

ЗАГАЛЬНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕТРІЇ, ГІДРОАКУСТИЧНОГО КОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВОДНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Курдюк С. В.

*доктор філософії, старший викладач-начальник зв'язку
кафедри озброєння Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID ID: 0000-0002-3165-4571*

Трохименко І. В.

*начальник групи зв'язку та радіотехнічного забезпечення
навчально-лабораторного комплексу кафедри озброєння
Інституту Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»
ORCID ID: 0000-0002-4405-0750*

Робота присвячена огляду наявних останніх публікацій з напрямків розвитку підводної робототехніки, існуючих новітніх підводних апаратів, організації інформаційних каналів для абонентів різного класу та сучасних підходів до формування акустичних полів в хвилеводах при збуренні їх імпульсними сигналами. В розділі також наведено основні тактико-технічні характеристики ПІДВОДНОГО АПАРАТУ та з'ясовані засади організації процесу обміну робочою, контрольною інформацією та інформацією управління, зв'язку та телеметрії. В розділі також надана загальна характеристика інформаційного гідроакустичного каналу.

Ключові слова: інформаційні гідроакустичні канали, підводний апарат (ПА), надводний корабель (НК), підводний звуковий канал хвилеводу (ПЗК ХВ).

Kurdiuk Serhii, Trokhymenko Iryna. GENERAL DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF TELEMETRY SYSTEMS, SONAR CODE COMMUNICATION AND ELEMENTS OF UNDERWATER ROBOTICS

The work is dedicated to the review of the latest publications on the development of underwater robotics, existing modern underwater vehicles, organization of information channels for subscribers of different classes, and modern approaches to the formation of acoustic fields in the waveguides being disturbed by pulse signals. The section also describes the main performance characteristics of the UNDERWATER VEHICLE and the ascertained organization principles of information exchange processes as for operating and checking information as well as control, communication and telemetry information. In addition, the section renders a general characteristics of the information hydroacoustic channel.

Key words: information sonar channels, underwater vehicle (UV), surface ship (SS), underwater sound channel of the waveguide (USC W).

Вступ

Сучасні задачі робототехнічних технологій в системах зв'язку та телеметрії підлягають розв'язку з використанням декількох інформаційних утворень – інформаційних гідроакустичних каналів. Основні інформаційні потоки взаємозв'язку абонентів таких систем наведено на рис. 1.

Як видно з рис. 1, пошукова система утворюється з наступних абонентів (функціональних елементів):

1) корабель забезпечення – надводний корабель (НК);

2) гідроакустичний перетворювач, який є оберненим і забезпечує взаємне перетворення електричної й акустичної енергії;

3) берегова станція (пост спостереження БПС);

4) підводний робот – підводний апарат (ПА) – виконує задачі за призначенням;

5) гідроакустичний маяк – засіб навігаційного забезпечення щодо обрання позиції та маневрування ПА, НК, РГБ;

6) пристрій збирання, накопичення та передачі на ПА (або безпосередньо на НК чи БПС) інформації за призначенням системи;

7) БПС може бути замінено на автономний РГБ, який виконує як самостійну, так і дублюючу функції поряд з НК, ПА і БПС.

8) елементи схеми рис. 1. пов'язані між собою інформаційними потоками, що включають інформаційні повідомлення-команди

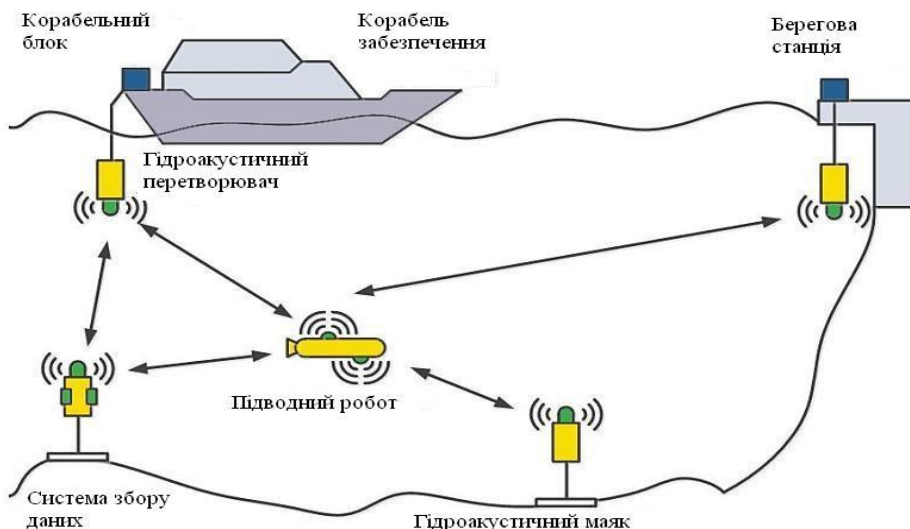


Рис. 1. Спрощена загальна схема обміну інформаційними потоками повідомлень із використанням підводного робота (ПА) з абонентами НК, БС, РГБ

потоків контролю, управління та інформаційні потоки за призначенням.

Загальна характеристика інформаційного гідроакустичного каналу

Гідроакустичний інформаційний канал (рис. 1.2) в загальному вигляді має містити наступні основні складові: сукупність приладів і блоків передаючої частини ГАС НК, прийомної частини ГАС ПА, передаючої станції частини ГАС ПА, прийомної частини ГАС НК.

Вказані складові пов'язані між собою середовищем, яке за прикладом хвилеводу Пекеріса представлено регулярним хвилево-

дом з обмежувачими поверхнями акустично м'якого, акустично жорсткого та комбінованого типів. Інформаційний канал НК-ПА організовано відповідно до сучасних уявлень та підходів обміну інформацією, які реалізовано в ГАС МГК 365 «ЗВЕЗДА» [1].

Означені вище елементи каналу (рис. 2) містять:

Тракт випромінювання:

1. Програмно-задаючий пристрій бортової системи (НК – ПА) – набір синтезаторів частот та формувачів імпульсних послідовностей, з яких складається команда на ПА у вигляді послідовного p -розрядного двійкового коду.

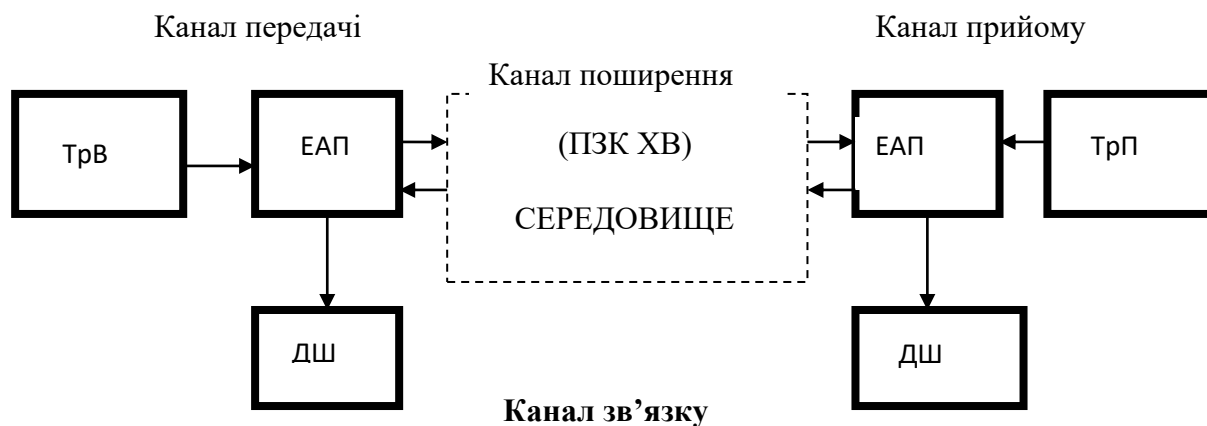


Рис. 2. Інформаційний гідроакустичний канал зв'язку

Тр В – тракт випромінювання, Тр П – тракт прийому, ЕАП – обернений електроакустичний перетворювач, ДШ – дешифратор, ПЗК ХВ – підводний звуковий канал – хвилевод.

2. Генераторний пристрій (в тому числі модулятор за необхідністю) перетворення електричної енергії бортового живлення НК в енергію робочих частот повідомлення.

3. Системи узгодження опорів.

4. Електроакустичний випромінювач (випромінювач).

ПЗК ХВ:

Простір поширення акустичних хвиль – у вигляді ідеально пружного середовища з густиною ρ_c та швидкістю звуку c_c , яке заповнює регулярний хвилевід, обмежений плоско-паралельними границями.

Тракт прийому:

1. Електроакустичний перетворювач (приймач).

2. Система селекції, демодуляції, дешифрування та виконання команд управління і контролю.

Аналогічна але обернена послідовність кіл функціональних елементів схеми рис. 2 формує канал «ПА – НК». При цьому [2] абоненти НК, ПА в прямій й в зворотній ситуації можуть працювати в умовах активних і пасивних завад.

Основні відомості про типовий автономний ПА

Досягнення означеної вище мети має базуватися на основі залучення до моделювання типових характеристик сучасних ПА, НК з одного боку та врахування при утворенні гідроакустичного інформаційного каналу особливостей формування акустичних полів в хвилеводах – з іншого. Зазначені обставини виникають при застосуванні в режимах обміну інформацією складних сигналів – імпульсів та їх послідовностей. Це пов'язано з впливом дисперсії на самі сигнали та на їх розподілення в хвилеводі. При цьому обов'язковим є врахування такого чинника як векторна чи скалярна природа характеристик акустичного поля.

У більшості гідроакустичних пошукових, інформаційних та зв'язкових комплексів [1; 3] завдання навігаційного, пошукового, телеметричного характеру та задачі управління і контролю ПА (ПДКСА) виконуються із застосуванням схеми (рис. 1). При цьому задачі телеметрії, управління і контролю долаються шляхом виконання двохсторонніх режимів «ПЕРЕДАЧА – ПРИЙОМ» інформаційно-

вимірювальних, інформаційно-контрольних даних та даних управління. Задачі телеметрії і управління розв'язуються також шляхом двохсторонньої передачі інформаційно – вимірювальних даних. Отже, відповідно до [1; 3] процес обміну пакетами команд і даних з ПА полягає у формуванні інформаційних слів, записаних паралельним двійковим кодом, перетворенням їх на послідовний код, виконання модуляції та випромінюванні носієм (НК) такої кодової послідовності модульованих сигналів управління, виявлення їх ПА на тлі завад та виконання команд автономним ПА. Послідовність акустичних сигналів перетворюється акустичною антеною на електричні і після виконання команд ПА формує імпульсну кодову послідовність «ВІДПОВІДЬ» («ВИДАЧА ДАНИХ») у вигляді імпульсної послідовності «ІНФОРМАЦІЙНЕ СЛОВО» певного виду модуляції, яка перетворюється ЕАП гідроакустичної антени на акустичні сигнали, що поширюються ПЗК з послідовним прийомом відповіді ГАС НК. Абонентом НК (БС, РГБ) у випадку прийому ним робочої інформації від ПА також може відбуватися виявлення сигналу відповіді з наступними демодуляцією або дешифруванням.

Структура повідомлень може відповідати структурі інформаційного слова (ІС) у вигляді послідовного p -розрядного двійкового коду [3]. У випадку передачі масивів даних по бортовому інтерфейсу, кодова послідовність таких ІС підлягає перетворенню на паралельний.

Подібна схема роботи структурована і достатньо проста. Проте, недоліком цифрового та мікропроцесорного забезпечення бортової апаратури ПА і НК є низька продуктивність при великій кількості обчислювальних процесів в багатоканальній обробці сигналів.

Як видно, головним елементом системи, що зображена на рис. 1, 2 є інформаційний гідроакустичний канал, який формально працює з декількома видами інформаційно-вимірювальних потоків гідроакустичних сигналів, які характеризуються різними показниками швидкості обміну за умов мінімізації помилок кодових інформаційних послідовностей [1; 4] для абонента НК. Отже, абоненти рис. 1 мають відповідати наступним характеристикам:

1. Дані управління і контролю, навігаційні дані, сигнали взаємодії з підводними об'єктами мають бути сформовані у вигляді інформаційних слів послідовного коду розрядністю – не гірше 8 і мають мати:

- а) швидкість передачі – не гірше 1 кбіт/с;
- б) число помилок – не гірше 10^{-5} .

2. Сигнали телеметрії (сигнали стану ПА) інформаційних повідомлень від периферійних датчиків (датчиків акустичного тиску, акселерометрів, системи визначення коливальної швидкості, датчики тракту вимірювання інтенсивності, сейсмотачики тощо) у вигляді інформаційних слів послідовного коду розрядністю – не гірше 8 і мають мати :

- а) швидкість передачі – не гірше 1 кбіт/с;
- б) число помилок – не гірше 10^{-5} .

Цим положенням відповідає ПА А9-М – багатоцільовий автономний підводний апарат, призначений для обстеження дна в районах катастроф з певними особливостями рельєфу, отримання гідрографічних та океанографічних даних, забезпечення протимінної охорони в прибережній акваторії. Вигляд апарату наведено на рис. 3.

Відповідно до [5; 6] багатоцільовий автономний підводний апарат А9-М має такі основні характеристики:

1. Максимальна швидкість 5 вуз відносно води.
2. Швидкість буксування (робоча) 2–3 вуз.
3. Автономність від 10 годин (з одним батарейним модулем) (включаючи 6 годин роботи

на швидкості 3 вуз та 2+2 години шляху туди та назад).

4. Максимальна робоча глибина – 200м.
5. Ємність пам'яті 256 ГБ (більш ніж 32 год запису).
6. Магнітний слід А6 (згідно стандарту НАТО 1365 MV-CO eds).
7. Конструкція – блочна.
8. Підводний акустичний модем.

На останньому пункті зупинимось детальніше. Відповідно до [5; 6] сьогодні на ринку широко представлені гідроакустичні модеми фірм Aquatec, Sonardyne, LinkQuest, концерн «Океан прилад» та ін. Можливості сучасних модемів дозволяють передавати дані зі швидкостями до 48 Кбіт/с на дистанціях до 12 км, або до 7–10 км зі швидкістю 2,5 кбіт/с.

SoundLink «LinkQuest UWM 10000» – підводні акустичні модеми компанії LinkQuest створені для подолання трьох головних перешкод в ПЗК ХВ: недостатня надійність, низька швидкість передачі даних і високе енергоспоживання. Використовуючи власну технологію (Широкосмугового Акустичного Розширеного Спектра) Broadband Acoustic Spread Spectrum, компанія LinkQuest розробляє вдосконалені підводні акустичні модеми, використовуючи новітні технології:

1. Удосконалена схема модуляції для поліпшення відношення сигнал-шум.
2. Стабілізація каналу зв'язку для боротьби з багатократними перевідбиттями сигналу від поверхонь ПЗК ХВ.

Корпус	алюміній та армоване скловолокло
Макс довжина	1,98м (з одним батарейним модулем)
Макс діаметр	230мм
Вага	68,5 кг (з одним батарейним модулем)



Рис. 3. Багатоцільовий автономний підводний апарат А9-М



Рис. 4. Гідроакустичний модем LinkQuest UWM 10000

3. Кодування з корекцією помилок.

4. Автоматична адаптація швидкості передачі для боротьби зі зміною шумової обстановки в навколишньому середовищі.

5. Найбільш передові програми і процесори цифрової обробки сигналів.

Перевагою даного гідроакустичного модему є його низька робоча частота від 7.5 до 12.5 кГц, що дозволило збільшити робочу дальність до 7000 метрів (всенаправлений) та 10 000 метрів (направлений). Загальний вид даного гідроакустичного модема зображено на рис. 4.

Основні тактико-технічні характеристики гідроакустичного модему LinkQuest UWM 10000 наведені в таблиці 1.

Використовуючи дані про структуру акустичного поля (в частині розподілень тисків,

швидкостей та енергетичних характеристик) та ТТХ з таблиці 1, можна розрахувати енергетичну дальність дії ГАС кодового зв'язку і телеметрії по гідроакустичному інформаційному каналу, сформованому в умовах типової завадо-сигнальної обстановки мілкого моря при роботі пари «АПДКСА А9-М – НК».

Загальна характеристика задач поширення інформаційних повідомлень по гідроакустичному каналу при роботі з ПА

Значна більшість задач визначення акустичного поля в хвилеводах для різних типів граничних умов на їх поверхнях. Відповідно до [7; 8] присвячена ситуації роботи з монохроматичними джерелами, спектри яких наближаються до однокомпонентних. При цьому поле в хвилеводі (а саме, його модова просторово-часова структура скалярних та векторних характеристик у вертикальних перерізах хвильового каналу) визначалося інтерференцією певного набору нормальних хвиль з врахуванням типу джерела і його властивостей. До того ж, для однорідних хвиль при зростанні частоти в межах робочого діапазону частот, фазові швидкості нормальних хвиль монотонно зменшуються, а групові, відповідно, збільшуються асиметрично наближаючись до значення швидкості $c_c = 1500$ м/с.

Розвиток задач хвилеводного поширення звуку просувався шляхом подальшого застосування монохроматичних джерел канонічних типів малих хвильових розмірів [7; 8], а також нарощуванням складності граничних умов

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики гідроакустичного модему LinkQuest UWM 10000

Швидкість передачі RS-232	2500 біт/секунду
Швидкість передачі корисних даних	2000 біт/секунду
Акустичний зв'язок	5000 біт/секунду
Частота виникнення помилок	Менше ніж 10 ⁻⁹
Робоча дальність	7000 метрів (всенаправлений) 10 000 метрів (напрвлений)
Максимальна глибина	2000, 4000 або 7000 метрів
Ширина променя перетворювача	210 градусів (всенаправлений) 70 градусів (направлений)
Робоча частота	От 7,5 до 12,5 кГц
Вхідний буфер даних RS-232	900 кілобайт
Напруга	Від 18 до 28 вольт постійного струму
Робоча температура	від -5 до 45 °С
Довжина	580 мм
Діаметр корпусу	150 мм
Вага у воді	21 кг

(від акустично жорстких та м'яких до імпедансних з поглинанням акустичної енергії). Ускладнення торкнулися взаємодії звукових хвиль зі збуреною поверхнею моря, а також ревербераційних та рефракційних чинників.

Останнім часом все ширше розгортаються напрями досліджень імпульсних процесів при поширенні їх в ПЗК ХВ регулярного і нерегулярного типів при озвучуванні робочого простору імпульсними модульованими сигналами з різними типами модуляції.

Слід додати також, що сьогодні відбувається розвиток векторно-фазових підходів до визначення просторово-енергетичних можливостей пошукових телеметричних систем та їх складових.

Отже, за результатами аналізу сучасного стану розвитку засобів гідроакустичної телеметрії і пошукових підводних систем на їх основі, проблемним залишається питання підвищення швидкості передачі інформації і власне, формування підводного інформаційного каналу.

Таким чином, ключовим чинником, який забезпечує функціонування систем освітлення підводної обстановки в мілких морях, залишається канал поширення повідомлення, тобто ПЗК ХВ. Формування акустичного поля при цьому має відбуватися з врахуванням особливостей поширення імпульсних акустичних сигналів в робочому середовищі, яке представлено хвилеводом з ідеальними границями.

Як вихідні, в цьому напрямку вважаємо роботи академіка В.Т. Гринченка та вчених І.В. Вовка, В.В. Мелешка, О.Г. Лейка, В.Г. Савіна, В.Т. Маципури, І.А. Улитка та їх послідовників – А.А. Ярошенка, В.А. Лісютіна, О.Р. Ластовенка. Окремо відзначимо роботи В.С. Дідковського, С.А. Найди та О.В. Коржика.

При цьому ситуація руху імпульсного сигналу по регулярному плоскому хвилеводу

з ідеальними границями [11] вимагає подальшої деталізації.

Таким чином, процеси формування акустичного поля в регулярному хвилеводі при збудженні його двохчастотною імпульсною послідовністю при утворенні інформаційного гідроакустичного каналу абонентів системи «НК– ПА» ПЗК ХВ є об'єктом дослідження. Предметом досліджень вважатимемо набір частотних залежностей та просторово – часових розподілень таких характеристик акустичного поля як акустичний тиск та енергетичні характеристики.

Висновки

В результаті аналізу сучасного стану роботи та експлуатації пошукових роботизованих систем і комплексів слід зауважити, що однією з основних проблем створення пошукових роботизованих комплексів у морській практиці є питання моделювання і формування інформаційного гідроакустичного каналу (а сам, його найважливішої частини – ПЗК ХВ).

Для досягнення мети роботи передбачається:

- 1) виявлення і дослідження особливостей формування скалярних і векторних полів в хвилеводах;
- 2) рішення проблеми «групової швидкості»;
- 3) визначення швидкості передачі даних (повідомлення) в умовах стандартної заводо-сигнальної обстановки;
- 4) вивчення розподілення в ПЗК ХВ імпедансних залежностей;
- 5) вплив розподілень скалярних і векторних характеристик акустичного поля в робочому середовищі на дальність дії пошукової системи.

При проведенні розрахунків і аналізі отриманих результаті застосовуються ТТХ ПА та НК, як типових представників підводних комплексів свого технічного призначення.

Література:

1. Дерепя А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я. Основи військово-технічних досліджень. Теорія і програми : монографія під ред. А.В. Дерепи. В 8 т. Т. 8. Комплексна система «гідроакустичного озброєння – надводний корабель». Проблемні аспекти системи «гідроакустична станція – надводний корабель» з антенами змінної глибини. Київ: І.Д. Дмитра Бураго, 2016. 400 с.
2. Бочаров Л.Л. Безлюдні підводні апарати: стан та загальні тенденції розвитку. Мікроробототехніка – Електроніка. *Наука, технологія, бізнес*. 2009. № 7. С. 62–93.
3. Євтютов А.П. Довідник по гідроакустиці. Л. *Суднобудування*. 1988. 552 с.
4. Ковзель Д.Г. Технічні засоби гідроакустичного моніторингу сейсморозвідувальних робіт на шельфі. *Акустичний журнал. Фізичні основи технічної акустики*. 2018. Том 64. № 5. С. 605–617.

5. Бойко А. Каталог військово роботизованих апаратів. Підводні роботи. <http://robotrends.ru/robopeedia/podvodnye-voennye-robotizirovannye-apparatu> (дата звернення: 15.07.2018).
6. Бойко А. Каталог підводних роботів. <http://robotrends.ru/robopeedia/katalog-podvodnyh-robotov> (дата звернення: 19.07.2019).
7. Кацнельсон Б.Г. Акустика мілкого моря / Б.Г. Кацнельсон, В.Г. Петніков. Наука, 2011. 105 с.
8. Карновський М.І. Розповсюдження звуку у хвильових каналах : метод. посіб. М.І. Карновський. Київ : Вид. КПІ. 1981. 30 с.
9. Булана М.О., Вовк І.В., Грінченко В.Т., Маципура В.Т. Акустичний вісник. 2008. Том 11. № 4. С. 9–23.

References:

1. Derepa A.V., Leiko A.G., Melenko Y.J. (2016). Osnovy viiskovo-tekhnichnykh doslidzhen. Teoriia i prohramy. Monohrafiia v 8 t. T. 8. Kompleksna systema “hidroakustychnoho ozbroiennia – nadvodnyi korabel”. Problemni aspekty systemy “hidroakustychna stantsiia – nadvodnyi korabel” z antenamy zminnoi hlybyny [The basics of military-technical research. Theory and application. Monography in 8 vols. Vol. 8. Complex system “hydroacoustic operation – surface ship”. Problematic aspects of the system “hydroacoustic station – surface ship” with antennas of variable depth]. Kyiv : ID Dmitriya Burago. 400 p. [in Ukrainian].
2. Bocharov L. L. (2009). Bezliudni pidvodni aparaty: stan ta zahalni tendentsii rozvytku [Unbroken double devices: the state and general trends of development]. Microrobotics – Electronic. *Science, Technology, Business*. № 7. P. 62–93 [in Ukrainian].
3. Evtyutov A. P. (1988). Dovidnyk po hidroakustytsi [Caseworker on hydroacoustics]. L. *Shipbuilding*. 552 p. [in Ukrainian].
4. Kovzel D. G. (2018). Tekhnichni zasoby hidroakustychnoho monitorynhu seismorozvidualnykh robit na shelfi [Technical resources of hydroacoustichow monitoringa seismorozvedochnykh work on the shelf]. *Acoustic journal. Physical bases of technical acoustics*. Vol. 64. No. 5. P. 605–617 [in Ukrainian].
5. Boyko A. (2018). Kataloh viiskovo robotyzovanykh aparativ. Pidvodni roboty [Catalog of military robotic equipment. Podvodnye roboty]. Retrieved from: <http://robotrends.ru/robopeedia/podvodnye-voennye-robotizirovannye-apparaty>. (accessed: 15.07.2018).
6. Boyko A. (2019). Kataloh pidvodnykh robotiv [Catalog of underwater robots]. Retrieved from: <http://robotrends.ru/robopeedia/katalog-podvodnyh-robotov>. (accessed: 19.07.2019).
7. Katsnelson B. G. (2011). Akustyka milkoho moria [Acoustics of the small sea]. Nauka. 105 pp. [in Ukrainian]
8. Karnovskyi M. I. (1981). Rozpovsiudzhennia zvuku u khvylovykh kanalakh : metod. posib. [Distribution of sound in wave channels: method. accomplice]. Kyiv : KPI. 30 p. [in Ukrainian].
9. Bulana M.O., Vovk I.V., Hrinchenko V.T., Matsypura V.T. (2008). Akustychnyi visnyk [Acoustic herald]. Vol. 11. No 4. P. 9–23. [in Ukrainian].