівнювати

$$Q_p = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{Ct_0}{R}\right). \tag{9}$$

Для визначення дальності до об'єкта скористаємось теоремою косинусів для трикутника, в кутах якого знаходяться два буя РГБ-2, РГБ-3, а в третьому – об'єкт випромінювання (ПЧ). У відповідності до формули косинусів,  $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos Q$ , для нашого трикутника можливо записати як

$$a^2 = (a + Ct_0)^2 + R^2 - 2(a + Ct_0) R \cos Q \tag{10}$$

або розкриємо дужки:

$$a^2 = a^2 + 2aCt_0 + (Ct_0)^2 + R^2 - 2aR \cos Q - 2Ct_0R \cos Q \tag{11}$$

при перенесенні членів з «а» у ліву сторону отримаємо:

$$a^2 - a^2 + 2aCt_0 + 2aR \cos Q = (Ct_0)^2 + R^2 - 2Ct_0R \cos Q. \tag{12}$$

Скоротивши  $a^2$  та винесши  $2a$  за дужки, отримаємо вираз:

$$2a(Ct_0 + R \cos Q) = (Ct_0)^2 + R^2 - 2Ct_0R \cos Q. \tag{13}$$

Звідки дальність «а» до об'єкта шумовипромінювання до РГБ-3 буде мати вираз:

$$a = \frac{(Ct_0)^2 + R^2 - Ct_0R \cos Q}{2(Ct_0 + R \cos Q)} \tag{14}$$

Відповідно дальність від РГБ-2 до об'єкта випромінювання набуде виразу:

$$a = \sqrt{a + Ct_0}. \tag{15}$$

Таким чином, використовуючи теорему косинусів, взаємну кореляційну функцію між гідроакустичними сигналами та інформацію про точне місцезнаходження не менше ніж трьох РГБ, можливо визначити місце знаходження об'єкта випромінювання шуму.

Аналогічно, буї можуть приймати прямі сигнали від активних підкільних [3] і буксируваних гідроакустичних станцій [4–10], у складі яких застосовуються потужні низькочастотні циліндричні гідроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі звуку з керуванням резонансною частотою [10, 11]. Діапазон робочих частот РГБ-16В повністю перекриває весь діапазон частот вказаних перетворювачів, що дозволяє вирішувати

проблеми комплексного застосування кораблів з антенами змінної глибини [4].

Після виявлення підводного човна, доцільно наводити основні сили корабельного угруповання, противовнової авіації та включення бортових гідроакустичних засобів для уточнення координат цілі та у разі потреби застосування зброї.

### ВИСНОВКИ

Показано, що використання в АППС можливостей системи РГБ значно розширює можливості АППС з пошуку підводних об'єктів.

Встановлено, що використовуючи робочий діапазон РГБ-16В при апріорі відомій позиції буїв, можливо у пасивному режимі через вирахування взаємної кореляційної функції між акустичними сигналами, які поступають від двох буїв одночасно, визначити пеленг на об'єкт випромінювання, а при наявності трьох буїв координати об'єкта шумовипромінювання.

Показано, що використання взаємної кореляційної функції між акустичними сигналами в РГС «Ятрань» може проводитись в усьому діапазоні робочих частот РГБ-16В і дає можливість виявляти інші типи випромінювання, що значно підвищує тактико-технічні характеристики виробу і дає суттєву перевагу у тактиці противовнової боротьби.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Лейко А.Г., Шамарин Ю.Е., Ткаченко В.П. Подводная акустическая аппаратура и устройства: в 2-х т. Т. 1. Подводные акустические антенны. Методы расчета звуковых полей. Киев: Аванпостприм. 2000. 320 с.
2. Гринченко В.Т., Вовк И.В., Маципура В.Т. Волновые задачи акустики: монография. Киев: Интерсервис. 2013. 572 с.
3. Дерепя А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами, размещенными в корпусе корабля: монография. Киев: Изд. дом Дмитрия Бурого. 2014. 424 с.
4. Дерепя А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами переменной глубины: монография. Киев: Изд. дом Дмитрия Бурого. 2016. 400 с.
5. AN/UQQ-2 SURveillance Towed Array Sensor System. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AN/UQQ-2>.
6. Дерепя А.В., Джаназян В.В., Лейко О.Г., Дрозденко О.И. Сучасні підходи до конструювання гідроакустичних антен корабельних гідроакустичних станцій. Озброєння та військова техніка. 2019. № 2(22). С. 93—98. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2\(22\).93-98](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2(22).93-98).
7. Гринченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Хвильові задачі акустики. Київ: Інтерсервіс. 2013. 572 с.

8. Гринченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Основи акустики. Київ: Наукова думка. 2007. 640 с.
9. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука. 2005. 410 с.
10. Лейко О.Г., Тимочко О.І., Ластівка І.О., Позднякова О.М., Глухов Д.С. Зв'язок між тактико-технічними характеристиками сучасних гідроакустичних станцій активної гідролокації та їх гідроакустичними антенами і перетворювачами. Озброєння та військова техніка. 2021. № 3(31). С. 95—99. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3\(31\).95-99](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3(31).95-99).
11. Меленко Ю.Я. Об одном из путей управления резонансной частотой круговых цилиндрических преобразователей. Электроника и связь. Киев: НТУУ КПИ. 2013. № 2. С. 63—68.
12. Наказ Міністерства оборони України від 06 червня 2019 року № 297 «Про прийняття на озброєння Збройних Сил України окремих зразків озброєння».

### REFERENCES

1. Leiko, A.G., Shamarin, J.E. & Tkachenko, V.P. (2000) “Podvodnaia akusticheskaia apparatura i ustroistva: v 2-h t. T. 1. Podvodnye akusticheskie anteny. Metody rascheta zvukovykh polei” [Underwater acoustic equipment and devices: in 2 vol. T.1. Underwater acoustic antennas. Methods of calculation of sound fields], Avangpostprim. K. 320 p.
2. Grinchenko, V.T., Vovk, I.V. & Macipura, V.T. (2013), “Volvnyye zadachi akustiki” [Wave acoustics tasks], Interservis. K. 572 p.
3. Derepa, A.V., Leiko, A.H. & Melenko, Y.Y. (2014), “Kompleksnaia sistema «hydroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl». Problemnye aspekty systemy «hydroakusticheskaiia stantsiia – nadvodnyi korabl» s antennami, razmeshchennymi v korpuse korablia» [Integrated system «hydroacoustic armament – surface ship». Problem aspects of the «hydroacoustic station – surface ship» system with antennas located in the ship hull], Izd. dom Dmytryia Buraho, K. 424 p.
4. Derepa, A.V., Leiko, A.H. & Melenko, Y.Y. (2016), “Kompleksnaia sistema «hydroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl». Problemnye aspekty systemy «hydroakusticheskaiia stantsiia – nadvodnyy korabl» s antennami peremennoi hlubyny” [The integrated system «hydroacoustic armament – surface ship». Problem aspects of the «hydroacoustic station – surface ship» system with variable depth antennas], Izd. dom Dmytriia Buraho. K. 400 p.
5. AN/UQQ-2 SURveillance Towed Array Sensor System. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AN/UQQ-2> (accessed 15 June 2022).
6. Derepa, A.V., Dzanazian, V.V., Leiko, O.G. & Drozdenko, O.I. (2019). “Suchasni pidhody do konstruiuvannia gidroakustichnih anten korabelnih gidroakustichnih stantsii” [Modern approaches to the design of sonar antennas for ship sonar stations] Weapons and military equipment.

- No 2(22). Pp. 93—98. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2\(22\).93-98](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2(22).93-98).
7. Grinchenko V.T., Vovk I.V. & Matsipura V.T. (2013), “Khvylovi zadachi akustyky” [Wave problems of acoustics], Interservice, K. 572 p.
  8. Grinchenko V.T., Vovk I.V. & Matsipura V.T. (2007), “Osnovy akustyky” [Fundamentals of acoustics], Naukova dumka, K. 640 p.
  9. Koriakyn, Yu.A., Smyrnov, S.A. & Yakovlev, H.V. (2005), «Korabelnaia hydroakusticheskaia tekhnika: sostoianye i aktualnyy problemy» [Ship hydroacoustic equipment: state and current]. Nauka, SPb. 410 p.
  10. Leiko, O.G., Timochko, O.I., Lastivka, I.O., Pozdniakova, O.M. & Gluchov, D.S. (2021). “Zviazok mizh taktuko-tehnichnyimi harakterystykami suchasnykh gidroakustychnykh stantsii aktyvnoi gidrolokatsii ta ikh gidroakustychnymi antenamy i peretvoriuvachamy” [The link between the tactical and technical characteristics of modern hydroacoustic active radar stations and their hydroacoustic antennas and transducers], Weapons and military equipment. No 3(31). Pp. 95—99. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3\(31\).95-99](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3(31).95-99).
  11. Melenko, Y.Y. (2013), “Ob odnom iz putei upravleniia rezonansnoi chastotoi krugovykh tsylindricheskikh preobrazovatelei” [About one of the ways to control the resonant frequency of circular cylindrical transducers], Electronics and communication. No. 2. Pp. 63—68.
  12. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2019), “Pro pryiniattia na ozbroennia Zbroinyh Syl Ukrainy okremykh zrazkiv ozbroiennia No. 297 vid 06.06.2019” [About adoption in the Armed Forces of Ukraine of individual samples of weapons No. 297 dated 06.06.2019].

**Melenko Yu., Pozdniakova O., Bilous V., Sheiko K.**

#### **ABOUT MODERN APPROACHES TO INCREASE OPPORTUNITIES OF NAVY OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE OF DETECTION OF NOISE RADIATION FROM SUBMARINES IN PASSIVE MODE**

*Today, aviation reconnaissance systems (ARS) based on aeronautical radioacoustic buoys (RB) are used mainly as single sensors of sonar information. At the same time, it is becoming clear that the processing of information from the systems of such RB provides much more information when searching for underwater objects. This can be a significant increase in the directional properties of the ARS and hence the range of detection of underwater objects; directed inspection of ARS of circular water area; control, if necessary, the accuracy of determining the azimuth of the target; determination, if necessary, the range of the target; support of ARS of several underwater objects at the same time, etc. The following possibilities of ARS were opened in connection with the presence of: free-flying aviation RB; rigid GPS position determination of each buoy; possibilities*

*of processing on the information carrier from many sources; information management options.*

*The aim of the article is to study the possibilities of using information from the flat field of aviation RB to determine the parameters of the desired underwater source of noise radiation.*

*It is shown that the use of the capabilities of the RB system in ARS significantly expands the capabilities of ARS for the search for underwater objects. Buoys can receive direct signals from active tilting and towed sonar stations, which use powerful low-frequency cylindrical hydroacoustic piezoceramic sound transducers with resonant frequency control. The range of operating frequencies RGB-16V completely overlaps the entire frequency range of these converters, which solves the problem of integrated use of ships with variable depth antennas. After the detection of the submarine, it is advisable to list the main forces of the ship group, anti-submarine aircraft and the inclusion of onboard sonar to clarify the coordinates of the target and, if necessary, the use of weapons.*

*It is established that using the operating range of RGB-16B at a priori known position of buoys, it is possible in passive mode by subtracting the mutual correlation function between acoustic signals coming from 2 buoys to simultaneously determine the bearing on the radiation object, and in the presence of 3 buoys coordinates of the object of noise radiation.*

*It is shown that the use of mutual correlation function between acoustic signals in RB «Yatran» can be carried out in the whole range of operating frequencies RGB-16V, allows detecting other types of radiation, which significantly improves the tactical and technical characteristics of the product and gives a significant advantage.*

**Keywords:** field of aeronautical radioacoustic buoys, detection of submarines.

#### **Відомості про авторів:**

**Меленко Юрій Ярославович**

кандидат технічних наук  
начальник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1805-204X>  
e-mail: yurim@ukr.net

**Позднякова Ольга Миколаївна**

кандидат технічних наук  
молодший науковий співробітник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>  
e-mail: olpozdnjakova@gmail.com

**Білоус Володимир Васильович**

кандидат технічних наук  
начальник науково-дослідного відділу Державного підприємства «Київський науково-дослідний інститут гідроапаратури»  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-9228-8704>  
e-mail: bilous534@gmail.com

**Шейко Кирило Юрійович**

начальник радіотехнічної служби Командування Військово-Морських Сил Збройних Сил України  
м. Одеса Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4809-0634>  
e-mail: Sheikokirill@ukr.net

**Information about the authors:****Yurii Melenko**

Candidate of Technical Sciences  
Chief of the Department of Armament and Military Equipment of Navy of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1805-204X>  
e-mail: yurim@ukr.net

**Olha Pozdniakova**

Candidate of Technical Sciences  
Junior researcher of the Department of Armament and Military Equipment of Navy of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>  
e-mail: olpozdnjakova@gmail.com

**Volodymyr Bilous**

Candidate of Technical Sciences  
Chief of Scientific Research Department  
State Enterprise «Kyiv Scientific Research Institute of Hydrodevices»  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9228-8704>  
e-mail: bilous534@gmail.com

**Kyrylo Sheiko**

Chief of radioengineering service of Navy of the Armed Forces of Ukraine  
Odesa, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4809-0634>  
e-mail: Sheikokirill@ukr.net