

АНОТАЦІЯ

Курдюк С.В. Особливості формування інформаційного гідроакустичного каналу в мілкому морі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 «Електроніка». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021

Дисертаційна робота присвячена дослідженню особливостей формування інформаційного гідроакустичного каналу пошукової системи “ПІДВОДНИЙ АПАРАТ – НАДВОДНИЙ КОРАБЕЛЬ” (“ПА – НК”) при поширенні інформаційного повідомлення в підводному звуковому хвилеводі, яким представлено мілке море.

До виконання роботи були залучені комплексні відомості і наукові результати з суміжних областей: вищої математики, фізики, інформатики і акустики. При цьому в дисертації вперше отримано такі наукові результати:

1. Надано широкий актуальний огляд сучасних напрямків досліджень з області морського приладобудування в частині використання робототехнічних технологій із залученням підводних автономних апаратів при проведенні пошукових підводних робіт.

2. Визначені, розраховані та показані особливості основних характеристик інформаційного гідроакустичного каналу, представленого підводним хвилеводом з ідеальними границями при роботі з сигналами, які подані хвильовим пакетом .

3. Вперше сформульована та розв’язана “проблема групової швидкості” для мілких морів, а також визначена, розрахована і показана мінливість швидкості поширення сигналу (ШПС) в підводному звуковому каналі (ПЗК) в залежності від частоти і координати.

4. Вперше аналітично розвинуті математичні та фізичні передумови виникнення локальних областей типу особливих точок (“вихор”, “сідло”)

векторного поля інтенсивності в плоскопаралельномухвилеводі з ідеальними границями.

5. Вперше показано просторово-часові залежності питомого імпедансу та його складових при озвучуванні робочого простору двохчастотним сигналом.

6. Вперше показано збіг теоретичних результатів щодо динаміки поведінки імпульсного(за тиском) повідомлення (хвильового пакету) під час поширення в районі пошукових робіт та врахування завадо-сигнальної обстановки в частині визначення ймовірності бітової помилки та залучення ймовірнісних критеріїв Неймана-Пірсона.

7. Вперше запропоновано методологію врахування комплексного впливу на енергетичну дальність дії гідроакустичних засобів (ГАЗ) просторових розподілень скалярних і векторних характеристик акустичного поля (тисків, швидкостей, інтенсивностей та імпедансів).

8. Вперше отримано співпадіння теоретичних результатів та результатів морського натурного експерименту для системи “ПА – НК” при роботі абонентів узаданих умовах мілкого моря.

Практична значимість роботи полягає в подальшому розвитку прикладних аспектів фізики мілких морів, впровадженні результатів досліджень в теорію і практику створення робототехнічних телеметричних систем і систем звукопідводного зв'язку, а також у висвітленні особливостей формування акустичного поля при створенні нових моделей представлень та експлуатації інформаційних каналів під час проведення прикладних пошукових, картографічних, дослідницьких та інших видів підводних робіт.

Основний зміст дисертаційної роботи викладено в п'яти розділах та двох додатках

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та визначено коло задач дослідження, описано методи дослідження, надана інформація про наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Мета роботи полягає у розвитку існуючих і розробці перспективних модельних постановок та розв'язків задач формування

акустичного поля в інформаційних гідроакустичних каналах, які забезпечують зв'язок абонентів системи “НК – ПА”.

Перший розділ роботи присвячено 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 (ТТХ) ПІДВОДНОГО АПАРАТУ (ПА) 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.

Таким чином, в результаті опрацювання широкого кола інформаційних джерел, визначено, що розгляду і розробці підлягає методологія дослідження особливостей формування інформаційного гідроакустичного каналу автономної системи телеметрії і кодового зв'язку системи “НК – ПА” в мілкому морі.

При цьому мають бути враховані особливості формування акустичного поля в умовах мілкого моря при збуренні середовища каналу “НК – ПА” різночастотними сигналами та врахуванням особливостей розподілень скалярних і векторних характеристик акустичного поля.

У другому розділі поставлено і визначено основні вихідні співвідношення задачі формування поля акустичного тиску в інформаційному каналі.

Обрано складний сигнал – повідомлення та визначено швидкість передачі комунікаційних повідомлень. Описано ефекти деформації хвильового пакету. Розглянуто “проблему групової швидкості” та розраховано частотні залежності швидкості поширення сигналу для ситуації двохчастотного збудження хвилеводу.

Третій розділ роботи присвячено питанням створення векторного поля інтенсивності у хвилеводному каналі, надані математичні і фізичні передумови виникнення вихорових та сідлових структур, приведено їх координатні залежності.

Четвертий розділ містить результати дослідження імпедансних характеристик хвилеводу. Крім того, з'ясовано ситуацію просторової та частотної залежності питомого імпедансу робочої області для комбінаційних та акустично м'яких границь при двохчастотному збуренні хвилеводу.

П'ятий розділ присвячено проведенню експериментальних досліджень, які відбувалися шляхом натурного морського експерименту. При цьому режими маневрування виконувалися абонентами, ТТХ яких відповідали заявленим в розділі I вихідним даним, на підставі яких здійснювався розрахунок енергетичної дальності дії по інформаційному гідроакустичному каналу.

Ключові слова: інформаційний гідроакустичний канал, підводний, хвильовий пакет, скалярні, векторні характеристики, акустичне поле, імпеданси, частотні характеристики.

SUMMARY

S.Kurdyuk. Specialties of the formation of an information hydroacoustic channel in the shallow sea. Qualification scientific work on a manuscript basis.

The thesis for PhD`s degree in specialty 171 "Electronics". – The National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis is dedicated to the study of the UNDERWATER VEHICLE – SURFACE SHIP search engine`s information hydroacoustic channel formation specialties provided the information message is propagated through the underwater sound waveguide represented by the shallow sea.

Complex information and scientific results from related areas (higher mathematics, physics, computer science and acoustics) have been implemented in the course of the work resulting in the outcomes achieved first as follow:

1. A broad up-to-date review of modern research areas in the field of marine instrument engineering in terms of the use of robotic technologies which presuppose the involvement of autonomous underwater vehicles for the purpose of conducting underwater search operations has been provided.

2. The main characteristic features of the information hydroacoustic channel, represented by an ideal boundary underwater waveguide for wave packet signals, have been determined, calculated, and demonstrated.

3. The "group velocity problem" for shallow seas has been formulated and solved as well as the signal propagation velocity variation in a deep-sound channel depending on the frequency and coordinates has been determined, calculated and demonstrated.

4. Mathematical and physical premises for the emergence of local domains such as intensity vector field special points "curl" and "saddle" in an ideal boundary parallel-plate waveguide have been analytically elaborated.

5. Spatio-temporal dependences of the specific impedance and its components provided the workspace is insonified with a double-frequency signal have been represented.

6. The coincidence of theoretical results on the acoustic pressuredynamics of the pulse message (wave packet) propagated in the search operation areawhile considering the noise interference has been demonstrated in terms of defining the bit error probability with the use of Neumann-Pearson`sprobability criteria.

7. The methodology to define the integrated effectof spatial distributions of the acoustic field scalar and vector characteristics (pressures, speeds, intensities and impedances) on the energy range of hydroacousticequipmenthas beenintroduced.

8. Thecoincidence of theoretical results withfull-scale maritime experiment results for the UNDERWATER VEHICLE – SURFACE SHIPsystem in the specified operation conditions of the shallow seahas been obtained.

The practical significance of the work lies in the further development of applied aspects of shallow sea physics, introduction of research results into the theory and practice of designing robotic telemetry and sound supplysystems, as well as highlighting the acoustic field formation specialtiesin the course of creating newpresentation andoperation models of information channels while conducting applied search, cartographic, exploratoryandother underwater works.

The main content of thethesis is set out in five sections and two annexes.

The introduction substantiates the relevance of the thesis, formulates the purpose and defines the range of the research tasks, describes the research methods, and provides information about the scientific novelty and practical significance of the results achieved. The purpose of the work is to improve existing and develop perspective acoustic field formation model constructions and problem solution algorithms in information hydroacoustic channels to ensure communication among the UNDERWATER VEHICLE – SURFACE SHIP systemsubscribers.

The first section of the work is dedicated to the review of the latest publicationson the development of underwater robotics, existing modern underwater vehicles, organization ofinformation channels for subscribers of different classes, and modern approachesto the formation of acoustic fieldsin the waveguidesbeing disturbedby pulsesignals.The section also describes the main performance characteristics of the UNDERWATER VEHICLE and the ascertained organization principles of information exchange processesas 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.

Thus, as a result of processing a wide range of information sources, it has been determined that the information hydroacoustic channel formation research methodology within the framework of autonomous telemetry and code communications system of the UNDERWATER VEHICLE – SURFACE SHIP system in the shallow sea must be subjected to consideration and development.

At the same time, the acoustic field formation specialties in the shallow sea must be considered on the subject of specific distributions of acoustic field scalar and vector characteristics provided the UNDERWATER VEHICLE – SURFACE SHIP channel environment is disturbed by various frequency signals.

The main output ratios for the problem of acoustic pressure field formation in the information channel has been determined in the second section.

A compound message signal has been selected and the speed of communication messages has been determined. The wave packet deformation effects have been described. The "group velocity problem" has been considered and the signal propagation rate frequency dependences have been calculated in case of dual-frequency wave excitation.

The third section is dedicated to the issue of intensity vector field formation in the waveguide channel in regard to the mathematical and physical prerequisites for the emergence of "curl" and "saddle" structures with defining their coordinate dependences.

The fourth section contains research results of the waveguide impedance characteristics. In addition, it clarifies the spatial and frequency dependences of the workspace specific impedance for combinational and acoustically soft boundaries in case of dual-frequency wave excitation.

The fifth section is dedicated to experimental researches that have taken place by means of a full-scale maritime experiment. At the same time, the maneuvering modes have been carried out by the subscribers whose performance characteristics correspond to the data having been set out in section 1 and served as the basis for the information hydroacoustic channel operation energy range calculation.

Keywords: information hydroacousticchannel, underwater, wave packet, scalar/ vector characteristics, acoustic field, impedance, frequency characteristics.

Список публікацій здобувача

1. Starovoit Y.I., Kurdiuk S.V., Leiko O.H. Фізичні поля циліндричних гідроакустичних антен з екраном і циліндричними п'єзокерамічними випромінювачами з радіальною поляризацією. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, 2018 рік, Т23, №1. С.30-35, DOI: 10.20535/2523-4455.2018.23.1.99725. ISSN 2523-4447.
2. Korzhyk M.O., Kurdiuk S.V., Korzhyk O.V. Імпедансні характеристики пласко-паралельного акустичного хвилеводу з комбінованими границями при порушенні його двохчастотним сигналом. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, 2018 рік, Т23, №3. С.65-72, DOI: 10.20535/2523-4455.2018.23.3.135928. ISSN 2523-4447.
3. Korzhyk M.O., Kurdiuk S.V., Korzhyk O.V. Імпедансні характеристики пласко-паралельного акустичного хвилеводу з акустично м'якими границями при збудженні його двохчастотним сигналом. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, 2018 рік, Т23 №4. С.65-72, DOI: 10.20535/2523-4455.2018.23.4.137528. ISSN 2523-4447.
4. Korzhyk O.V, Didkovskiy V.S, Kurdiuk S.V., Pavlenko O.I. On the Formation of Field of Sound Intensity in the Shallow Sea Conditions. *CONFERENCE PROCEEDINGS, 2019 IEEE 39th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO)*, 2019 рік. С.626-630. DOI:10.1109/ELNANO47215.2019. IEEE CatalogNumber: CFP1905U-ART ISBN: 978-1-7281-2065-2.
5. Korzhyk O.V, Didkovskiy V.S, Kurdiuk S.V., Pavlenko O.I. Features of the Dual-Frequency Acoustic Signal Velocity in the Shallow Sea. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*. Vol 16 No 2 2019, P.96-105. IEEE Catalog Number: CFP1905U-ART, ISSN 1584-7284.
6. Didkovskiy V.S., Korzhyk O.V., Naida S.A., Kurdiuk S.V, Nizhynska V.O. About Peculiarities of Restricting the Energy Range of Action of Communication Underwater Systems in the Shallow Sea. *CONFERENCE PROCEEDINGS, 2020 IEEE 40th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO)*, (ELNANO), 2020. P.723-727. IEEE Catalog Number: CFP2005U-ART ISBN: 978-1-7281-9713-5.

7. Вовк О.І. Щепцов О.В., Курдюк С.В. Моделювання функціонування НРЛС при виявленні малопомітних цілей в умовах завадою. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2020 рік, Т2, стор 20-27. DOI: 10.20998/2078-5364.2020.2.03. ISSN2078-5364.
8. Коржик О.В., Чайка О. С., Ніжинська В. В., Богданова Н. В., Позднякова О. М., Курдюк С. В. До питання розв'язку задачі випромінення звуку сферою в обмежених рідинних просторах хвилеводного типу. *Озброєння та військова техніка*. 2020 рік, Т3(27), С.85-94. DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.3\(27\).85-94](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.3(27).85-94). ISSN 2414-0651.
9. Kurdiuk S.V., Korzhyk O.V., Naida S.A., Kurdiuk S.V, Nizhynska V.O., Korzhyk M.O., Naida A.S. «USE OF THE PASS-THROUGH METHOD TO SOLVE SOUND RADIATION PROBLEMS OF A SPHERICAL ELECTRO-ELASTIC SOURCE OF ZERO ORDER». *Fundamental and applied physics*. 2021 No5. P 133-146, DOI:10.21303/2461-4262.2021.001292. ISSN2461-4262(Online), ISSN2461-4254(Print).