

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.2\(50\).111-115](https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.2(50).111-115)

О. Г. ЛЕЙКО, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>
(Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», м. Київ)

О. О. КОЧАРЯН, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0002-3164-0129>

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)

ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОАКУСТИЧНИХ СТАНЦІЙ З ГНУЧКИМИ ПРОТЯЖНИМИ ГІДРОАКУСТИЧНИМИ АНТЕНАМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЇХ В ГЛИБОКИХ МОРЯХ І В ПРИСУТНОСТІ МОРСЬКОЇ ПОВЕРХНІ

Визначено, що ефективності застосування гідроакустичних станцій (ГАС) з гнучкими протяжними буксируваними антенами (ГПБА) в глибоких морях і морях з наявністю обмежуючих границь суттєво відрізняються між собою. Встановлені причини виникнення цієї різниці. Вони пов'язані з роботою ГАС з ГПБА в інфразвуковому і низькому звуковому діапазонах робочих частот. Показано, що в цьому діапазоні частот морська поверхня формує характеристику спрямованості у вигляді диполя. В той же час характеристика спрямованості елементів ГПБА відповідає умовам формування монополя. Суперпозиція звукових полів диполя і монополя в системі тіл «морська поверхня – ГПБА» при малих хвильових розмірах заглиблення ГПБА характеризується формуванням характеристики спрямованості системи тіл у вигляді кардіоїди. Показано, що саме така характеристика спрямованості суттєво змінює ефективність застосування ГАС з ГПБА в зоні впливу морської поверхні. Для глибин, менших глибини занурення ГПБА, ГАС з ГПБА повністю втрачає можливість висвітлення стану підводної обстановки на морській поверхні і в товщі моря до глибини заглиблення ГПБА. Для глибин моря, більших глибини заглиблення ГПБА, ефективність застосування ГАС з ГПБА суттєво залежить від напряму

нахилу основної пелюстки характеристики спрямованості ГПБА до її поздовжньої осі і зменшується при його збільшенні.

Ключові слова: гнучка протяжна антена, морська поверхня, ефективність станції, коефіцієнт концентрації.

ВСТУП

При розробці зразків гідроакустичної техніки була прийнята наступна практика. Розробка всіх нових гідроакустичних станцій (ГАС) або комплексів (ГАК) здійснювалась для умов безмежного морського середовища. Це було обумовлено тим, що необхідна кількість розроблюваних ГАС і ГАК, потрібних для оснащення надводних кораблів (НК) та підводних човнів (ПЧ), була значно меншою кількості цих НК і ПЧ. При такому підході зміна параметрів ГАС при розміщенні їх на носіях або в морському середовищі визначається для кожного випадку окремо і являє собою складну фізико-математичну задачу.

Процес розробки ГАС з гнучкими протяжними антенами не є виключенням з цього правила. Але ситуація з їх експлуатацією має кілька особливостей. По-перше, ГПБА являють собою в більшості випадків лінійні дискретні еквідистантні п'єзокерамічні антени, що працюють в діапазоні інфразвукових та низьких звукових частот 10–2000 Гц. Це обумовлено тим, що саме на цих частотах дальність поширення звукових хвиль, що генеруються надводними кораблями чи підводними човнами при їх русі, є найбільшою. Але для таких частот будь-яке море втрачає свою глибокiсть. В ньому з'являються обмежуючі поверхні у вигляді морської поверхні, морського дна або поверхонь морських хвильоводів [1–4]. Звичайно, що проява в морі наведених фізичних границь повинна певним чином впливати на ефективність застосування ГАС з ГПБА.

Метою роботи є визначення кількісних характеристик ефективності ГАС з ГПБА при експлуатації їх в зоні впливу морської поверхні і порівняння отриманих значень зі значеннями ефективності таких же ГАС з ГПБА в безмежному морському просторі. В якості критерію ефективності ГАС з ГПБА виберемо її коефіцієнт концентрації.

ПОСТАНОВКА І РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ

Визначимо кількісні значення коефіцієнта концентрації ГАС з ГПБА в присутності впливу обмежуючої морської поверхні у вигляді морської поверхні. При побудові розрахункової моделі будемо виходити із наступного.

Відносно ГПБА приймемо, що вона являє собою лінійну еквідистантну антенну решітку, утворену із п'єзокерамічних перетворювачів. Ці гідроакустичні перетворювачі виконуються, як це прийнято в реальних ГПБА, у вигляді кругових п'єзокерамічних циліндрів зовнішнім діаметром 18 мм і внутрішнім – 16 мм. Внутрішній простір перетворювачів заповнений повітрям або вакуумований. Циліндри мають довжини близько 40 мм і розміщені вздовж поздовжньої осі ГПБА з кроком, який залежить від того, який діапазон частот використовується в ГАС з ГПБА. Оскільки ці ГАС призначені для

роботи в області інфразвукових та низьких звукових частот, їх гідроакустичні перетворювачі характеризуються відсутністю будь-якої спрямованості. Конструкція ГПБА являє собою шланг, заповнений спеціальною рідиною, наприклад, напалмом, яка гарантує нейтральну плавучість ГПБА при її експлуатації.

ГАС з ГПБА забезпечують висвітлення підводної обстановки в заданих районах світового океану. Для цього вони формують характеристики спрямованості R_a із заданим кроком по кутам [5, 6] та θ_a :

$$R(\theta, \theta_0) = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e^{-iKd(q-1)} (\sin\theta - \sin\theta_0). \quad (1)$$

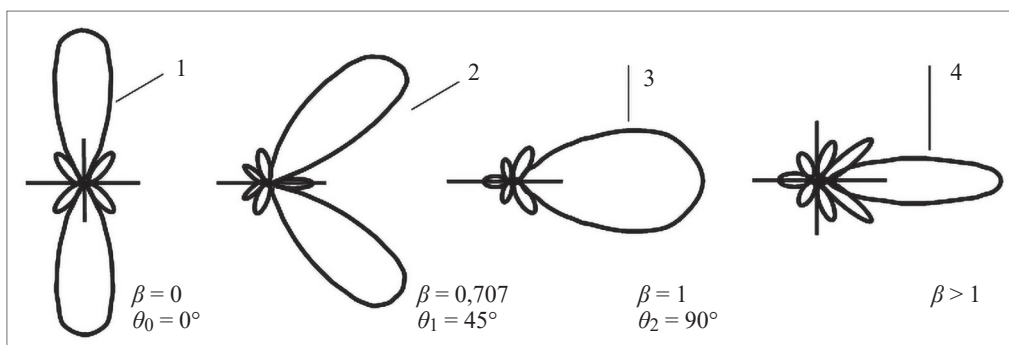
Використовуючи формулу (1), можливо визначити характеристику спрямованості ГПБА при будь-якій її довжині l , робочій довжині хвилі λ і будь-якому куті θ_0 її компенсації.

Різні типи характеристик спрямованості ГПБА при різних кутах θ_0 компенсації антени і різній ширині її пелюстки на рівні 0,707 наведені на рис. 1.

На рис. 1. позначено: 1 – дископодібна ($\theta_0 = 0^\circ; \beta = 0$); 2 – воронкоподібна ($\theta_0 = 45^\circ; \beta = 0,707$); 3 – конусоподібна одностороння ($\theta_0 = 90^\circ; \beta = 1$); 4 – конусоподібна одностороння ($\theta_0 = 90^\circ; \beta > 1$). Важливо відмітити, що в площині, нормальній до поздовжньої осі ГПБА, характеристика спрямованості її перетворювача являє собою монополь.

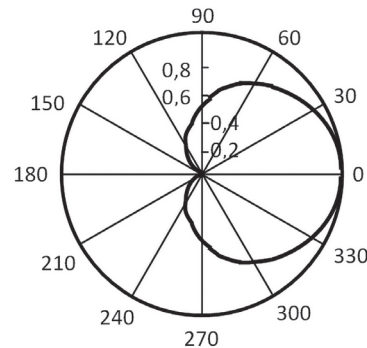
В розрахунковій моделі морської поверхні врахуємо наступні фізичні фактори. Морська поверхня являє собою границю розподілу «повітря – вода». При розгляді цієї границі зі сторони моря вона характеризується всіма ознаками як акустично м'яка поверхня. Оскільки робочим діапазоном частот ГАС з ГПБА є діапазон інфразвукових і низьких звукових частот, то хвилюванням морської поверхні, яке майже завжди існує, можливо знехтувати і вважати морську поверхню плоскою [1, 2, 4]. Такі поверхні формують характеристику спрямованості у вигляді диполя. В дальньому полі ($kr \gg 1$) поле дипольного джерела має вигляд сферичної хвилі з характеристикою спрямованості, що визначається функцією косинуса [7] в напрямі, нормальному до морської поверхні.

Таким чином, коли ГПБА знаходяться при експлуатації в зоні впливу морської поверхні, маємо ситуацію суперпозиції звукових полів двох джерел: морської поверхні у вигляді диполя і ГПБА у вигляді монополя.



Р и с . 1. Різні типи характеристики спрямованості ГПБА в безмежному просторі при різних кутах компенсації θ_0 та різних їх ширинах β на рівні 0,707

В результаті цієї суперпозиції отримуємо в площинах, нормальних до поздовжньої осі ГПБА, джерело з характеристикою спрямованості у вигляді кардіоїди (рис. 2). Її максимум маємо у напрямі, нормальному до поздовжньої осі ГПБА ($\theta = 0^\circ$), а нульове значення – у протилежному ($\theta = \pi$).



Р и с . 2. Нормована характеристика спрямованості системи тіл «морська поверхня – елемент ГПБА» в площинах, нормальних до морської поверхні та поздовжньої осі ГПБА

В якості кількісної характеристики ефективності ГАС з ГПБА визначимо її коефіцієнт концентрації. Зауважимо, що в існуючій літературі [5, 6] коефіцієнт концентрації має два визначення – осьовий коефіцієнт концентрації K і коефіцієнт концентрації $K(\theta)$ в деякому довільно визначеному напрямку θ . Зв'язок між ними встановлюється виразом

$$K(\theta) = KR^2(\theta),$$

де $R(\theta)$ – характеристика спрямованості, нормована в напрямі θ . Осьовий коефіцієнт концентрації K може змінюватися від 1 до ∞ . В той же час коефіцієнт концентрації в заданому напрямі θ залежить від характеристики спрямованості $R(\theta)$ і може бути меншим 1. Саме остання залежність і є причиною того, що ефективність ГАС з ГПБА при їх експлуатації в умовах наявності впливу морської поверхні суттєво відрізняється від ефективності ГАС з ГПБА при відсутності в морі обмежуючих границь. Наведені висновки демонструють криві на рис. 3.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як показано в роботах [1, 7, 8], звукове поле Φ ГПБА, розміщеної біля морської поверхні розподілу «повітря – вода», визначається двома складовими – $\Phi^{(1)}$ та $\Phi^{(2)}$.

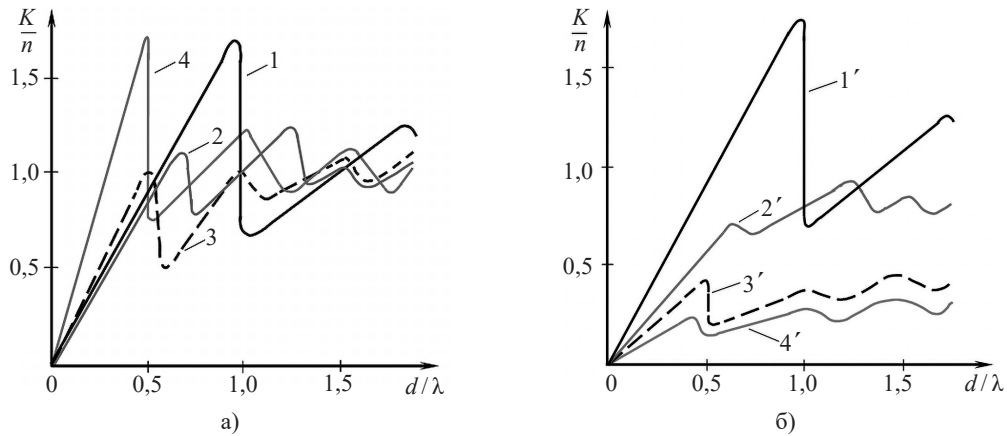


Рис. 3. Залежність відношення коефіцієнта концентрації ГАС з ГПБА ($n = 10$) до числа її елементів від d/λ при відсутності морських границь обмежень (а) і при наявності морської границі розподілу «повітря – вода» (б). Криві (1 – 4; 1' – 4') відповідають кутам компенсації ГПБА $\theta_{\kappa} = 0^{\circ}; 30^{\circ}; 60^{\circ}; 90^{\circ}$

Перша з них $\Phi^{(1)}$ характеризує так звану «дипольну» складову впливу морської поверхні на ГПБА. Друга складова $\Phi^{(2)}$ описує звукове поле ГПБА в морі без наявності границь обмежень і відповідає умовам формування полів монополю. Суперпозиція полів диполя і монополя при малих відстанях між джерелами їх формування, що має місце в області інфразвукових і низьких звукових робочих частотах ГАС з ГПБА, дозволяє отримати джерело звуку з характеристикою спрямованості у вигляді кардіоїди. Саме формування системою тіл «морська поверхня – ГПБА» кардіоїдної характеристики спрямованості в площинах, нормальних до морської поверхні та поздовжньої осі ГПБА, і є фізичною причиною зміни ефективності ГАС з ГПБА в присутності морської поверхні порівняно з її ефективністю при експлуатації в безмежному морському просторі.

Проаналізуємо тепер ефективність застосування ГАС з ГПБА в реальних умовах їх експлуатації. При буксируванні ГАС з ГПБА, у якій відсутня компенсація і характеристика спрямованості якої має форму дископодібної, кардіоїдна характеристика системи тіл «морська поверхня – ГПБА» має максимум. Тому морська поверхня розподілу «повітря – вода» не впливає в цьому випадку на ефективність ГАС з ГПБА. Проблеми з ефективністю дії ГАС з ГПБА починаються при введенні в елементи ГПБА компенсаційних затримок. Вони пов'язані з формою характеристики спрямованості елемента ГПБА. При малих кутах компенсації (до $\theta_0 = 30^{\circ}$) кардіоїда мало змінює характеристики спрямованості ГПБА. При подальшому збільшенні θ_0 викривлення спрямованості ГПБА збільшується і досягає максимуму (порядка 0,5) для випадку перетворення характеристики спрямованості в однонаправлену. Якщо при цьому врахувати, що при збільшенні кута θ_0 компенсації ГПБА ширина її характеристики спрямованості збільшується, то це обумовлює відповідне зменшення коефіцієнту концентрації ГПБА, тобто ефективності дії ГАС з ГПБА.

Дійсно, у випадку, коли кут θ_0 компенсації антени дорівнює $\theta_0 = 0$, ширина характеристики спрямованості її $\theta_{0,7}$ визначається виразом $\theta_{0,7} = 50^{\circ} \frac{\lambda}{l}$, де λ – довжина робочої звукової хвилі, а l – довжина активної частини ГПБА. У випадку $\theta_0 = 90^{\circ}$, ця ширина збільшується і

становить $\theta_{0,7} = 108 \sqrt{\frac{\lambda}{l}}$. Як вже вказувалось, звичайно ефективність дії ГПБА у складі ГАС визначається її коефіцієнтом концентрації K .

На рис. 3 наведені криві, які описують коефіцієнти концентрації ГПБА для двох випадків. Перший з них (а) відповідає випадку, коли антена не обмежена ніякими границями розподілу поверхонь. Другий випадок (б) (криві позначені штрихом) характерний для ГПБА, які буксируються в зоні впливу морської поверхні розподілу «повітря – вода». Зауважимо, що згідно з кардіоїдною характеристикою спрямованості (рис. 2) перетворювача ГПБА, яка знаходиться в зоні впливу морської поверхні «повітря – вода», в товщі морської води між поверхнею розподілу «повітря – вода» і горизонтом буксирування ГПБА, її коефіцієнт концентрації близький або дорівнює нулю.

Обговоримо отримані розрахункові дані. Аналіз кривих на рис. 3 свідчить про те, що при буксируванні ГПБА в товщі морської води при відсутності будь-яких поверхонь розподілу типу морська поверхня або морське дно мають місце наступні результати по ефективності застосування ГАС з ГПБА. По-перше, коефіцієнт концентрації ГПБА визначається напрямом компенсації θ_0 антени, відстанню d між її перетворювачами і значенням робочої довжини хвилі λ антени. По-друге, для вибраного кута θ_0 компенсації ГПБА, її коефіцієнт концентрації однаковий для цього кута θ_0 при будь-якому куті θ її характеристики спрямованості. По-третє, із збільшенням кута компенсації θ_0 , крім кута $\theta_0 = 90^{\circ}$, коефіцієнт концентрації значно зменшується порівняно з $\theta_0 = 0^{\circ}$.

Зовсім інша ситуація має місце при врахуванні реальних умов експлуатації ГАС з ГПБА, зокрема при наявності морської поверхні розподілу «повітря – вода» (рис. 3б). По-перше, ефективність застосування ГАС з ГПБА різко відрізняється при розміщенні ГПБА до глибини H . При експлуатації ГПБА в шарі води товщиною H між морською поверхнею і горизонтом розміщення ГПБА ефективність застосування ГПБА близька до нуля. Це обумовлено низьким значенням кардіоїди в цьому шарі, характерно для всіх напрямків компенсації θ_0 ГПБА і означає, що використання ГАС з ГПБА

в цьому випадку не має сенсу, оскільки не дозволить визначити координати цілі ні в товщі H морської води, ні на морській поверхні.

Зовсім інша картина має місце при розміщенні ГПБА на глибині занурення нижче H (рис. 3а). В напрямі, перпендикулярному до поздовжньої осі ГПБА, коли напрям θ_0 компенсації антени $\theta_0 = 0^\circ$, її коефіцієнт концентрації такий самий, як і при експлуатації ГПБА в морі без наявності в ньому будь-яких поверхонь розподілу. Це обумовлено тим, що при $\theta_0 = 0^\circ$ кардіоїдна характеристика спрямованості перетворювачів ГПБА дорівнює $R_n = 1$. При інших напрямках компенсації θ_0 ефективність ГАС з ГПБА значно зменшується, прямуючи до нуля при досягненні горизонту заглиблення ГПБА, рівному H . Це підтверджується аналізом кривих рис. 3б, згідно з яким при збільшенні кута компенсації ГПБА θ_0 від 30° до 90° коефіцієнт її концентрації суттєво зменшується. Це зменшення обумовлене характером поведінки кардіоїдної характеристики спрямованості перетворювачів ГПБА в площинах, нормальних до поздовжньої осі ГПБА. Таким чином, при експлуатації ГАС з ГПБА в умовах наявності морської поверхні і глибини занурення ГАС на відстані, більшій від цієї глибини, ефективність використання ГАС з ГПБА для виявлення підводних цілей, наприклад, підводних човнів, також суттєво зменшується.

ВИСНОВКИ

З точки зору практичного застосування ГАС з ГПБА необхідно звернути увагу на три наступні фактори. По-перше, вони призначені для роботи в інфразвуковому та низькому звуковому діапазонах частот. По-друге, для забезпечення висвітлення підводної обстановки в будь-якій зоні Світового океану вони повинні формувати віяло характеристик спрямованості в діапазоні кутів від 0° до 180° . По-третє, при визначенні ефективності застосування ГАС з ГПБА виходимо з того, що будь-який морський простір не має обмежувачих границь. Але при роботі в області інфразвукових і низьких звукових частот цей морський простір завжди обмежений в хвильовому відношенні морською поверхнею або морським дном. Тому виникає необхідність визначити ефективність ГАС з ГПБА при наявності хоча б одного з цих обмежень.

Виконані дослідження ефективності застосування ГАС з ГПБА при наявності впливу на неї обмежувачої морської поверхні. Показано, що в діапазоні інфразвукових і низьких звукових частот морська поверхня характеризується властивостями диполя, характеристика спрямованості якого нормальна до плоскої морської поверхні. В той же час ГПБА можливо охарактеризувати як таку, гідроакустичні перетворювачі якої володіють властивостями монополя. Оскільки в діапазоні частот роботи ГПБА в системі тіл «морська поверхня – ГПБА» диполь і монополь майже співпадають, то сформована ними характеристика спрямованості має вигляд кардіоїди. Оскільки кардіоїда формується в площинах, нормальних до морської поверхні та поздовжньої осі ГПБА, то вона суттєво змінює ефективність ГАС з ГПБА. До глибин занурення ГПБА вона повністю нівелює можливість ГАС з ГПБА встановлювати наявність цілей. Після глибини занурення ГПБА ефективність ГАС зменшується і суттєво залежить від кута компенсації ГПБА.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Дерєпа 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: монография. Киев: Изд. дом Д. Бурого. 2014. 424 с.
2. Бабаев А.Э. Нестационарные волны в сплошных средах с системой отражающих поверхностей: монография. Киев: Наукова думка. 1990. 176 с.
3. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Монография. Л.: Гидрометеоздат. 1982. 346 с.
4. Клей К., Медвин У. Акустическая океанография: основы и применение: монография. М.: Мир. 1988. 580 с.
5. Смаришев М.Д. Направленность гидроакустических антенн: монография. Л.: Судостроение. 1973. 280 с.
6. Дідковський В.С., Порошин С.М., Коржик В.О. та ін. Акустичні антени: монографія. Київ: ФОП Амелянчик. 2014. 247 с.
7. Грінченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Основы акустики: монография. Київ: Наукова думка. 2007. 640 с.
8. Звукові поля гідроакустичних станцій з гнучкими протяжними буксируваними антенами в присутності морської поверхні / Лейко О.Г., Гамалій Н.В., Позднякова О.М., Аверічев І.В. Озброєння та військова техніка. 2026. № 1(49). С. 84—88. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2026.1\(49\).84-88](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2026.1(49).84-88).

REFERENCES

1. Derepa, A.V., Leiko, A.G. & Melenko, Yu.Ya. (2014). "Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoria i prilozheniya. T. 7. Kompleksnaia sistema «gidroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnii korabl». Problemnii aspekti systemy «gidroakusticheskaia stantsiia – nadvodnii korabl» s antennami, razmeshchenymi v korpuse korablia" [Fundamentals of military-technical studies. Theory and applications. Vol. 7. Complex system «hydroacoustic weapon – surface ship». Problematic aspects of the «hydroacoustic station – surface ship» system with antennas placed in the hull of the ship]. K.: D. Buraho Publ. house. 424 p.
2. Babaev, A.E. (1990). "Nestatsionarnye volny v sploshnykh sredakh s sistemoi otrazhaiushchikh poverkhnostei" [Nonstationary waves in continuous media with a system of reflecting surfaces]. K.: Nauk. dumka. 176 p.
3. Brekhovskikh, L.M. & Lysanov, Yu.P. (1982). "Teoreticheskie osnovy akustiki okeana" [Theoretical foundations of ocean acoustics]. Monograph. L.: Hidrometeoizdat. 346 p.
4. Clay, K. & Medvin, U. (1988). "Akusticheskaia okeanografiia: osnovy i primenenie" [Acoustic oceanography: fundamentals and applications]. M.: Mir. 580 p.
5. Smaryshev, M.D. (1973). "Napravlennost gidroakusticheskikh antenn" [Directivity of hydroacoustic antennas]. L.: Sudostroenie. 280 p.
6. Didkovskiy, V.S., Poroshyn, S.M. & Korzyk, V.O. (2014). "Akustychni anteny" [Acoustic antennas]. K.: FOP Amelianchik. 247 p.

7. Grinchenko, V.T., Vovk, I.V. & Matsipura, V.T. (2007). "Osnovy akustiky: monografia" [Fundamentals of Acoustics: Monograph]. K.: Naukova Dumka. 640 p.
8. Leiko, O.G., Hamalii, N.V., Pozdniakova, O.M. & Averichev, I.V. (2026) "Zvukovi polia hidroakustychnykh stantsii z hnuchkymy protiazhnymy buksyruvanymy antenamy v prysutnosti morskoi poverkhni" [Sound fields of hydroacoustic stations with flexible extended towed antennas in the presence of the sea surface]. Weapons and Military Equipment. No. 1(49). Pp. 84—88. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2026.1\(49\).84-88](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2026.1(49).84-88).

Leiko O.G., Kocharian O.O., Pozdniakova O.M.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE EFFICIENCY OF HYDROACOUSTIC STATIONS WITH FLEXIBLE EXTENDED HYDROACOUSTIC ANTENNAS WHEN USING THEM IN DEEP SEAS AND IN THE PRESENCE OF THE SEA SURFACE

It has been determined that the efficiency of using hydroacoustic stations with flexible extended towed antennas in deep seas and seas with the presence of limiting boundaries differs significantly from each other. The reasons for this difference have been established. They are related to the operation of hydroacoustic stations with flexible extended towed antennas in the infrasonic and low sound ranges of operating frequencies. It has been shown that in this frequency range the sea surface forms a directivity characteristic in the form of a dipole. At the same time, the directivity characteristic of the flexible extended towed antennas elements corresponds to the conditions for the formation of a monopole. The superposition of the sound fields of the dipole and monopole in the system of bodies «sea surface – flexible extended towed antennas» at small wave sizes of the flexible extended towed antennas depth is characterized by the formation of the directivity characteristic of the system of bodies in the form of a cardioid. It has been shown that it is this directivity characteristic that significantly changes the efficiency of using hydroacoustic stations with flexible extended towed antennas in the zone of influence of the sea surface. For depths less than the depth of immersion of the flexible extended towed antennas, the hydroacoustic stations with the flexible extended towed antennas completely loses the ability to illuminate the state of the underwater environment on the sea surface and in the seabed to the depth of immersion of the flexible extended towed antennas. For sea depths greater than the depth of immersion of the flexible extended towed antennas, the effectiveness of the use of the hydroacoustic stations with the flexible extended towed antennas significantly depends on the direction of inclination of the main lobe of the flexible extended towed antennas directivity characteristic to its longitudinal axis and decreases with its increase.

Keywords: flexible extended antenna, sea surface, station efficiency, concentration coefficient.

Відомості про авторів:

Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук, професор
професор кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
<https://orsid.org/0000-0002-5588-6449>
e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Кочарян Оксана Олександрівна

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9363-9270>
e-mail: andkochoks567@gmail.com

Позднякова Ольга Миколаївна

кандидат технічних наук
докторант
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>
e-mail: olpozdnjakova@gmail.com

Information about the authors:

Leiko Oleksandr

Doctor of Technical Sciences, Professor
Professor of the Chair
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>
e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Kocharian Oksana

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3164-0129>
e-mail: andkochoks567@gmail.com

Pozdniakova Olha

Candidate of Technical Sciences
Doctoral Student
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

Стаття надійшла до редакції 01.04.2026.

Стаття прийнята до друку після рецензування 21.05.2026.

Стаття опублікована 30.06.2026.