

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2\(22\).94-97](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2(22).94-97)**А. В. ДЕРЕПА,***доктор технічних наук, старший науковий співробітник*<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>**В. В. ДЖАНАЗЯН,** науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0003-4876-9436>*(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)***О. Г. ЛЕЙКО,** доктор технічних наук, професор<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>*(Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)***О. І. ДРОЗДЕНКО,** кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>*(Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)*

## Сучасні підходи до конструювання гідроакустичних антен корабельних гідроакустичних станцій

*Виходячи із задачі систематизованого дослідження шляхів підвищення ефективності гідроакустичного озброєння, один з яких полягає в зниженні робочих частот, проведено дослідження підходів до конструювання корабельних гідроакустичних антен, які забезпечили б компроміс між габаритними розмірами цих антен і транспортних відсіків на кораблі-носії в умовах необхідного акустичного комфорту їх роботи.*

*Ключові слова: гідроакустична станція, акустична антена, конструкція антени.*

*Исходя из задачи систематизированного исследования путей повышения эффективности гидроакустического вооружения, одним из которых является снижение рабочих частот, проведено исследование подходов до конструирования корабельных гидроакустических антен, которые обеспечили бы компромисс между габаритными размерами этих антен и транспортных отсеков на корабле-носителе в условиях необходимого акустического комфорта их работы.*

*Ключевые слова: гидроакустическая станция, акустическая антенна конструкция антенны.*

### Постановка проблеми

Гідроакустична станція (ГАС) будь-якого призначення має дві невід'ємні складові своєї апаратурної реалізації – електроакустичну та електронну. Електроакустична частина апаратури здійснює в режимі випромінювання звуку перетворення електричної енергії в акустичну і формування останньої в оточуючому морському середовищі. В режимі прийому звуку має місце зворотній процес. Електронна апаратура ГАС здійснює формування електричної енергії згідно з заданими технічними вимогами в режимі випромінювання звуку та її обробку за заданими алгоритмами в режимі прийому. Ця відмінність фізичних процесів, які покладені в основу функціонування названих частин апаратури ГАС, обумовлює різні підходи до конструювання кожної з частин цієї апаратури, виходячи з практичної реалізації тенденції сучасної гідроакустики до зниження робочих частот. Нагадаємо, що ця тенденція обумовлена необхідністю збільшення дальності дії ГАС по виявленню, визначенню координат та класифікації підводних об'єктів.

В частині електроакустичної апаратури корабельних ГАС підходи до її конструювання визначаються двома суттєвими обставинами.

Відомо [1-7], що зниження робочих частот корабельних ГАС за умови збереження або навіть посилення вимог до їх просторової вибірковості обумовлює необхідність збільшення ефективної поверхні антен, а відтак, і їх габаритних розмірів.

Відомо також [4,8], що сучасні технічні вимоги до ГАС в режимах випромінювання та прийому звуку в зв'язку зі збільшенням режимів роботи ГАС і значними досягненнями в області обробки інформації стали настільки різнитися між собою, що їх реалізація за допомогою однієї оборотної антени, яка працює в режимах і випромінювання і прийому, стало неможливим. З'явилася необхідність у введенні до складу корабельної ГАС двох різних антен – випромінюючої і прийомної, кожна з яких незалежно реалізує суттєво різні вимоги ГАС в режимах випромінювання і прийому.

В той же час, у зв'язку зі збільшенням насиченості озброєння надводних кораблів, в тому числі і за рахунок збільшення кількості ГАС різного призначення, можливості транспортних відсіків (зокрема їх розміри) для розміщення гідроакустичних антен цих ГАС не тільки не збагатилися, а навпаки збідніли. І в майбутньому не має в наявності передумов для зміни цієї ситуації.

Таким чином, виникло суттєве протиріччя між вимогами до корабля-носія ГАС зі сторони їх гідроакустичних антен і можливостями корабля-носія щодо задоволення цих вимог. До того ж досягнення компромісу при вирішенні цього протиріччя можливе лише за рахунок зміни підходів до побудови конструкції корабельних гідроакустичних антен [5, 8, 7-12].

**Метою** даної статті є пошук підходів до конструювання корабельних гідроакустичних антен, які забезпечили б компроміс між габаритними розмірами цих антен і транспортних відсіків на кораблі-носії в умовах необхідного акустичного комфорту їх роботи.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Як відомо [1, 2], корабельні ГАС можуть бути оснащені двома типами гідроакустичних антен – стаціонарно розміщеними в корпусі корабля (стаціонарними антенами) та антенами змінної глибини (АЗГ). В свою чергу, антени змінної глибини поділяються на буксировані та опускні. Особливостями транспортних відсіків для розміщення стаціонарних та буксированих гідроакустичних антен є жорстке обмеження їх внутрішніх розмірів та необхідність забезпечення у їх внутрішньому об'ємі умов акустичного комфорту для роботи цих антен. Природно, що такі особливості не дозволяють замінити в них одну оборотну антену двома іншими – випромінюючою та прийнятною антенами таких же або навіть більших габаритних розмірів. Виходом з цієї ситуації є пошук таких шляхів побудови гідроакустичної антени, при яких в одній конструкції були б суміщені дві різні антени з однаковими розмірами, але функціонально незалежними можливостями формування суттєво різних їх технічних характеристик. Саме такий підхід дозволить підвищити ефективність низькочастотних ГАС зі стаціонарними та буксированими гідроакустичними антенами.

Корабельні ГАС з АЗГ у вигляді опускних антен не потребують створення акустичного комфорту для роботи антен і можуть бути утворені з двох – прийомної і випромінюючої окремих антен. Обмеження, накладені на них зі сторони корабля-носія, полягають в тому, що форма і розміри конструкцій їх гідроакустичних антен повинні мати можливість в транспортному положенні трансформуватись до умов розміщення їх на кораблі-носії. Це може бути реалізовано в конструкціях антен з використанням принципів їх побудови з гнучкими несучими каркасами та керуванням їх розмірами та формою. Такий підхід дозволить підвищити ефективність низькочастотних ГАС з опускними антенами.

Дослідимо можливість практичної реалізації сформульованих підходів до конструювання корабельних гідроакустичних антен.

**Підхід до конструювання з використанням принципу суміщення в одному об'ємі кількох антен**

**великих габаритів.** Цей підхід дозволяє знайти компроміс при вирішенні проблеми розміщення гідроакустичних антен великих розмірів в транспортних відсіках обмежених розмірів носіїв ГАС. Сутність цього підходу полягає в суміщенні в об'ємі транспортного відсіку кількох антен великих габаритів. Кожний з цих габаритів є порівняним з габаритами транспортного відсіку. Таке об'єднання в єдиній антенній системі конструкцій двох або більше антен близьких розмірів, при якому об'єм конструкції антенної системи не перевищує найбільшого з об'ємів конструкцій антен, що суміщаються, дозволяє вирішити дві проблеми:

- об'єднання в одному об'ємі конструкцій двох функціонально різних незалежних антен – прийомної і випромінюючої. Об'єми цих антен порівняні з об'ємом конструкції антенної системи, але їх технічні характеристики і підходи до їх побудови суттєво відрізняються між собою;

- об'єднання в одному об'ємі кількох антен, що працюють в різних діапазонах робочих частот.

Для корабельних ГАС застосування конструктивно суміщених антенних систем з розділеними функціями прийому та випромінювання дозволяє:

- розширити можливості пошуку компромісних рішень при реалізації таких суперечних вимог як збільшення габаритів антен, обумовлене зниженням їх робочих частот при збереженні направлених властивостей, і наявність обмежених розмірів корабельних відсіків, в яких розміщуються ці антени;

- наблизити технічну реалізацію суттєво відмінних вимог до прийомної та випромінюючої антен до раціонально можливої;

- розширити можливості антен як багатофункціональних антенних систем.

Сутність побудови конструктивно суміщених антенних систем демонструють рис. 1 і 2. Конструкція кожної з цих антенних систем утворена із двох функціонально незалежних і конструктивно рознесених прийомної 1 і випромінюючої 2 гідроакустичних антен. При цьому прийомна антена розміщується перед ефективною поверхнею випромінюючої антени.

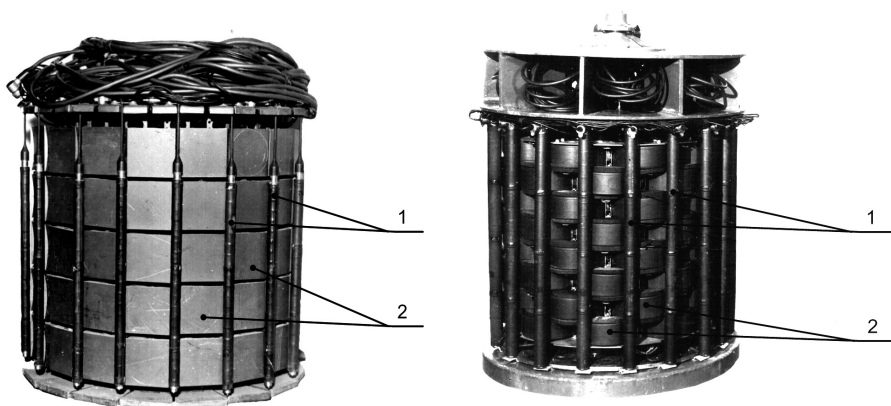


Рис. 1. Конструктивно суміщені антенні системи



Рис. 2. Опукна гідроакустична жорсткої конструкції в її транспортному (а) та робочому (б) станах

Аналіз різних конструктивних схем побудови досліджуваних акустичних антенних систем показує, що незважаючи на функціональну незалежність антен, об'єднання їх в єдиному конструктивному об'ємі обумовлює залежність параметрів кожної з антен від значень параметрів іншої, оскільки звукові поля, що формуються кожною з антен, взаємодіють між собою. Ця акустична взаємодія виникає у зв'язку з появою багаторазового обміну звуковими хвилями, відбитими кожною з антен. Дійсно, кожна з антен єдиної антенної системи працює в акустичних умовах, створюваних іншою антеною. Так, для прийомної антени акустичним екраном для її перетворювачів виступає підстильна поверхня випромінюючої антени. А ця поверхня в режимі відбиття нею звукових хвиль в широкому діапазоні частот відзначається складними імпедансними властивостями. В області низьких частот, які в 5-10 разів нижчі від резонансної частоти перетворювачів випромінюючої антени (а це діапазон частот ГАС зв'язку), підстильна поверхня характеризується акустичними властивостями жорсткого тіла. В області резонансної частоти випромінювачів (а це основна робоча частота активного режиму гідролокації ГАС) підстильна поверхня набуває властивостей акустично м'якого тіла. В діапазоні частот між низькими і резонансною частотою (а це режим шумопеленгування ГАС) підстильна поверхня має складні імпедансні властивості. Всі наведені фізичні властивості поверхні

випромінюючої антени в режимі відбиття звукових хвиль, що приходять на антенну систему при роботі корабельної ГАС в режимі прийому, по-різному впливають на формування параметрів прийомної антени. В свою чергу випромінююча антена у складі антенної системи вимушена випромінювати енергію в оточуюче морське середовище через своєрідний акустичний екран. Цей екран утворений прийомними перетворювачами, оскільки в антенній системі вони розміщені перед перетворювачами випромінюючої антени в безпосередній близькості від їх ефективної поверхні. Тому прийомна антена має складні екрануючі властивості, обумовлені такими ж складними імпедансними властивостями її перетворювачів, як і випромінююча антена цієї антенної системи.

Описаний підхід до конструювання стаціонарних і буксируваних зосереджених гідроакустичних антен корабельних ГАС забезпечує безсумнівні суттєві переваги в підвищенні ефективності цих ГАС, які надає практична реалізація цього компромісного рішення. Його впровадження стримується відсутністю в повному об'ємі теоретичних засад побудови таких антенних систем. Основними елементами цих засад є визначення ступеню взаємодії антен в єдиній конструктивній антенній системі в залежності від великого різноманіття фізичних факторів, які визначаються властивостями об'єднаних антен та їх елементів, та пошук шляхів

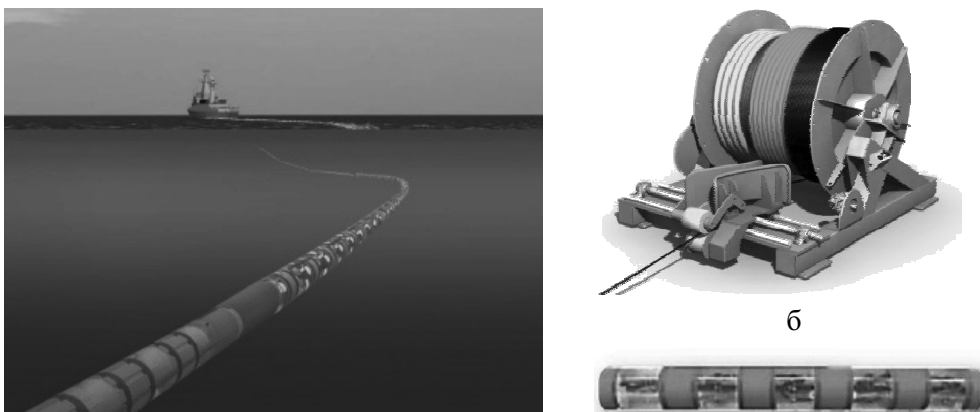


Рис. 3 Буксирувана АЗГ не жорсткої конструкції у вигляді гнучкої протяжної антени: а – робоче положення; б – транспортне положення; в – секція «триплетної» антени

реалізації зменшення ступеню цієї взаємодії. Ряд результатів таких досліджень наведені в роботі [1-3].

### Підхід до конструювання з використанням принципу побудови антен з керуванням їх розмірами та формою.

Із фізичних уявлень зрозуміло, що саме застосування цього принципу дозволяє знайти компромісні рішення при технічній реалізації таких суперечливих вимог як малі розміри корабельних відсіків або устаткування для розміщення антен при їх транспортуванні на кораблі-носії і великі розміри антен, пов'язані з необхідністю забезпечення їх роботи в області низьких звукових частот. Завдяки цьому принципу в транспортному положенні конструкція антени трансформується до тих розмірів і форм, які вимагають від неї транспортні відсіки або устаткування корабля-носія. В робочому ж положенні тим чи іншим чином конструкція змінює свої форми та розміри до тих, які забезпечують технічні вимоги корабельної ГАС. При цьому важливим є пошук рішення побудови елемента конструкції антени, який забезпечує трансформацію форми і розмірів антени. Тут можливі варіанти із застосуванням різних фізичних принципів і технічних рішень.

В конструкціях гідроакустичних антен з гнучкими зв'язками між їх елементами, які повинні займати в робочому стані вертикальне положення, трансформація їх форми і розмірів може здійснюватися з використанням закону земного тяжіння шляхом підвісу грузила на їх нижньому кінці.

Для нежорстких конструкцій антен, які буксируються за кораблем носієм ГАС, для трансформації їх форми і розмірів можуть бути використані закони гідродинаміки шляхом закріплення на кінці конструкції антени, протилежному від носія, хвостового гальмуючого парашута.

У випадку жорстких конструкцій гідроакустичних антен для організації трансформації їх форми та розмірів можуть бути використані:

- а) відповідні електричні приводи;
- б) спеціально виготовлені пружинні елементи, наприклад, зворотні пружини;
- в) конструкційні елементи, що приводяться в дію гідростатичним тиском;
- г) спеціальні конструкційні елементи з пам'яттю, які при певних умовах набувають форми та розмірів, які були закладені в них при виготовленні.

Приклади побудови гідроакустичних антен у вигляді конструкцій-трансформерів наведені на рис. 2 і 3.

### Висновок.

Збільшення ефективності корабельних ГАС пов'язане з необхідністю зниження їх робочих частот за умови збереження або навіть посилення вимог по просторовій вибірковості їх гідроакустичних антен. Технічна реалізація можливих шляхів цього збільшення ефективності пов'язана в першу чергу зі збільшенням розмірів ефективної поверхні антен, що входить в значні протиріччя з можливостями їх розміщення на

кораблях-носіях ГАС. Проведено аналіз перспективних підходів до розв'язання цих протиріч і визначені напрями реалізації цих підходів при побудові конструкцій гідроакустичних антен як для ГАС за антенами, стаціонарно розміщеними в корпусі корабля, так і для ГАС з АЗГ. Наведені приклади побудови конструкцій гідроакустичних антен, які забезпечать збільшення ефективності корабельних ГАС з такими антенами.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Дерепя А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 7. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами, размещенными в корпусе корабля. – К.: Изд. дом Дмитрия Бурого, 2014. – 424 с.
2. Дерепя А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 8. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами переменной глубины. – К.: Изд. дом Дмитрия Бурого, 2016. – 400 с.
3. Лейко А.Г., Шамарин Ю.Е., Ткаченко В.П. Подводные акустические антенны. Методы расчета звуковых полей. – К.: Аванпостприм, 2000. – 320 с.
4. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. – СПб.: Наука, 2005. – 410 с.
5. Бушер М.К., Зубарев Л.А. Конструкторско-технологические решения при создании гидроакустических преобразователей и антенн // 50 лет ЦНИИ «Морфизприбор». СПб.: ЦНИИ «Морфизприбор», 1999. С. 324–332.
6. Гурвич А.А., Гусев Н.М., Яковлев Г.В. Гидроакустические системы с гибкими протяженными буксируемыми антеннами // Судостроение за рубежом, 1984, № 10. С. 34–53.
7. Гусев Н.М., Медведев С.Н., Яковлев Г.В. Состояние и перспективы развития гидроакустического вооружения ВМС Великобритании и других стран НАТО // Судостроение за рубежом, 1990, № 3. С. 47–62.
8. Лисс А.Р., Рыжиков А.В., Шенгелия М.В. Снижение аппаратных затрат при пространственной обработке сигналов с использованием алгоритма «быстрой свертки» // Гидроакустика, 2000, вып. 2. С. 29–32.
9. Родионов А.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Гидроакустика на флотской службе // Наука в России, 2003, № 3. С. 67–70.
10. Callander A. B. Performance prediction of an array of free floating ring Transducers. Sonar Transducers 95 // Proc. Of the Institute of Acoustic (Великобритания). I. Vol. 17, pt 3. P. 995–1002.
11. Huang D., Bucher S., Lane J. New Design for Swath Bathymetry Transducers with Multi-element PVDF Discrete Receiving System. Sonar Transducers 95 //

- Proc. Of the Institute of Acoustic (Великобританія). I. Vol. 17, pt 3. P. 1831–1837.
12. Multi-Channel Optical Hydrophone Array with time and wavelength division multiplexing // SPIE. 1999. Vol. 3746, April 12-16. P. 304–307.

### REFERENTS

1. Derepa A.V., Leyko A.H., Melenko Yu.Ya. Osnovy voenno-tekhnicheskikh yssledovaniy. Teoriya y prylozheniya. T. 7. Kompleksnaya sistema «hydroakusticheskoe vooruzhenye – nadvodnyy korabl'». Problemnye aspekty systemy «hydroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyy korabl'» s antennoy, razmeshchennyy v korpusе korablya. – K.: Yzd. dom Dmytryya Buraho, 2014. – 424 s.
2. Derepa A.V., Leyko A.H., Melenko Yu.Ya. Osnovy voenno-tekhnicheskikh yssledovaniy. Teoriya y prylozheniya. T. 8. Kompleksnaya sistema «hydroakusticheskoe vooruzhenye – nadvodnyy korabl'». Problemnye aspekty systemy «hydroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyy korabl'» s antennoy peremennoy hlubyny. – K.: Yzd. dom Dmytryya Buraho, 2016. – 400 s.
3. Leyko A.H., Shamaryn Yu.E., Tkachenko V.P. Podvodnye akusticheskiye anteny. Metody rascheta zvukovykh poley. – K.: Avanpostrym, 2000. – 320 s.
4. Koryakyn Yu.A., Smyrnov S.A., Yakovlev H.V. Korabel'naya hydroakusticheskaya tekhnika: sostoyaniye y aktual'nyye problemy. – SPb.: Nauka, 2005. – 410 s.
5. Busher M.K., Zubarev L.A. Konstruktorsko-tekhnologicheskyye resheniya pry sozdaniy hydroakusticheskikh preobrazovateley y antenn // 50 let TsNYY «Morfyzprybor». SPb.: TsNYY «Morfyzprybor», 1999. S. 324–332.
6. Hurvykh A.A., Husev N.M., Yakovlev H.V. Hydroakusticheskiye systemy s hybkymy protyazhennymy buksyruemyy antennoy // Sudostroeniye za rubezhom, 1984, № 10. S. 34–53.
7. Husev N.M., Medvedev S.N., Yakovlev H.V. Sostoyaniye y perspektivy razvytiya hydroakusticheskoho vooruzheniya VMS Velykobrytany y druhykh stran NATO // Sudostroeniye za rubezhom, 1990, № 3. S. 47–62.
8. Lyss A.R., Ryzhikov A.V., Shenhelya M.V. Snyzheniye apparatnykh zatrat pry prostranstvennoy obrabotke sygnalov s yspol'zovaniyem alhorytma «bystroy svertky» // Hydroakustyka, 2000, v. 2. S. 29–32.
9. Rodyonov A.A., Smyrnov S.A., Yakovlev H.V. Hydroakustyka na flotskoy sluzhbe // Nauka v Rossyy, 2003, № 3. S. 67–70.
10. Callander A. B. Performance prediction of an array of free floating ring Transducers. Sonar Transducers 95 // Proc. Of the Institute of Acoustic (Великобританія). I. Vol. 17, pt 3. P. 995–1002.
11. Huang D., Bucher S., Lane J. New Design for Swath Bathymetry Transducers with Multi-element PVDF

- Discrete Receiving System. Sonar Transducers 95 // Proc. Of the Institute of Acoustic (Великобританія). I. Vol. 17, pt 3. P. 1831–1837.
12. Multi-Channel Optical Hydrophone Array with time and wavelength division multiplexing // SPIE. 1999. Vol. 3746, April 12-16. P. 304–307.

### Відомості про авторів:

#### Дерепа Анатолій Войтович

доктор технічних наук  
старший науковий співробітник  
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку морських озброєнь науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>  
e-mail: derepaan@i.ua

### Information about the authors:

#### Derepa Anatoli

Doctor of Technical Sciences  
Senior Research  
Leading researcher of the Scientific Research Department Navy Armament of the Scientific Research Management Navy Armament and Equipment Research Directorate of the Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine.  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>  
e-mail: derepaan@i.ua

#### Джаназян Володимир Ванікович

науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку військово-морської техніки науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4876-9436>

#### Dzanazian Volodimir

Research Associate of Scientific Research Department of the Navy Equipment of Scientific Research Management Navy Armament and Equipment Research Directorate of the Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine.  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4876-9436>

#### Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук  
професор  
професор кафедри акустики та акустоелектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>  
e-mail: Alexander\_leiko@ukr.net

#### Leiko Oleksandr

Doctor of Technical Sciences  
Professor  
Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"  
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>  
e-mail: Alexander\_leiko@ukr.net

**Дрозденко Олександр Іванович**

кандидат технічних наук

доцент

доцент кафедри акустики та акустoeлектроніки  
Національного технічного університету України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

e-mail: drozdenko@i.ua

**Drozdenko Oleksandr**

Candidate of Technical Sciences

Associate Professor

Associate Professor of the Chair of Acoustics and  
Acoustoelectronics of the National technical university of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

e-mail: drozdenko@i.ua

Стаття надійшла до редколегії 01.03.2019 р.

**Рецензент О. О. Расстригин**, д-р техн. наук,  
професор(Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>**Рецензент О. В. Коржик**, д-р техн. наук, професор  
(Національний технічний університет «Київський по-  
літехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського, м. Київ)<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>