

УДК 623.983

[https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3\(31\).95-99](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3(31).95-99)

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. І. ТИМОЧКО, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>
 (Харківський національний університет
 Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

І. О. ЛАСТІВКА, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0001-5226-9819>
 (Національний авіаційний університет, м. Київ)

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)

Д. С. ГЛУХОВ
 (Військова частина А0437, м. Одеса)

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СУЧАСНИХ ГІДРОАКУСТИЧНИХ СТАНЦІЙ АКТИВНОЇ ГІДРОЛОКАЦІЇ ТА ЇХ ГІДРОАКУСТИЧНИМИ АНТЕНАМИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Обґрунтування тактико-технічних вимог до створюваних гідроакустичних станцій надводних кораблів або модернізації існуючих потребує встановлення залежностей між основними характеристиками ефективності гідроакустичних станцій та параметрами гідроакустичних антен і перетворювачів, які входять до їх складу. В якості характеристик ефективності гідроакустичних станцій прийняті їх енергетична дальність дії та роздільна здатність. В якості параметрів гідроакустичних антен і перетворювачів визначені частоти механічних резонансів перетворювачів, їх коефіцієнти корисної дії, питома потужність випромінювання, характеристики направленості та коефіцієнти концентрації гідроакустичних антен. Наведені аналітичні співвідношення, що пов'язують характеристики ефективності гідроакустичних станцій та параметри утворюючих їх гідроакустичних антен і перетворювачів. Визначені фізичні особливості встановлених залежностей.

Ключові слова: характеристики ефективності гідроакустичних станцій, параметри гідроакустичних антен і перетворювачів, гідролокація.

ВСТУП

Як відомо [1–6], гідроакустичні станції (ГАС) надводних кораблів (НК) активної гідролокації характеризуються такими тактико-технічними показниками, як дальність дії та роздільна здатність. При цьому розрізняють два види дальності – енергетичну і геометричну та два види роздільної здатності – по дистанції та по куту.

Енергетична дальність дії – це максимальна відстань, на якій може бути виявлена ціль із заданими гідроакустичними характеристиками із заданою вірогідністю правильного виявлення при певних значеннях гідроакустичних завад в однорідному безмежному поглинаючому звук середовищі. Її кількісні значення звичайно використовуються в якості вихідних величин при прогнозуванні очікуваних дальностей дії ГАС. Ці величини включають в формулярні дані та вводять в алгоритми, розрахункові програми таблиці, графіки.

Геометрична дальність дії – це відстань по горизонталі від випромінювача до перерізу горизонтальної лінії з траєкторією граничного акустичного променя на глибині розміщення приймача звуку, яка розрахована з урахуванням рефракції для заданого профілю вертикального розподілу швидкості звуку. Ця характеристика використовується для наближеної оцінки умов поширення гідроакустичних сигналів без врахування енергетичних співвідношень. Вона може виявитися більшою або меншою енергетичної дальності дії ГАС.

Роздільна здатність – мінімальне значення певної фізичної величини між двома цілями (об'єктами) з однаковою інтенсивністю гідроакустичних сигналів в точці прийому. Роздільна здатність характеризує властивість ГАС виконувати задачі виявлення і вимірювання параметрів довільної цілі при наявності інших цілей, близьких по дальності, кутовим координатам і швидкості.

Метою роботи є встановлення зв'язку між визначеними тактико-технічними характеристиками ГАС і параметрами утворюючих їх гідроакустичних антен та перетворювачів. Це дозволить в майбутньому більш обґрунтовано визначати вимоги як до створення нових ГАС НК, так і до модернізації існуючих.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Встановимо залежності між енергетичною дальністю дії ГАС НК з активним режимом і характеристиками гідроакустичних антен і перетворювачів, які входять до їх складу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як було показано вище, тільки енергетична дальність дії ГАС НК визначається параметрами утворюючих ці ГАС елементів [6–12]. Для цього використаємо рівняння гідролокації в інженерному наближенні [3–6], із якого витікає, що енергетична дальність дії активної ГАС r_0 із сталим нульовим градієнтом швидкості звуку визначається виразом:

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{W_a \gamma_1 \gamma_2 R_{\text{екв}}}{16\pi z_0 \sigma^2 W_s}} \cdot 10^{-0,2\beta r}, \quad (1)$$

де W_a – акустична потужність гідроакустичної антени в режимі випромінювання; γ_1 і γ_2 – коефіцієнти осьової

концентрації відповідно випромінюючої та прийомної антен; $R_{екв}$ – еквівалентний радіус цілі; r, z_0 – відстань в кілометрах; σ – коефіцієнт розпізнавання; W_3 – потужність завад.

Аналіз виразу (1) свідчить про те, що частото залежними параметрами активної ГАС при визначенні її дальності дії є акустична потужність випромінювання W_a та коефіцієнти концентрації в режимах випромінювання і прийому γ_1, γ_2 .

Розглянемо більш детально залежності цих параметрів від перетворювачів і антен ГАС.

Повна акустична потужність, випромінювана антеною, становить [11]:

$$W_a = 0,5 \int_S p w^* dS, \quad (2)$$

де p і w^* – акустичний тиск і нормальна складова коливної швидкості на поверхні випромінювання антени; S – площа випромінюючої поверхні; знак * – означає комплексне спряження.

Активна випромінювана потужність визначається як дійсна частина виразу (2).

В разі виконання гідроакустичної антени у вигляді багатоеlementної дискретної антенної решітки вираз (2) набуває вигляду:

$$w_a = W_e \eta_{ae} = \left| W_q \right|^2 \sum_{q=1}^n \sum_{g=1}^n A_q A_g^* z_{qg}, \quad (3)$$

де W_e – активна складова потужності, що споживається антеною від генератора; η_{ae} – акустично електричний коефіцієнт корисної дії антени; W_q – нормальна складова коливної швидкості елемента антени, прийнятого за опорний; A_q – комплексний коефіцієнт збудження елемента антени з номером q , який дорівнює відношенню W_q до нормальної складової коливної швидкості елемента антени, прийнятого за опорний. Звичайно в якості опорного вибирається елемент антени з номером 1 і тоді $A_q = \frac{W_q}{W_1}$. Якщо модуль $|A_q| = a_q$ – коефіцієнт амплітудного розподілу в антені, а аргумент $\arg A_q = \alpha_q$ – коефіцієнт фазового розподілу, то:

$$A_q = a_q \exp(i\alpha_q), \quad (4)$$

де z_{qg} – взаємний опір випромінювання елементів антени з номерами q і g .

Звичайно елементами антени є резонансні електроколивальні системи, в теперішній час – п'езокерамічні. Оскільки вони утворені із двох частин – електричної та механічної, то мають два типи резонансів – електро-механічний і механічний, які відрізняються між собою резонансними частотами.

Електромеханічні резонанси використовують в режимі прийому, механічні – в режимі випромінювання гідроакустичних сигналів. Останнє обумовлено рядом причин. Перша з них – необхідність забезпечення ефективного перетворення електричної енергії спочатку в механічну, а потім – в акустичну. Це має місце лише в областях резонансних частот механічних резонансів, де коливальні швидкості випромінюючих поверхонь перетворювачів в залежності від механічної добротності перетворювачів перевищують коливальні швидкості поза резонансними

ми смугами в 5–10 разів і більше, завдяки чому акустично-механічний коефіцієнт корисної дії становить $\eta_{ae} = 0,85 - 0,95$. Таким чином, ефективне акустичне випромінювання гідроакустичних антен забезпечується в активних режимах роботи ГАС лише при роботі їх в областях механічних резонансів перетворювачів антен.

Коефіцієнти осьової концентрації, які визначаються в напрямках \vec{u}_v максимумів характеристик направленості гідроакустичних антен в режимах прийому і випромінювання, визначаються виразом:

$$\gamma(\vec{u}_v) = \frac{4\pi}{\int_{\Omega} R^2(\vec{u}) d\Omega} = \frac{4\pi r^2}{\rho c} \frac{\left| \sum_{q=1}^n A_q p'_q(\vec{u}_0) \right|}{\sum_{q=1}^n \sum_{g=1}^n A_q A_g^* r_{qg}}, \quad (5)$$

де $R(\vec{u})$ – характеристика направленості антени в довільному напрямку \vec{u} ; Ω – просторовий кут; ρc – хвильовий опір середовища, в якому працює ГАС; r – радіус дальнього поля, в якому визначається характеристика направленості антени; \vec{u}_0 – напрям максимуму характеристики направленості; $p'_q(\vec{u}_0)$ – віднесений до коливної швидкості опорів елемента антени звуковий тиск, який розвивається в дальньому полі антени елементом з номером q при загальмованих інших елементах антени.

Таким чином, наведені дані свідчать про те, що енергетична дальність ГАС залежить від частоти механічного резонансу перетворювачів, що утворюють гідроакустичну антену ГАС, величини коливальних швидкостей перетворювачів антени, величини акустичних тисків, які створюються кожним перетворювачем антени в її дальньому полі, та від коефіцієнтів корисної дії перетворювачів.

Зауважимо, що у вираз (1) для визначення енергетичної дальності дії ГАС входить множник $10^{-0,2\beta r}$, коефіцієнт просторового затухання теж визначається робочою частотою ГАС, яка в режимі випромінювання є частотою механічного резонансу її перетворювачів. В гідроакустичній практиці при розрахунках величини βr найбільше поширення знайшла формула [12]:

$$\beta = 0,036 f^{1,5} \left[\frac{\partial B}{\partial \kappa M} \right],$$

де f – частота в кГц. Тому частота механічного резонансу перетворювачів ГАС набуває визначального значення в роботі ГАС.

Визначимо тепер зв'язки між роздільними здатностями ГАС та параметрами їх гідроакустичних антен і перетворювачів. Фізичними величинами, по яким визначають роздільні здатності ГАС, є дальність дії, напрям руху цілі та швидкість цього руху.

Роздільна здатність по дальності – це мінімальна відстань між двома сусідніми цілями, які знаходяться на одному напрямку (пеленгу) відносно ГАС, при якому вони спостерігаються на екрані індикатора ГАС роздільно. Роздільна здатність по дальності залежить від тривалості випромінюваного імпульсу. Потенційно можлива роздільна здатність ГАС по дальності збільшується при зменшенні тривалості імпульсу випромінювання. Але при цьому зменшується і дальність дії ГАС. Щоб уникнути погіршення цих тактичних параметрів ГАС, при

випромінюванні звуку використовують складні сигнали. Але такі сигнали мають широкий частотний спектр, який при резонансному випромінюванні звуку можуть створювати не всі типи коливальних систем гідроакустичних перетворювачів. Такими властивостями володіють тільки перетворювачі з малими значеннями механічної добротності ($Q = 2 - 20$). Крім того, гідроакустичні перетворювачі представляють собою електромеханічні коливальні системи, механічна частина яких має велику інерцію коливальності. Остання, в свою чергу, змінює як передній, так і тильний фронти випромінюваного акустичного імпульсу, суттєво впливаючи на його тривалість порівняно з тривалістю збуджуючого електричного імпульсу.

Роздільна здатність ГАС по кутовим координатам $\Delta\theta$ чисельно характеризується мінімальним кутом між напрямками на дві рівновіддалені від ГАС цілі, при яких ще можливо їх роздільне спостереження. Роздільна здатність ГАС по кутовим координатам безпосередньо пов'язана з характеристикою направленості її гідроакустичної антени, а саме з гостротою направленої дії антени. При цьому під гостротою направленої дії антени розуміють кут, який охоплює основну пелюстку її характеристики направленості. Чим менший кут θ_0 , тим вища гострота направленої дії. Цей кут визначається або із графічного представлення характеристики направленості антени між напрямками мінімальних значень її основної пелюстки, або із аналітичного опису характеристики направленості для конкретної антени. Часто роздільну здатність ГАС по кутовим координатам визначають таким кутом між нормаллю до випромінюючої поверхні гідроакустичної антени і напрямом на об'єкт пеленгування, при якому характеристика направленості зменшується до значення 0,7 від максимального рівня. В цьому випадку $\Delta\theta$ визначається виразом

$$\Delta\theta = \theta_{0,7} = 50^\circ \frac{\lambda}{l},$$

де λ – довжина хвилі робочої частоти ГАС в морському середовищі, l – лінійний розмір випромінюючої поверхні гідроакустичної антени ГАС в площині пеленгування.

Роздільна здатність ГАС по швидкості руху цілі визначається аналітичним співвідношенням:

$$\Delta V = \frac{c}{2f_0 T_e},$$

де c – швидкість поширення звуку в морському середовищі; f_0 – резонансна частота випромінювання ГАС; T_e – ефективна тривалість гідроакустичного сигналу.

Як уже відмічалось, частота f_0 випромінювання ГАС визначається частотою механічного резонансу перетворювачів її гідроакустичної антени. Ефективна тривалість T_e гідроакустичного сигналу також визначається гідроакустичним перетворювачем ГАС, оскільки його електромеханічна коливальна система має значну інерційність, завдяки чому випромінений гідроакустичний імпульс суттєво відрізняється по ефективній тривалості від такої для збуджуючого перетворювача електричного імпульсу. В свою чергу ступінь інерційності гідроакустичного перетворювача залежить від його механічної добротності.

ВИСНОВКИ

Показано, що такі характеристики ефективності ГАС як дальність виявлення цілей та роздільні здатності по дальності, кутовим характеристикам та швидкості цілей визначаються рядом параметрів гідроакустичних антен та перетворювачів цих ГАС. Встановлено, що в режимі випромінювання ГАС гідроакустичні сигнали повинні мати спектр частот, який знаходиться в спектрі механічного резонансу перетворювачів ГАС, оскільки тільки в цьому випадку електроакустичний коефіцієнт корисної дії перетворювачів має максимальну величину. Показано, що частота механічного резонансу перетворювачів антени ГАС має визначальне значення для величини енергетичної дальності дії ГАС, оскільки від неї залежить не тільки максимальна величина випромінюваної потужності, а й мінімальна величина коефіцієнту просторового затухання гідроакустичних сигналів. Визначені параметри гідроакустичних антен і перетворювачів ГАС, від яких залежать роздільні здатності ГАС. До них відносяться частота механічного резонансу перетворювачів, гострота направленої дії гідроакустичних антен ГАС та механічна добротність перетворювача.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука. 2005. 410 с.
2. Терминологический словарь-справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение. 1989. 368 с.
3. Подводные электроакустические преобразователи. справочник. Л.: Судостроение. 1983. 248 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: моногр. Киев : Издательский дом Д. Буряго. 2016. 400 с.
5. 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: моногр. Киев: Издательский дом Д. Буряго. 2014. 426 с.
6. справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение. 1988. 552 с.
7. Дерепя А.В., Лейко О.Г., Дрозденко О.І., Святненко А.О. Про вплив конструкційних елементів гідроакустичних випромінювачів з внутрішніми екранами на акустичні властивості гідроакустичних станцій. Озброєння та військова техніка. 2020. № 2(26). С. 112—118. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).112-118](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).112-118).
8. Дерепя А.В., Джаназян В.В., Лейко О.Г., Дрозденко О.І. 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\(22\).41-48](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2(22).41-48).
9. Дерепя А.В., Лейко О.Г., Аверічев І.В., Кочарян О.О. Особливості забезпечення енергетичної ефективності випромінювання гідроакустичних станцій. Озброєння та військова техніка. 2018. № 1(17). С. 61—65. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2018.1\(17\).61-65](https://doi.org/1034169/2414-0651.2018.1(17).61-65).

- doi.org/10.34169/2414-0651.2018.1(17).61-65.
10. Лейко А.Г., Дрозденко А.И. Излучение максимальной акустической мощности системами гидроакустических цилиндрических пьезокерамических преобразователей с окружной поляризацией. *Microsystem, Electronic, Acoustic*. 2018. Vol. 23. № 1. Pp. 58—65.
 11. Смаришев М.Д., Добровольский Ю.Ю. Гидроакустические антенны. Справочник по расчету направленных свойств гидроакустических антенн. Л.: Судостроение. 1984. 304 с.
 12. Шендеров Е. Л. Волновые задачи гидроакустики. Л.: Судостроение. 1972. 374 с.

REFERENCES

1. Koryakyn, Yu.A., Smyrnov, S.A. & Yakovlev, H.V. (2005), “Korabelnaia hydroakusticheskaia tekhnika: sostoyanie i aktualnye problemy” [Ship hydroacoustic equipment: state and current], Nauka, SPb. 410 p.
2. “Terminologicheskii slovar-spravochnik po gidroakustike” [Terminological dictionary-reference book on hydroacoustics], Leningrad, Shipbuilding. 1989. 368 p.
3. “Podvodnye elektroakusticheskie preobrazovateli. Spravochnik” [Underwater electroacoustic transducers. Directory], Leningrad, Shipbuilding. 1983. 248 p.
4. Derepa, A.V., Leiko, A.G. & Melenko, Yu.Ya. (2014), «Kompleksnaia sistema “gidroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl”». Problemyne aspekty sistemy “gidroakusticheskaia stantsiia – nadvodnyi korabl” s antenami, razmeshchennymi v korpuse korablia” [Integrated system “hydroacoustic weapons – surface ship”. Problematic aspects of the “hydroacoustic station - surface ship” system with antennas mounted in ship hull], monograph. ID D. Burago, K. 426 p.
5. Derepa, A.V., Leiko, A.G. & Melenko, Yu.Ya. (2016), «Kompleksnaia sistema “gidroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl”». Problemyne aspekty sistemy “gidroakusticheskaia stantsiia – nadvodnyi korabl” s antenami peremennoi glubiny [Integrated system “hydroacoustic weapons – surface ship”. Problematic aspects of the “hydroacoustic station – surface ship” system with variable depth antennas], monograph. ID D. Burago, K. 400 p.
6. “Spravochnik po gidroakustike” [Handbook of hydroacoustics], Leningrad, Shipbuilding. 1988. 552 p.
7. Derepa, A.V., Leiko, O.G., Drozdenko, O.I. & Sviatnenko, A.O. (2020), “Pro vplyv konstruktsiinykh elementiv gidroakustichnykh vypryminiuvachiv z vnutrishnimy ekranamy na akustychni vlastyvoli gidroakustichnykh stantsii” [Influence of construction elements of hydroacoustic transducers with internal baffles on acoustic power of hydroacoustic stations], *Weapons and military equipment*. 2020. № 2(26). Pp. 112—118. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).112-118](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).112-118).
8. Derepa, A.V., Dzanazian, V.V., Leiko, O.G. & Drozdenko, O.I. (2019), “Suchasni pidhodi do konstruiuvannia gidroakustichnykh antenn korabelnykh gidroakustichnykh 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\(22\).41-48](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2(22).41-48).
9. Derepa, A.V., Leiko, O.G., Averichev, I.V. & Kocharian, O.O. (2018), “Osoblivosti zabezpechennia energetichnoi efektyvnosti viprominiuvannia gidroakustichnykh stantsii” [Special features of safety of energy efficiency of hydroacoustic stations], *Weapons and military equipment*. No 1(17). Pp. 61—65. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.1\(17\).61-65](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.1(17).61-65).
10. Leiko, A.G. & Drozdenko, A.I. (2018), “Radiation of maximum acoustic power by systems of hydroacoustic cylindrical piezoceramic transducers with circular polarization”, *Microsystem, Electronic, Acoustic*. Vol. 23. № 1. Pp. 58—65.
11. Smaryshev, M.D. & Dobrovolskii, Yu.Yu. (1984), “Gidroakusticheskie anteny. Spravochnik po raschetu napravlennykh svoystv gidroakusticheskikh antenn” [Hydroacoustic antennas. Handbook for calculating the directional properties of hydroacoustic antennas], Leningrad, Shipbuilding. 304 p.
12. Shenderov, E.L. (1972), “Volnovye zadachi gidroakustiki” [Wave problems of hydroacoustics], Leningrad, Shipbuilding. 374 p.

**Leiko O., Timochko O., Lastivka I.,
Pozdniakova O., Gluchov D.**

**THE LINK BETWEEN THE TACTICAL AND
TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MODERN
HYDROACOUSTIC ACTIVE RADAR STATIONS
AND THEIR HYDROACOUSTIC ANTENNAS AND
TRANSDUCERS**

The definition of tactical and technical requirements for new hydroacoustic stations for surface ships or upgrades to existing ones requires the determination of the correlation between the basic performance characteristics of hydroacoustic stations and the parameters of hydroacoustic antennas and transducers that are part of their composition is considered. The characteristics of hydroacoustic stations efficiency are taken as their energy range and separation capacities. It is shown that such characteristics of hydroacoustic stations efficiency as range, angular characteristics and speed of targets are determined by a number of parameters of hydroacoustic antennas and transducers of these stations. As parameters of hydroacoustic antennas and transducers the frequencies of mechanical resonances of the transducers, their efficiency coefficients, specific radiation power, directional characteristics and concentration coefficients of hydroacoustic antennas are determined. The hydroacoustic signals are found to have the frequency spectrum that is in the spectrum of mechanical resonance of the hydroacoustic transducers, as only in this case the electroacoustic coefficient of performance of the transducers has the maximum value. It is shown that the frequency of mechanical resonance of sounder aerial transducers is of significant importance for the value of energy range of sounder, because it affects not only the maximum value of the radiated power capacity, but also the minimum value of space attenuation coefficient of hydroacoustic signals.

The analytical relationship between the characteristics of the efficiency of hydroacoustic stations and the parameters of

their hydroacoustic antennas and transducers is presented. The physical peculiarities of their dependencies are determined.

Key words: *characteristics of hydroacoustic stations efficiency, parameters of hydroacoustic antennas and transducers.*

Відомості про авторів:

Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук
професор
професор кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Тимочко Олександр Іванович

доктор технічних наук, професор
професор кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>
e-mail: timochko.alex@gmail.com

Ластівка Іван Олексійович

доктор технічних наук, професор
професор кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>
e-mail: timochko.alex@gmail.com

Позднякова Ольга Миколаївна

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

Глухов Дмитро Сергійович

Заступник командира військової частини А0437
м. Одеса, Україна
e-mail: graviton2323@gmail.com

Information about the authors:

Leiko Oleksandr

Doctor of Technical Sciences
Professor
Professor of the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Timochko Olexandr

Doctor of Technical Sciences
Professor
Professor of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>
email: timochko.alex@gmail.com

Lastivka Ivan

Doctor of Technical Sciences
Professor
Head of Department of Higher Mathematics National Aviation University
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5226-9819>
email: iolastivka@gmail.com

Pozdniakova Olha

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

Gluchov Dmitro

Deputy Commander of the Military Unit A0437
Odesa, Ukraine
e-mail: graviton2323@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 26.07.2021.