

AUTOMATED DEVICE FOR DETERMINATION DISTANCE AND SHAPE RECOGNITION OF DISTANT OBJECTS

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ВІДДАЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

A. Sandler, PhD, assistant professor, V. Shepel, senior lecturer

Сандлер А.К., к.т.н., доцент, Шепель В.В., старший викладач

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна

ABSTRACT

The study focuses on enhancing the quality of oceanographic research through the use of advanced optoelectronic systems. It emphasizes the effectiveness of optical positioning in determining distances, identifying shapes of remote objects, and analyzing aerosol layers in the atmosphere. The advantages of optoelectronic systems, such as high resolution and the ability to distinguish neighboring objects, are highlighted, with applications in marine navigation and hydrometeorology. Existing solutions and their limitations are reviewed, leading to the proposal of an automated device equipped with a fiber-optic branching system and independent control of electro-optical filters. This innovative approach enables enhanced scanning capabilities and increased reliability. The study also delves into mathematical modeling, algorithm optimization, and the application of Liouville's theorem to improve power transmission efficiency between waveguide structures. The findings aim to advance oceanographic research by addressing technical challenges and ensuring more accurate and efficient data collection.

Keywords: oceanographic research, optoelectronic systems, optical positioning, fiber-optic branching, electro-optical filters, marine navigation, hydrometeorology, mathematical modeling, Liouville's theorem, waveguide structures.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науково-практичними завданнями

Якість океанографічних досліджень нерозривно пов'язана з ефективністю інструментів виявлення, виміру координат, а також розпізнавання форми віддалених об'єктів з використанням електромагнітних хвиль оптичного діапазону. Оптичне позиціонування має можливість визначати з високою точністю відстані до рухомих та нерухомих об'єктів, досліджувати розподіл аерозольних шарів в атмосфері. До істотних переваг оптико-електронного інструментарію ставиться також, висока здатність щодо визначення дальності та пеленгу, тобто здатність розрізняти два сусідні об'єкта. Сукупність властивостей дає можливість широкого застосування оптико-електронних систем у морській навігації й гідрометеорології.

Сформована тенденція постійного вдосконалювання систем визначення відстаней у океанографічних дослідженнях вимагає розширення теоретичних знань про фізичні процеси перетворення оптичного випромінювання й створення нових схемотехнічних рішень відповідних пристроїв. В основі створення таких систем лежить глибоке розуміння фізичних процесів виникнення, поширення оптичного випромінювання, а також теорії приймання й обробки оптичних сигналів з урахуванням особливостей їх просторово-тимчасової структури, хвильових і корпускулярних властивостей. Облік адитивних властивостей оптичного випромінювання обумовлює необхідність розробки більш повних математичних моделей, оптимізації алгоритмів приймання й обробки оптичних сигналів, нової елементної бази

оптико-електронних систем [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Відомий пристрій для підвищення якості океанографічних досліджень містить багатоканальний лазерний передавач, кожний канал якого має свій випромінювач, модулятор та об'єktiv. При цьому канали розміщені так, що осі діаграм випромінювання каналів лежать в одній площині, а їх пучки частково перекривають сусідні канали. Тому сумарна діаграма випромінювання має витягнуту форму, її ширина дорівнює розміру діаграми одного каналу, а довжина збільшена пропорційно кількості каналів. Таким чином, сканування поля обзору проводиться не вузьким пучком, а рядком таких пучків. Тому сканування здійснюється по рядкам, а не по елементам, що дозволяє підвищити темп огляду зони обзору [3].

Недоліки полягають у надмірній складності передавача, через значне збільшення кількості випромінювачів, модуляторів та об'єktivів. Це призводить до підвищення вартості локатору, ускладнення юстировок та зниження надійності. При цьому огляд рядків поля обзору залишається почерговим, тобто детермінованим. Неможливість змінювати черговість огляду рядків перешкоджає оптимізації його програми з тим, щоб скоротити час огляду поля обзору. Отже, побудова цього локатору не дозволяє зменшити час пошуку об'єкта за рахунок оптимізації програми сканування.

Найбільш досконалим та вільним від зазначених недоліків, та найбільше наближеним до розв'язання завдань океанографії, є пристрій який складається з випромінювача, колімаційної оптичної системи та вузла орієнтації напрямків вихідних пучків. Випромінювач, розміщений в фокальній площині об'єктива, складається з множини елементів, що утворюють матричну структуру, які вмикаються і вимикаються блоком управління незалежно [4].

Але застосування випромінювача матричної структури є головною причиною певної неідентичності елементів матриці випромінювача, що накладає обмеження на відхилення напрямків пучків від кожного елемента. Це спричиняє такі адитивні недоліки як втрата роботоспроможності всього пристрою через вихід з ладу одного елемента матриці та наявність великої кількості електричних провідників, що сполучають матричну структуру з блоком керування. Окрім того матрична структура знаходиться поряд з об'єktivом, тобто у зоні впливу негативних експлуатаційних факторів. Перелічені недоліки підсилюються великим часом пошуку заданого об'єкта.

Формулювання цілей статті

Мета статті – обґрунтувати практичну можливість створення пристрою для підвищення якості океанографічних досліджень, що забезпечить максимальну захищеність пристрою від впливу негативних експлуатаційних факторів та мінімальний час пошуку об'єкта та у якому одночасно збережені простота схемотехнічних рішень оптичних пристроїв відомих типів.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для підвищення якості океанографічних досліджень, що складається з блоку живлення та керування, випромінювача, колімаційної оптичної системи та вузла орієнтації напрямків вихідних пучків. Основна відмінність від існуючих пристроїв полягає у тому, що випромінювач, сполучений з багатогілковим волоконно-оптичним розгалужувачем, кожна гілка якого має вбудований електрооптичний фільтр. Кожен фільтр вмикається і вимикається через окрему плату блоком управління незалежно від стану інших фільтрів. Торець кожної гілки розміщений в фокальній площині об'єктива.

Пристрій містить блок живлення та керування, який лініями зв'язку поєднаний з випромінювачем та окремою платою керування електрооптичними фільтрами. З

випромінювача випромінювання надходить до волоконно-оптичного розгалужувача, кожна гілка якого містить керований електрооптичний фільтр. Торці волоконних гілок волоконно-оптичного розгалужувача розміщені в фокальній площині об'єктиву. Це забезпечує на виході локатору певні напрямки пучків від кожної волоконної гілки, які визначаються положеннями та параметрами випромінювання цих гілок відносно оптичної осі об'єктиву. Волоконно-оптичний розгалужувач розміщений так, щоб оптична вісь об'єктиву проходила через його геометричну вісь.

Автоматизований пристрій для підвищення якості океанографічних досліджень діє таким чином. Блок живлення та керування за допомогою окремої плати почергово змінює параметри електрооптичних фільтрів у гілках розгалужувача для того щоб відповідати оптимальній програмі сканування поля обзору. Оскільки запропонована схема пристрою дозволяє змінювати або вмикати/вимикати будь-яку гілку розгалужувача, незалежно від попереднього стану інших волоконно-оптичних гілок, то можна реалізувати будь-яку програму сканування поля обзору. В тому числі і ту, що забезпечує найменший час пошуку об'єкту.

Для визначення процесу перетворення оптичного випромінювання між хвилеводом будь-якої гілки розгалужувача та об'єктивом доцільно застосовувати теорему Ліувілля. Згідно з теоремою й закону яскравості, хвилеводна структура, що має M_1 мод, що направляються, може зібрати не більш M_1 мод, випромінюваних збудливою хвилеводною структурою із числом мод M_0 . Цей результат не залежить від типу оптичного зв'язку між хвилеводними структурами. Це дає підставу розглядати, у загальному випадку, завдання узгодження двох хвилеводних структур як порушення прийомної антени деяким заданим полем випромінюючої антени. При однаковій поляризації електричних полів, хвилі, що збуджують ψ_1 і хвилі ψ_2 , яка збуджується, і при неширокій діаграмі спрямованості апертур, які випромінюють та приймають світло, у наближенні еквівалентному наближенню Кирхгофа ефективність узгодження хвилеводних структур по потужності η є

$$\eta = Tr \eta_0, \quad (1)$$

де Tr – коефіцієнт пропускання, $\eta_0 = |\int \psi_1 \psi_2 ds|^2$ – ефективність перекриття його полем, що збуджує, ψ_0 і збуджуваного поля ψ_1 , нормованих таким чином, що: $\int |\psi_1| ds = 1$ і $\int |\psi_2| ds = 1$.

Аналіз процесу передачі потужності між хвилеводними структурами, зв'язаними через торцеві поверхні (аксіальний зв'язок) показав таке. Якщо гауссовий пучок падає перпендикулярно торцю світловода, то електричне поле при цьому має вигляд

$$E_x = \exp\left(\frac{-r^2}{2\rho_s^2}\right), \quad (2)$$

де ρ_s – розмір плями пучка.

Таким чином, E_x не залежить від ϕ , що означає порушення тільки мод з індексом $l = 0$ або HE_{1m} мод. Для основної моди, поляризованої уздовж осі x

$$\psi_0 = F_0 = \exp\left(\frac{-r^2}{2r_0^2}\right),$$

де $r_0 = \rho/V^{0.5}$ – розмір плями моди.

Припустивши, що $n_i = n_{co}$, одержимо вираз для частини потужності пучка, що поширюється в основній моді

$$\frac{P_0}{P_i} = \left(\frac{2\rho_s r_0}{\rho_s^2 + r_0^2}\right)^2. \quad (3)$$

Вираз (3) описує співвідношення оптичних потужностей при порушенні хвилеводу похилим пучком. Такий тип порушення є найбільш загальним випадком порушення поля.

Якщо пучок направляєється на торець ОВ під кутом Θ до його осі, то

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{2\rho^2}{\rho_s^2} \right) \frac{\left[\int_0^\infty F_l(R) J_l(kr) \exp\left(\frac{-R^2 \rho^2}{2\rho_s^2} \right) R dr \right]^2}{\int_0^\infty F_l^2(R) dR}. \quad (4)$$

Якщо у (4) гауссовий пучок замінити однорідним з радіусом ρ_s , він перетвориться на вираз для слабконапрямого оптичного хвильоводу зі східчастим профілем показника переломлення

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{2\rho^2}{\rho_s^2} \right) \frac{\left[\int_0^{\rho_s} F_l(R) J_l(kr) R dR \right]^2}{\int_0^\infty F_l^2(R) dR}. \quad (5)$$

Якщо прийняти

$$I_1 = \int_0^{\rho_s} F_l(R) J_l(kr) R dR$$

Для ρ_s/ρ $F_l(R) = J_l(UR)/J_l(U)$, $0 \leq R \leq 1 \Rightarrow$
 $F_l(R) = K_l(WR)/K_l(W)$, $1 \leq R \leq:$

$$\Rightarrow I_1 = \int_0^{\rho_s} F_l(R) J_l(kr) R dR = \int_0^1 \frac{J_l(UR)}{J_l(U) J_l(kr)} R dR + \int_0^{\rho_s} \frac{K_l(WR)}{K_l(W) J_l(kr)} R dR = I_3 + I_4.$$

$$\Rightarrow I_3 = \frac{1}{J_l(UR)} \int_0^1 J_l(UR) J_l(kr) R dR. \quad (6)$$

З урахуванням інтегралу від добутку функцій Бесселя [5] (6) перетвориться до вигляду

$$I_3 = (J_l(U))^{-1} ((U^2 - k^2)^{-1} R (k J_l(UR) J_{l-1}(kr) - U_{jl}(kr) J_{l-1}(UR)))^1_0$$

$$= ((k J_l(U) J_{l-1}(k) - U J_l(k) J_{l-1}(U)) / (J_l(U) (U^2 - k^2))),$$

$$I_4 = \int_0^{\rho_s} \frac{K_l(WR)}{K_l(W) J_l(kr)} R dR.$$

Якщо повернутися до (1), то

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{2\rho}{\rho_s} \right) \frac{[I_3 + I_4]^2}{I_2} = \frac{[I_3 + I_4]^2 4\rho^2 U^2 K_1^2(W)}{\rho_s^2 K_{l-1}(W) K_{l+1}(W)}. \quad (7)$$

Підстановка в (7) значень для варіанта порушення поля хвильоводу при зсуві початкового зазору або неузгодженості осей хвильоводів.

Вираз (7) урахує найбільш загальний випадок порушення хвильоводу. Якщо розглядати співвісне розташування пучка й одномодового хвильоводу, то впливає, що буде порушена тільки HE_{11} -мода й $\theta_i = ks = k = 0$. Прийняття цих обмежень приводить до перетворення вираження (4) до виду

$$\frac{P_0}{P_i} = \left(\frac{2U}{VW_s} \right)^2 \left[\left(\frac{V^2}{U^2} \right) - \left(\frac{\rho_s - K_1(W_s)}{\rho K_1(W)} \right) \right]^2. \quad (8)$$

Якщо припустити [5] $r_0 = \rho/(2 \ln V)^{0.5}$, то гауссове наближення дозволить модифікувати (8) до виду

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{(2Lnv)(V-1)^2}{V^2}. \quad (9)$$

де P_0 – потужність оптичного випромінювання, яке повернулося до фотоприймача; P_1 – загальна потужність оптичного випромінювання, яке уведено до вимірювального каналу.

Величина хвильового параметра V є визначальною у (9), що описує процес передачі оптичної потужності між вимірюючим пристроєм та об'єктом. У свою чергу, зміна числової апертури NA зв'язані зі значенням хвильового параметра

$$V = k\rho NA,$$

де k – хвильове число; ρ – радіус серцевини.

Запропонована побудова устрою забезпечує відповідність напрямків пучків випромінювання локатору положенням та стану волоконно-оптичних гілок розгалужувача. Це дозволяє змінювати напрямки пучків шляхом вмикання і вимикання відповідних гілок з випромінюванням. Оскільки кожна гілка може вмикатися і вимикатися блоком живлення та керування незалежно від стану інших гілок, то вихідному пучку локатору можна надати будь-який напрямок, незалежно від попередньої його орієнтації. Окрім того, запропонована побудова дає можливість вмикати одночасно кілька гілок з випромінюванням, і тим самим, змінювати ширину пучка під час локації. Ці властивості запропонованого локатору знімають обмеження з траєкторії сканування пучком поля обзору та дозволяють змінювати ширину пучка [6, 7].

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Таким чином, запропонований автоматизований пристрій для підвищення якості океанографічних досліджень дозволяє вибирати без обмежень, притаманних відомим зразкам, такі програми сканування, які забезпечують найменший час пошуку об'єкту. Може бути забезпечена покращена динаміка та висока швидкодія пристрою; більша стійкість до впливу негативних експлуатаційних факторів; підвищений ресурс; зменшена вартість пристрою.

Для підвищення стабільності роботи пристрою доцільним може бути застосування додаткових модулів охолодження спеціальної плати та оптичних фільтрів [8]. Це дозволить вирішувати задачу зі зменшеним часом на введення до дії комплексу та з високим ступенем інваріантності до впливу неконтрольованих експлуатаційних та кліматологічних факторів.

Для поширення можливостей автоматизованого пристрою для підвищення якості океанографічних досліджень до їх складу можуть бути залучені альтернативні скломатеріали та гідродинамічні складові, а саме інваріантні волоконно-оптичні гідрофони [9 - 11].

Взагалі, застосування пропонованого схемотехнічного рішення пристрою буде сприяти як підвищенню якості океанографічних досліджень, особливо у складних навігаційних умовах, а також сприяти більш ефективній співпраці стейкхолдерів та закладів вищої освіти у плані опанування новітніми технологіями [12 - 14].

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Оптико-електронні системи ближньої локації / Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, Л. М. Будіянська та інш. – Одеса: ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2019. – 294 с.
- [2] Стрелков, А. И. Оптическая локация. Теоретические основы приема и обработки оптических сигналов. – Харьков: Апостроф, 2010. – 311 с.
- [3] Лепіх, Я. І., Іванченко, І. О., Будіянська Л. М., Сантоній В. І., Янко, В. В., Кияк Б. Р. Алгоритм роботи класифікатора об'єктів у складі інтелектуального оптико-локаційного сенсора // Тези доповідей 6 Міжнародної науково-технічної конференції “Сенсорна

- електроніка та мікросистемні технології (СЕМСТ-6)”, 29 вересня – 3 жовтня 2014 р., Одеса, Україна. С. 118.
- [4] Патент України № 92164. МПК (2014.01) G01S 17.00 G01S 1/00 B64G 1.36 (2006.01). Оптичний локатор / В. О. Топольніков; заявник та володар патенту МЦ "Інститут прикладної оптики" НАН України. – u201313614. – заявл. 22.11.2013. – опубл. 11.08.2014, бюл. № 15. – 3 с.
- [5] A.W. Snyder, J. Love. Optical Waveguide Theory. – Berlin: Springer Science & Business Media, 1983. – 734 p.
- [6] Сандлер, А. К. Інформаційно-вимірювальні пристрої на основі волоконно-оптичних технологій. – Одеса: НУ "ОМА", 2018. – 165 с.
- [7] Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.
- [8] Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Система охолодження модулів інфрачервоного випромінювання комплексів спеціального призначення // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 45. – VOL. 3. – P. 32 - 35.
- [9] Сандлер, А. К. Застосування альтернативних скломатеріалів для датчиків деформації та вібрації елементів пропульсивного комплексу // Автоматизація суднових технічних засобів. – 2023. – Вып. 28. – Одеса: НУ ОМА. – С. 79 – 89. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-79-89.
- [10] Цюпко, Ю. М., Сандлер, А. К. Волоконно-оптический инвариантный гидрофон // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – 2016. – Вип. 271. – Т. 283. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. – С. 16 - 20.
- [11] Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Каменєва, А. В. Схемотехнічне рішення датчика швидкості потоку // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – Вып. 22. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 86 - 92.
- [12] Сандлер, А. К., Шепель, В. В., Германчук, Д. О. Автоматизована система для здійснення океанографічних досліджень // XIII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 22.11.2023 - 23.11.2023 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУОМА. – 2023. – С. 201 - 207. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEE-2023.11.1-248
- [13] Сандлер, А. К., Омельченко, Т. Ю. Вдосконалення автоматизованих пристроїв налаштування навігаційної техніки // Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers "ΛΟΓΟΣ" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024. Cambridge-Vinnitsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – P. 227 - 232. DOI 10.36074/logos-26.04.2024.049
- [14] Бабаченко, М. В., Сандлер, А. К. Підвищення ефективності взаємодії стейкхолдерів та морських закладів вищої освіти // Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers "ΛΟΓΟΣ" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024. Cambridge-Vinnitsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – P. 82 - 84. DOI 10.36074/logos-29.03.2024.019

REFERENCES

- [1] Optical-Electronic Systems of Short-Range Location / Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, L. M. Budiyanska et al. – Odesa: ONU named after I. I. Mechnykov, 2019. – 294 p. [in Ukrainian]
- [2] Strelkov, A. I. Optical Location. Theoretical Fundamentals of Reception and Processing of Optical Signals. – Kharkov: Apostrophe, 2010. – 311 p. [in Ukrainian]
- [3] Lepikh, Ya. I., Ivanchenko, I. O., Budiyanska, L. M., Santoniy V. I., Yanko, V. V., Kyyak B. R. Algorithm of Object Classifier Operation within the Intellectual Optical Location Sensor // Abstracts of the 6th International Scientific-Technical Conference “Sensor Electronics and Microsystems Technology (SEMST-6)”, September 29 – October 3, 2014, Odesa, Ukraine. P. 118. [in Ukrainian]
- [4] Patent of Ukraine № 92164. IPC (2014.01) G01S 17.00 G01S 1./00 B64G 1.36 (2006.01). Optical Locator / V. O. Topolnikov; applicant and patent holder MTS "Institute of Applied Optics" NAS of Ukraine. – u201313614. – appl. 22.11.2013. – publ. 11.08.2014, bull. № 15. – 3 p. [in Ukrainian]
- [5] A.W. Snyder, J. Love. Optical Waveguide Theory. – Berlin: Springer Science & Business Media, 1983. – 734 p. [in German]
- [6] Sandler, A. K. Information-Measuring Devices Based on Fiber-Optic Technologies. – Odesa: NU "OMA", 2018. – 165 p. [in Ukrainian]
- [7] Sandler, A. K. Method for Increasing the Efficiency of Diagnosing the Technical Condition of Ship Gas Turbine Installations Based on Fiber-Optic Technologies: Abstract of the dissertation for the candidate of technical sciences: 05.22.20 / Kyiv University of Infrastructure and Technologies. – Kyiv, 2021. – 20 p. [in Ukrainian]
- [8] Sandler, A. K., Opryshko, M. O. Cooling System of Infrared Emission Modules of Special Purpose Complexes // Slovak international scientific journal. – 2020. – No. 45. – Vol. 3. – P. 32–35. [in Slovak]
- [9] Sandler, A. K. Application of Alternative Glass Materials for Deformation and Vibration Sensors of Propulsion Complex Elements // Automation of Ship Technical Means. – 2023. – No. 28. – Odessa: NU OMA. – P. 79–89. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-79-89. [in Ukrainian]
- [10] Tsyupko, Yu. M., Sandler, A. K. Fiber-Optic Invariant Hydrophone // Scientific Works: Scientific-Methodological Journal. – 2016. – No. 271. – Vol. 283. Computer Technologies. – Mykolayiv: Publishing House of Petro Mohyla CHNU. – P. 16–20. [in Ukrainian]
- [11] Sandler, A. K., Tsyupko, Yu. M., Kameneva, A. V. Circuit Solution of the Flow Speed Sensor // Automation of Ship Technical Means. – 2016. – No. 22. – Odessa: NU"OMA". – P. 86–92. [in Ukrainian]
- [12] Sandler, A. K., Shepel, V. V., Hermanchuk, D. O. Automated System for Oceanographic Research // XIII International Scientific-Methodical Conference "Ship Electrical Engineering, Electronics and Automation", November 22-23, 2023: Conference Proceedings. – Odesa: NUOMA. – 2023. – P. 201–207. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEA-2023.11.1-248 [in Ukrainian]
- [13] Sandler, A. K., Omelchenko, T. Yu. Improvement of Automated Devices for Navigation Equipment Adjustment // Education and Science of Today: Intersectoral Issues and Development of Sciences: Collection of Scientific Papers "LOGOS" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024. Cambridge-Vinnytsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – P. 227-232. DOI: 10.36074/logos-26.04.2024.049 [in Ukrainian]

- [14] Babachenko, M. V., Sandler, A. K. Increasing the Efficiency of Stakeholders and Maritime Higher Education Institutions Interaction // Education and Science of Today: Intersectoral Issues and Development of Sciences: Collection of Scientific Papers "LOGOS" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024. Cambridge-Vinnytsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – P. 82-84. DOI: 10.36074/logos-29.03.2024.019 [in Ukrainian]