



**Andrii
M. Voitasyk**
Войтасик
Андрій
Миколайович

УДК 629.58

DEVELOPMENT OF THE POWER SUPPLY SYSTEM FOR THE CABLE WINCH OF THE RADIO-HYDROACOUSTIC BUOY

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КАБЕЛЬНОЇ ЛЕБІДКИ РАДІОГІДРОАКУСТИЧНОГО БУЯ**

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2024.1\(18\).04](https://doi.org/10.15589/smi2024.1(18).04)

Andrii M. Voitasyk

Войтасик Андрій Миколайович,
канд. техн. наук
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9409-6108

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв*

Abstract. *Aim.* Development and design of the power supply system of the cable winch of the radio-hydroacoustic buoy, which is capable of ensuring its autonomous operation at installation sea depths of up to 60 m. *Methodology.* As part of the research, the method of complex modeling was used to build 3D models of the structure of the cable winch power supply system and all the executive equipment that is proposed to be used in its composition, the method of empirical description of technological processes to substantiate and explain the peculiarities of the organization of the cable winch control system and ensure the tightness of battery assemblies at operation underwater at depths of up to 60 m, a method of conducting an experiment to certify the functional capabilities of the product. *Results.* Based on the use of a cable winch control module, an electric motor, two batteries control modules, two batteries, a charger and their 3D model, a cable winch power supply system was developed for the purpose of its further operation as part of an autonomous radio-hydroacoustic station, which is involved in the operational monitoring of marine borders of Ukraine. The functioning of the product is ensured by the use of 32120P lithium-iron phosphate cells, which allow creating a battery power source of the power supply system of the cable winch with a nominal constant supply voltage of 48V and a capacity of 32 A·h. *Scientific novelty.* The method of ensuring the transmission of information from an autonomous radio-hydroacoustic station during monitoring of the marine underwater situation at depths of up to 60 m, which uses a radio-hydroacoustic buoy fixed by a cable-cable connection with an electric cable winch, and at the same time allows changing the depth of the buoy's positioning relative to the water surface, has received further development taking into account the direction of rotation of the cable winch drum. The principle of automatic control was further developed in connection with the development of the power supply of the cable winch of the radio-hydroacoustic buoy using an autonomous power source, which made it possible to ensure the necessary autonomy of the system's functioning and to choose the desired positioning depth of the radio-hydroacoustic buoy while respecting the sea conditions of location. *Practical significance.* The developed power supply system for the cable winch of the radio-hydroacoustic buoy is designed to implement the possibility of changing the depth of the buoy immersion in accordance with the direction of rotation of the cable winch drum and is able to ensure its autonomous operation for 13 h 24 min at 10 % use of the maximum power of the electric drive and under conditions of moderate sea surface turbulence and current speed at

0.15 m/s. The power supply system is designed in a cylindrical design in order to place it in two strong cases of the bottom autonomous radio-hydroacoustic station installed on the seabed at a depth of 60 m. The use of the power supply system of the cable winch of the radio-hydroacoustic buoy allows you to effectively and safely use the electric energy of the battery power sources for the bottom station and the automatic operation of the electric drive mechanism for changing the etched part of the communication cable-cable with a diameter of 7.5 mm and a length of 170 m. A CAN control interface using a standardized brushless DC motor control module and a microcontroller is used to automatically operate the cable winch.

Key words: ocean engineering; tethered underwater systems; hydroacoustics; cable winch; battery.

Анотація. *Мета.* Розробка та проектування системи енергозабезпечення кабельної лебідки радіогідроакустичного буя, яка здатна забезпечити її автономну роботу при морських глибинах установки до 60 м. *Методика.* В рамках дослідження використано метод комплексного моделювання для побудови 3D-моделей конструкції системи енергозабезпечення кабельної лебідки та всього виконавчого обладнання, яке запропоновано застосувати у його складі, метод емпіричного опису технологічних процесів для обґрунтування та пояснення особливостей функціонування системи керування кабельною лебідкою і забезпечення герметичності збірок акумуляторних батарей при експлуатації під водою на глибинах до 60 м, метод проведення експерименту для засвідчення функціональних можливостей виробу. *Результати.* На базі використання модуля керування кабельної лебідки, електродвигуна, двох модулів керування акумуляторними батареями, двох акумуляторних батарей, зарядного пристрою та їх 3D-компонування, розроблено систему енергоживлення кабельної лебідки з метою подальшої її експлуатації у складі автономної радіогідроакустичної станції, яка залучена до проведення оперативного моніторингу морських кордонів України. Функціонування виробу забезпечується застосуванням літій-залізофосфатних елементів типорозміру 32120P, які дозволяють створити акумуляторне джерело живлення системи енергозабезпечення кабельної лебідки з номінальною напругою постійного живлення 48В та ємністю 32 А·год. *Наукова новизна.* Отримав подальший розвиток метод забезпечення передачі інформації від автономної радіогідроакустичної станції при реалізації моніторингу морської підводної обстановки на глибинах до 60 м, який використовує радіогідроакустичний буй закріплений кабель-тросовим зв'язком з електроприводною кабельною лебідкою, і водночас дає змогу змінювати глибину позиціонування буя відносно водної поверхні з урахуванням напрямку обертання барабану кабельної-лебідки. Отримав подальший розвиток принцип автоматичного керування пов'язаний з розробкою енергозабезпечення кабельної лебідки радіогідроакустичного буя з використанням автономного джерела живлення, що дало змогу забезпечити необхідну автономність функціонування системи та вибирати бажану глибину позиціонування радіогідроакустичного буя з урахуванням морських умов розташування. *Практична значимість.* Розроблена система енергозабезпечення кабельної лебідки радіогідроакустичного буя призначена для реалізації можливості зміни глибини занурення буя узгоджено до напрямку обертання барабану кабельної лебідки і здатна забезпечити її автономну роботу протягом 13 год 24 хв при 10 % використанні максимальної потужності електропривода та за умов помірного хвилювання морської поверхні і швидкості течії у 0,15 м/с. Система енергозабезпечення спроектована у циліндричному виконанні з метою її розміщення в двох міцних корпусах донної автономної радіогідроакустичної станції встановленої на морському дні глибиною 60 м. Застосування системи енергоживлення кабельної лебідки радіогідроакустичного буя дозволяє ефективно та безпечно використовувати електричну енергію акумуляторних джерел живлення для донної станції та автоматичної роботи електроприводного механізму зміни витравленої частини кабель-тросу зв'язку діаметром 7,5 мм та довжиною 170 м. Для автоматичної роботи кабельної лебідки задіяно CAN інтерфейс керування з застосуванням стандартизованого модуля керування безколекторним двигуном постійного струму та мікроконтролера.

Ключові слова: океанотехніка; прив'язні підводні системи; гідроакустика; кабельна лебідка; акумуляторна батарея.

References

- [1] Bosilca Ruxandra-Laura (2016). The use of satellite technologies for maritime surveillance: an overview of EU initiatives. *Incas Bulletin*. No. 8(1). pp. 151–161. DOI: 10.13111/2066-8201.2016.8.1.14.
- [2] Denis Eckert (2018). L'Ukraine ou les contours incertains d'un Etat européen [Ukraine or the uncertain contours of a European state]. *L'Espace Politique*. No. 33(33). DOI: 10.4000/espacepolitique.4411.
- [3] Lavanya, T., Kavitha Subramani, Vinmathi, M.S., Murugavalli, S. (2020). International water border detection system for maritime navigation. *Emerging trends in computing and expert technology*. DOI: 10.1007/978-3-030-32150-5_6.
- [4] Miro Petković, Igor Vujović (2023). Distance estimation approach for maritime traffic surveillance using instance segmentation. *Journal of marine science and engineering*. No. 12(1). pp. 78. DOI: 10.3390/jmse12010078.
- [5] Jiping Yao, Shanzhu Xiao, Qiuqun Deng, Gongjian Wen, Huamin Tao, Jinming Du (2023). An infrared maritime small target detection algorithm based on semantic, detail, and edge multidimensional information fusion. *Remote sensing*. No. 15(20). DOI: 10.3390/rs15204909
- [6] Thiansiri Luangwilai (2023). Improving maritime security via automated navigational monitoring. *Contemporary issues in air and space power*. No. 1. DOI: 10.58930/bp31180108.
- [7] Saziye Ozge Atik (2023). Determination of Black sea coastline length with oblique stereographic projection using affine transformation. *International journal of environment and geoinformatics*. DOI: 10.30897/ijgeo.1399910.
- [8] Vakhtang Maisaia (2024). The Black sea regional security and geostrategy balance: a “new cold war” scenario. *Przegląd Strategiczny*. DOI: 10.14746/ps.2023.1.10.
- [9] Sakshi Sawant. Underwater image restoration system (2023). *International journal for research in applied science and engineering technology*. No. 11(12). pp. 175–177. DOI: 10.22214/ijraset.2023.57286.
- [10] Buyiyi Wang, Yiyin Wang, Yichen Li, & Xinping Guan (2023). Underwater acoustic communications based on OCDM for internet of underwater things. *IEEE Internet of things journal*. No. 99. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3304488.
- [11] Yudong Wang, Jichang Guo, Wanru He, Huan Gao, Huihui Yue, Zenan Zhang, & Chongyi Li (2024). Is underwater image enhancement all object detectors need? *IEEE Journal of oceanic engineering*. No. 99. pp. 1-16. DOI: 10.1109/JOE.2023.3302888.
- [12] Yuanchang Liu, Enrico Anderlini, Shuwu Wang, Song Ma, & Zitian Ding (2022). Ocean explorations using autonomy: technologies, strategies and applications. *Offshore robotics*. DOI: 10.1007/978-981-16-2078-2_2.
- [13] Hao Wang, & Nanfeng Xiao (2023). Underwater object detection method based on improved faster RCNN. *Applied sciences*. No. 13(4). pp. 2746. DOI: 10.3390/app13042746.
- [14] Raji Alahmad, Kazuo Ishii, Yuya Nishida, Yuki Fukumoto, & Tohlu Matsushima (2023). Experimental study of underwater RF communication for live video transmission for AUVs application. *Journal of robotics networking and artificial life*. No. 10(1). pp. 84–90. DOI: 10.57417/jrnal.10.1_84.
- [15] Jiajie Xu, Mustafa Kishk, Qunfei Zhang, & Mohamed-Slim Alouini (2023). Three-hop underwater wireless communications: a novel relay deployment technique. *IEEE Internet of things journal*. No. 99. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3262949.
- [16] Rongyang Zhao, Zhongqiang Yang, Songwei Ge, Mingjuan Wang, & Yazhou Wang (2023). An average speed of sound method for underwater positioning based on time of arrival. *Journal of physics conference series*. No. 2638(1). DOI: 10.1088/1742-6596/2638/1/012010.
- [17] Shan, R., Dong, L.Y., Du, K., Yu, D.S., Li, Y., & Mei, S. (2019). Application of ultra-short baseline positioning system to deep towing operation. *Marine geology frontiers*. No. 35(09). pp. 29–35. DOI: 10.16028/j.1009-2722.2019.09006.
- [18] Nan, D., & Li, Z.H. (2019). High-precision acoustic localization of underwater target for mobile platform using ultra-short baseline array. *Acta Acustica*. No. 44(04). pp. 534–544. DOI: 10.15949/j.cnki.0371-0025.2019.04.014.

- [19] Xie, L., Wang, L.J., & Lin, W.S. (2021). Localization of underwater sound source using the characteristics of pulse cluster signal arrivals in deep sea. *Acta acustica*. No. 46(02). pp. 171–181. DOI:10.15949/j.cnki.0371-0025.2021.02.002.
- [20] Voitasyk, A.M. (2015). Pidvodna robotyzovana tekhnolohiia ustanovky korysnoho vantazhu na morske dno [The robotized underwater technology for the installation of a useful cargo onto sea bottom]. *Pidvodna tekhnika i tekhnolohii*. Mykolaiv: NUK, No. 2, pp. 38–41 [in Ukrainian].
- [21] Blintsov, V.S., & Voitasyk, A.M. (2016). Pidvodna robotyzovana tekhnolohiia ustanovky korysnoho vantazhu na morske dno [The robotized underwater technology for the installation of a useful cargo onto sea bottom]. *Pidvodni tekhnolohii. Promyslova ta tsyvilna inzheneriia*, No. 4, pp. 50–59 [in Ukrainian].
- [22] Ning, J.S., Wu, Y.T., & Sun, D.J. (2014). The development of LBL acoustic positioning system and its application. *Hydrographic surveying and charting*. No. 34(01). pp. 72–75. DOI: CNKI:SUN:HYCH.0.2014-01-023.
- [23] Shi, G.X., Yan, S.F., Hao, C.P., Hou, C.H., & Liu, Y. (2019). Target tracking algorithm for underwater ranges-only long baseline system with incomplete measurements. *Acta Acustica*. No. 44(04). pp. 480–490. DOI: 10.15949/j.cnki.0371-0025.2019.04.009.
- [24] Cheng, Y., Zhao, J.B., Li, J., & Cao, Y.S. (2020). Underwater long baseline navigation strategy based on adaptive filtering algorithm. *Ship science and technology*. No. 42(23). pp. 106–110. DOI: CNKI:SUN:JCKX.0.2020-23-022.

Постановка завдання. Автономна радіогідроакустична станція (АРГАС) – це сукупність схематично і конструктивно поєднаних акустичних, електричних і електронних пристроїв та приладів за допомогою яких здійснюється прийом або випромінювання, чи прийом та випромінювання акустичних коливань у воді. У складі АРГАС знаходиться радіогідроакустичний буй (РГАБ) призначення якого прийом та ретрансляція по радіоканалу отриманих гідроакустичних сигналів.

Застосування кабельної лебідки (КЛ) на морському дні має ряд особливостей. Перебуваючи на дні, КЛ разом з усіма елементами електрообладнання АРГАС потребує автономного джерела живлення. Оскільки станція немає електричних зв'язків з судном-носієм (СН) та береговими постами, наявність такого джерела має забезпечувати можливість безпечного застосування всіх електричних споживачів АРГАС. Велике значення в цьому питанні приділено вибору джерела живлення.

Наразі найбільш перспективним рішенням вважається розробка системи енергозабезпечення КЛ та всіх компонентів АРГАС в цілому при застосуванні літій-залізофосфатних батарей. При цьому автономність системи енергозабезпечення КЛ буде залежати не лише від кількості скомпонованих

батарей у єдине джерело живлення, але і від їх однотипності та ємності.

Тому набуває актуальності задача розробки та проектування системи енергозабезпечення КЛ РГАБ, яка здатна забезпечити її автономну роботу при морських глибинах установки до 60 м.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забезпечення постійного оперативного моніторингу морських кордонів є ключовим завданням оборони України та передбачає використання різноманітних гідроакустичних засобів, включаючи стаціонарні, рубіжні та автономні системи [1, 2, 3].

Стаціонарні гідроакустичні комплекси мають надавати велику точність та ефективність у виявленні, розпізнаванні, відстеженні та класифікації підводних човнів середньої водотоннажності на відстані не менше 150 км [4, 5, 6].

Рубіжні гідроакустичні системи відіграють важливу роль у захисті підходів до північно-західної частини Чорного моря, входів у порти, бази та важливих морських об'єктів [7, 8]. Вони повинні забезпечувати виявлення, розпізнавання, відстеження та класифікацію підводних об'єктів, включаючи надмалі підводні човни та диверсійні сили [9, 10, 11].

Автономні гідроакустичні комплекси розглядаються як необхідний елемент сис-

теми моніторингу, спроможний працювати в глибоководних районах моря, які не охоплюються іншими засобами [12, 13]. Вони можуть бути встановлені на різних типах суден, включаючи надводні, підводні та безпілотники, та передавати інформацію на берег через різні канали зв'язку, забезпечуючи високий рівень ефективності та оперативності системи моніторингу морських просторів [14, 15, 16].

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Призначення АРГАС – це виявлення, слідкування та визначення місця знаходження надводних суден, підводних човнів та плавців [17, 18, 19]. Відповідно стандартної комплектації до складу АРГАС входить: модуль-1, що містить активну гідроакустичну станцію (ГАС); кабель зв'язку (КЗ); модуль-2: джерело живлення (ДЖ) модуля-1; ДЖ КЛ; КЛ з приводом та кабелем; блок проміжної плавучості (ПП); РГАБ.

У роботі запропоновано реалізувати автономну роботу системи енергозабезпечення КЛ РГАБ з використанням способу постановки за допомогою блоку ПП КТ. При такому способі постановки довжина КТ РГАБ буде залежати від глибини занурення блоку ПП та впливу зовнішніх сил, що впливають на корпус РГАБ. Довжина ж кабелю-тросу (КТ), що йде від блоку ПП до платформи, буде залежати від глибини місця постановки.

Відмінною особливістю в представленій статі є реалізація системи енергозабезпечення КЛ РГАБ до складу якої входять: зарядний пристрій, два модулі керування акумуляторними батареями, модуль керування кабельною лебідкою, електродвигун, дві акумуляторні батареї. Прийняті технічні рішення надають можливість гарантувати безпечну та автоматичну роботу КЛ РГАБ з достатньою довжиною КТ у 170 м з урахування характеру вітру та глибини місця установки станції на морське дно у 60 м.

Метою дослідження є розробка та проектування системи енергозабезпечення КЛ РГАБ, яка здатна забезпечити її автономну роботу при морських глибинах установки до 60 м.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі використано наступні **методи дослідження**: метод системного аналізу для визначення взаємозв'язків між елементами енергозабезпечення та визначення способу його реалізації; метод графічного комп'ютерного моделювання для створення 3D-моделей складових елементів електро-механічного обладнання системи; метод аналітичного рішення алгебраїчних рівнянь для проведення розрахунків автономності системи енергозабезпечення.

В якості **об'єкта дослідження** обрано технологічні процеси, які здатна реалізовувати система енергозабезпечення КЛ РГАБ до складу якої входять: зарядний пристрій, два модулі керування акумуляторними батареями, модуль керування кабельною лебідкою, електродвигун, дві акумуляторні батареї.

Предметом дослідження є моделі та методи аналізу для запровадження автономної роботи системи енергозабезпечення КЛ РГАБ, розробка та реалізація структурної схеми енергозабезпечення виробу, узгодження комунікації та сумісності застосованого обладнання, створення 3D-моделей складових елементів обладнання та загальної конструкції збірок акумуляторних батарей.

Основний матеріал. Розгортання або згортання складових частин АРГАС після транспортування та установки на морське дно запропоновано виконувати з залученням вантажного самохідного підводного носія (ВСПН) [20, 21].

При цьому установка АРГАС має бути реалізована відповідно до схеми, представленій на рис. 1.

В цьому випадку нижній кінець РГАБ кріпиться до блоку ПП, зануреного на таку глибину, де шар води практично не випробовує впливи поверхневого вітрового хвилювання. Блок ПП, що виконує функцію якоря для РГАБ, встановлюється на сталевому КТ.

Радіус циркуляції буя виразиться залежністю

$$r = r_1 + r_2,$$

де: r – радіус циркуляції буя, м; r_1 – радіус циркуляції ПП при відхиленні її троса на

кут α від вертикалі, м; r_2 – радіус циркуляції РГАБ щодо проміжної плавучості, м.

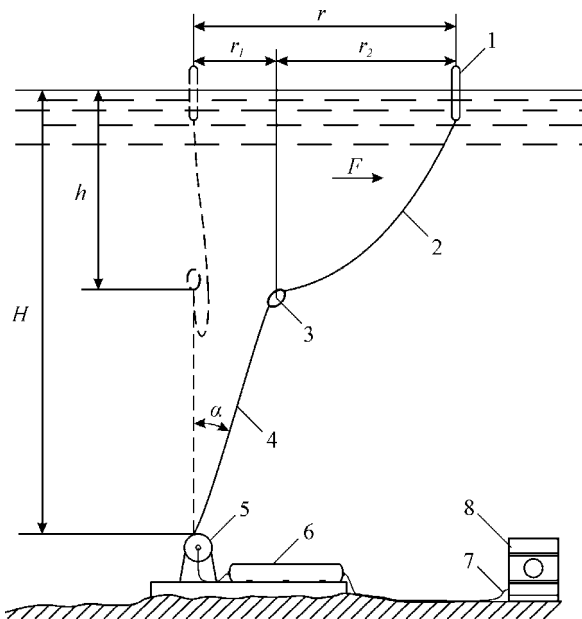


Рис. 1. Установка РГАБ з використанням проміжної плавучості: 1 – РГАБ; 2 – перша ділянка КТ; 3 – блок ПП; 4 – друга ділянка КТ; 5 – КЛ-2; 6 – ДЖ КЛ-2 та модуля-1; 7 – КЗ; 8 – ГАС модуля-1

Таким чином, радіус циркуляції РГАБ при постановці з використанням блоку ПП складається із двох складових r_1 і r_2 , причому через те, що товщина шару води, що підлягає впливу вітру, для кожного моря має деяке середнє постійне значення і не залежить від глибини місця постановки, довжина КТ буде залишатися постійною при постановці РГАБ на різних глибинах, а отже, і величина r_2 у всіх випадках буде постійною.

Глибина занурення блоку ПП при відсутності відомостей про глибину шару, не підлягаючого впливу зовнішніх сил, визначається приблизною

$$h = 0,367 (\lg h_b + 1) L_b,$$

де: h – глибина занурення блоку ПП, м; h_b – максимальна висота хвилі на поверхні моря, м; L_b – максимальна довжина хвилі, м.

Найменша припустима глибина місця постановки РГАБ визначається по формулі

$$H_{\min} = 1,5T + h_b,$$

де: $H_{\min}$ – найменша глибина місця постановки, м; T – осадка буя, м; h_b – найбільша висота хвилі в районі постановки, м.

Виконуючи розрахунки за базові було прийнято дані отримані відповідно до дванадцятибальної шкали, прийнятої Всесвітньою метеорологічною організацією для наближеної оцінки швидкості вітру щодо його впливу на наземні предмети або за хвилюванням у відкритому морі (шкали Бофорта), які наведені у вигляді табл. 1.

Для виконання порівняльного аналізу проведені розрахунки двох способів реалізації прив'язних підводних систем (ППС): без блоку ПП (одноланцюгова ППС) та з блоком ПП (дволанцюгова ППС). Результат проведених розрахунків зовнішніх сил КТ представлені у вигляді табл. 2.

КТ для ППС є одним з ключових елементів його функціональності. Основна функція КТ – забезпечення зв'язку між прив'язним підводним апаратом та його постом енергетики та керування на поверхні.

Таблиця 1. Дані, отримані відповідно до шкали Бофорта

Характер вітру	Сила вітру, бали	Питомий вітровий тиск, кг·м ⁻²	Швидкість течії, м/с	Швидкість вітру, м/с	Висота хвилі, м	Довжина хвилі, м
Штиль	0	0		0,5	0	0
Тихий	1	0,1	0,025	1,7	0,1	0,3
Легкий	2	0,5	0,05	3,3	0,3	2
Слабкий	3	2	0,1	5,2	1	6
Помірний	4	4	0,15	7,4	1,5	15
Свіжий	5	6	0,26	9,8	2	30
Сильний	6	11	0,3	12,4	3	50
Міцний	7	17	0,36	15,2	5	70
Дуже міцний	8	25	0,77	18,2	7	100
Шторм	9	36	1	21,5	8	150
Сильний шторм	10	46	1,5	25,1	10	200
Жорстокий шторм	11	64	2	29	11	250
Ураган	12	74	2,6	34	13	300

КТ може використовуватися різноманітної конфігурації, в залежності від потреб забезпечення та застосування (подвійний, багатожильними і т.п.). Такі зв'язки здатні передавати великі обсяги даних, включаючи відео, звук та іншу інформацію. Вони відіграють важливу роль у багатьох галузях застосування, таких як дослідження морського середовища, видобуток енергії з морських резервуарів, обслуговування підводних кабелів і трубопроводів, а також в оборонній сфері. КТ зв'язки дозволяють операторам контролювати та маніпулювати об'єктами на кшталт прив'язних підводних апаратів під водою, забезпечуючи стабільність та точність їх руху.

При проектуванні таких ППС варто враховувати глибину їх занурення під воду, тиск, температурні умови і взаємодію з самим морським середовищем. Використання надійних матеріалів і передових технологій

є ключовим для забезпечення тривалої та ефективної роботи КТ зв'язків ППС.

Відповідно до заданої технічним завданням довжини КТ, що дорівнює 170 м, розрахунки для всіх режимів роботи з характером вітру притаманним для дволанцюгових ППС не проводилися. Було враховано варіант застосування одноланцюгової ППС, які можуть мати місце при впливі характеру вітру типу «Сильного», «Міцного», «Дуже міцного» та «Шторм».

Отримані значення радіусу циркуляції РГАБ при застосуванні одноланцюгової ППС при розгортанні АРГАС на глибині моря у 60 м представлені у вигляді табл. 3.

Значення зусиль, які виникають на корінному кінці (КК) КТ були визначені для одноланцюгової ППС і представлені у табл. 4. В розрахунках допущені певні обмеження від максимальної дії висоти хвилі у 1,5 м, що відповідає впливу характеру вітру «Помірний».

Таблиця 2. Розрахунок зовнішніх сил КТ

Характер вітру	Сила вітру, Н	Сила течії, Н	Сума зовнішніх сил, Н	Розрахункова глибина постановки блока ПП, м	Класифікація ППС
Штиль	0	0	0	0	Одноланцюгова ППС
Тихий	0,00374	0,0188	0,0225	0	
Легкий	0,0187	0,0751	0,0938	0,35	
Слабкий	0,0748	0,3	0,375	2,2	
Помірний	0,15	0,676	0,826	6,47	
Свіжий	0,224	2,03	2,25	14,3	
Сильний	0,411	2,7	3,11	27,1	Дволанцюгова ППС
Міцний	0,636	3,89	4,53	43,6	
Дуже міцний	0,935	17,8	18,7	67,7	
Шторм	1,35	30	31,3	105	
Сильний шторм	1,72	67,6	69,3	147	
Жорстокий шторм	2,39	120	122	187	
Ураган	2,77	203	206	233	

Таблиця 3. Розрахунок одноланцюгової ППС при розгортанні АРГАС на глибині моря 60 м

Характер вітру	З урахуванням висоти хвилі, м	Довжина КТ, м	Радіус циркуляції буя, м
Штиль	60	61,8	0
Тихий	60,1	62	0,787
Легкий	60,3	62,6	2,62
Слабкий	61	62,6	7,93
Помірний	61,5	64,7	14,4
Свіжий	62	67,5	29,1
Сильний	63	74,6	36,2
Міцний	65	87,2	46,6
Дуже міцний	67	134	108
Шторм	68	166	144

Результати розрахунків сумарних зусиль, що виникають на корінному кінці КТ під час роботи одноланцюгової ППС наведені у табл. 5.

Необхідну потужність електродвигуна визначено згідно із виразом

$$P_{\text{дв}} = \frac{F_{\text{кт}} \cdot v_{\text{кт}}}{1000}, [\text{кВт}],$$

де: $F_{\text{кт}}$ – робоче зусилля на кабель-тросі, Н;
 $v_{\text{кт}}$ – максимальна швидкість вибирання або видавання КТ, об/хв.

Під час розрахунків було враховано сумарні максимальні зусилля на корінному та на ходовому кінцях КТ. Відповідно до глибини постановки платформи прийнято час підйому РГАБ на поверхню рівний 2 хв. Відповідно до цього визначено потужність електродвигуна КЛ, яка становитиме 4,5 кВт.

Основні результати проведених розрахунків автономності роботи необхідної системи енергозабезпечення КЛ РГАБ наведені у табл. 6.

З врахуванням технічних характеристик електрообладнання АРГАС було розроблено структурну схему системи енергозабезпечення КЛ РГАБ (рис. 2). До складу системи енергозабезпечення КЛ РГАБ входить:

- зарядний пристрій (ЗП);
- модулі керування батареями № 1 та № 2 (МК АКБ № 1 та № 2);
- модуль керування КЛ (МК КЛ);
- виконавчий електродвигун (ВЕД) КЛ;
- акумуляторна батарея № 1 та № 2 (АКБ № 1 та № 2).

Літій-залізофосфатні акумулятори, суттєво перевершують ряд інших акумуляторних батарей літій-іонної технології з погляду безпеки, стабільності і продуктивності необхідно комплектувати модулями керування BMS. Справа в тому, що літій-залізофосфатні батареї чутливі до перезаряду, а також розряду нижче певної напруги. З метою зменшення ризику ушкодження окремих акумуляторних батарей і виходу з ладу бата-

Таблиця 4. Розрахунок зусиль на корінному кінці КТ одноланцюгової ППС при розгортанні АРГАС на глибині моря 60 м

Назва параметра	Штиль	Тихий	Легкий	Слабкий	Помірний
Довжина КТ, м	61,8	62	62,6	62,6	64,7
Діаметр КТ, мм	7,5				
Густина води, кг/м ³	1024				
Швидкість течії, м/с	0	0,025	0,05	0,1	0,15
Нормальний. Гід. Коефіцієнт	1				
Тангенціальний. Гід. Коефіцієнт	0,5				
Координата X	0	0,787	2,62	7,93	14,4
Координата Y	60	60,1	60,3	61	61,5
Зусилля на КК КТ, Н	0	0,191	0,763	6,1	6,1
Кут підходу на КК КТ, рад	0	4,37	4,37	4,66	4,51

Таблиця 5. Результати розрахунків сумарних зусиль, що виникають на корінному кінці КТ під час роботи одноланцюгової ППС

Глибина постановки АРГАС, м	Зусилля на КК КТ у Н з урахуванням характеру вітру				
	Штиль	Тихий	Легкий	Слабкий	Помірний
60	0	0,21	0,86	6,48	6,93

Таблиця 6. Розрахунок часу автономної роботи КЛ-2 на глибині 60 м

Характер вітру	Швидкість течії, м/с	Зусилля на КК КТ, Н	Потужність БДПС та СК, Вт	Кількість хв. роботи КЛ-2 за год	Час автономної роботи
Штиль	0	0	3	2	13 824 год
Тихий	0,025	0,21	21,9	4	946 год 51 хв
Легкий	0,05	0,86	80,4	6	171 год 56 хв
Слабкий	0,1	6,48	586,2	8	17 год 41 хв
Помірний	0,15	6,93	626,7	10	13 год 24 хв

реї в цілому всі $LiFePO_4$ акумулятори оснащуються спеціальною електронною схемою балансування.

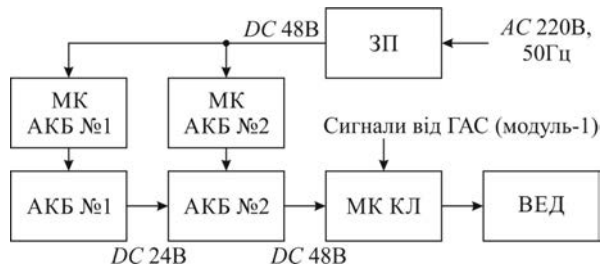


Рис. 2. Структурна схема системи енергозабезпечення КЛ РГАБ

МК АКБ, виконуючи балансування, а також забезпечуючи контроль температури і виконання ряду інших функцій, максимально продовжує термін служби акумуляторного джерела живлення.

Акумуляторна батарея № 1 та № 2 з'єднанні послідовно для забезпечення сумарної DC напруги 48 В, та ємності 32 А·год.

В якості виконавчого електродвигуна кабельної лебідки будемо застосовувати безколекторний двигун постійного струму (БДПС).

Для керування БДПС застосуємо МК КЛ. Структурну схему МК КЛ наведено на рис. 3.

МК має можливість працювати з контролерами через протокол інформаційного обміну CAN. В основі виконавчого контролера можна застосувати мікроконтролер PIC18F2480 виробництва компанії Microchip.

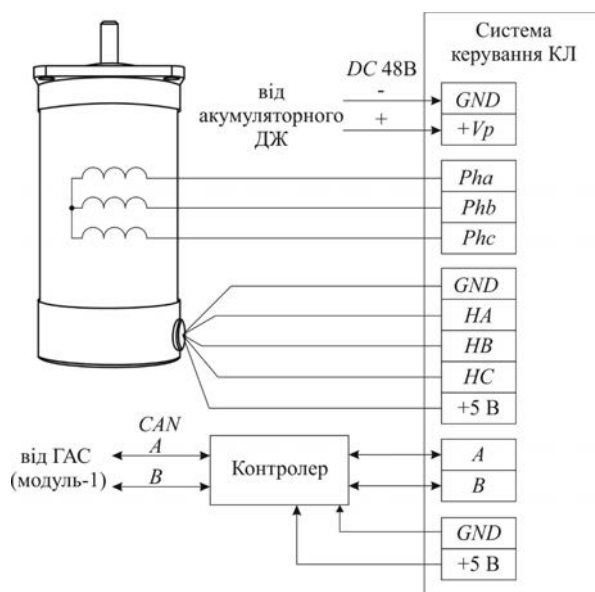


Рис. 3. Структурна схема МК КЛ

При виявленні будь-якої цілі, в залежності від налаштувань, РГАБ закріплений КТ до підводної КЛ піднімають на поверхню моря та виконують передачу радіосигналу до берегової станції [22, 23, 24]. Після цього КЛ змотує КТ опускаючи РГАБ до зазначеної глибини та робота продовжується.

Установка АРГАС на морському дні передбачає розташування модулів-1 та 2 на глибинах морського дна не більше 200 м. В даній роботі, було розглянуто варіант установки обладнання на глибину у 60 м. Для економії електроенергії під час процесу роботи РГАБ розташовують під поверхнею моря за допомогою підводної КЛ, на глибинах порядку 20 м. Коли потрібно виконати передачу радіосигналу, лебідка починає споживати електроенергію з акумуляторних блоків, що розташовані на модулі-2.

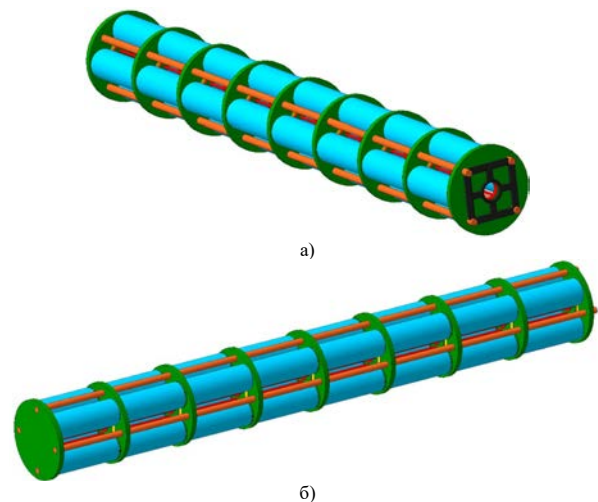


Рис. 4. 3D-модель акумуляторного ДЖ:
а – вид спереду; б – вид ззаду

В залежності від часу роботи КЛ та глибини розташування РГАБ, споживання електроенергії може бути різним. Після передачі сигналу РГАБ має бути повернено в вихідне положення. Отже, КЛ знову починає споживати електроенергію. РГАБ знаходиться під дією підводної морської течії тому довжина витравленої частини КТ залежить від її швидкості.

Відштовхуючись від заданих технічним завданням габаритних розмірів міцних корпусів для ДЖ КЛ та ДЖ модуля-1 було розроблено 3D-модель компонування акумуляторної батареї (рис. 4).

Конструкцію ДЖ побудовано за принципами модульності. В якості елементів живлення застосовано $LiFePO_4$ елементи типу 32120P.

Для компонування ДЖ КЛ було розроблено 3D-моделі спеціальних адаптерів, що здатні реалізувати послідовно-паралельне з'єднання без застосування зайвих кабельних проведень.

Принцип роботи адаптерів полягає в застосуванні габаритної ієрархії акумуляторних елементів. В кожній наступній акумуляторній секції останній елемент попередньої секції виконує послідовне з'єднання. Для цього останній елемент, що розташовується на адаптері, контактуватиме з пружинним контактом у своїй основі (рис. 5).

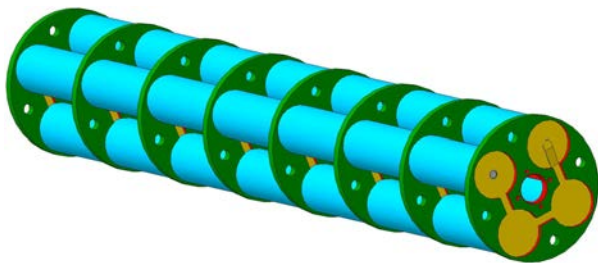


Рис. 5. 3D-модель акумуляторного ДЖ під час з'єднання секцій

Для проведення через адаптери електропроводки, від МК АКБ до кожного елемента живлення, передбачено технологічні отвори з гладкими сторонами. Попередньо фіксація адаптерів виконується чотирма жорстко зафіксованими напрямними стержнями діаметром 3 мм.

Остаточна фіксація виконується з застосуванням в якості напрямних 4 пластикових стержні діаметром 10 мм, з нарізаною різьбою з обох кінців.

Основні технічні характеристики розробки представлені у табл. 7.

Компонування джерела живлення виконано для двох міцних корпусів – МК ДЖ КЛ та МК ДЖ модуля-1. Розроблена 3D-модель акумуляторного джерела живлення здатна забезпечувати 24 В DC напруги автономністю 32 А·год для кожного МК. Відповідно, послідовне з'єднання двох МК здатне забезпечувати 48 В DC напруги автономністю 32 А·год.

Так як МК ДЖ КЛ за габаритними розмірами (1500×140 мм), більше за МК ДЖ модуля-1 (1000×140 мм), окрім джерела живлення та МК АКБ, там буде розміщено 3П.

Таким чином, до складу 3D-моделі акумуляторного ДЖ КЛ та модуля-1 увійшли: 18 адаптерів; 8 напрямних стержні; 64 акумуляторних елементи живлення; 2 тримачі; комплект кріплення (16 шайб, гроверів та гайок).

Обговорення отриманих результатів.

Система енергозабезпечення КЛ РГАБ має можливість не лише забезпечувати електричною енергією окремі споживачі, але і виконувати контроль безпеки при застосуванні специфічної технології роботи КЛ. Специфіка роботи КЛ полягає в наявності зовнішніх чинників, що впливають на довжину витравленої частини КТ, на ходовому кінці якого закріплено РГАБ.

Таблиця 7. Основні технічні характеристики розробки

№ з/п	Найменування параметра	Значення
1	Номинальні параметри акумуляторного ДЖ: постійна напруга, В / ємність, А·год	48 / 32
2	Тип акумуляторного елемента живлення	LiFePO ₄ – 32120P
3	Модуль керування батареями № 1 та № 2	BMS-8 cell – 8 шт.
4	Модуль керування КЛ	HMP5000B – 1 шт.
5	БДПС КЛ / Потужність, кВт	HMP5KA – 1 шт. / 4,5
6	Мікроконтролер	PIC18F2480
7	Інтерфейс керування	CAN
8	Зарядний пристрій	Smart Charger-58,4 – 1 шт.
9	Глибина установки на морському дні, м	60
10	Максимальна глибина занурення МК, м	250
11	Час автономної роботи при зазначеній глибині установки та «Помірному» характері вітру, год	13,24
12	Матеріал корпусу МК	анодований алюміній
13	Габаритні розміри МК, мм	МК № 1 – 1500×140; МК № 2 – 1000×140
14	Маса МК на повітрі у зібраному стані, кг	МК № 1 – 27,6; МК № 2 – 15,4

Одним з таких чинників є вплив сил вітру на надводну частину буя. Особливість його застосування полягає у тому, що при передачі по радіоканалу сигналу на береговий пост його верхня частина має бути повністю піднята над поверхнею води. Враховуючи хвилювання водної поверхні та вплив гідродинамічних сил підводної течії на КТ, навантаження на валу виконавчого електродвигуна КЛ може бути різним. Відповідно і споживчий струм електродвигуна за різних погодних обставин також буде різним. З урахуванням цих особливостей та впровадженням нових алгоритмів роботи системи керування, отримав подальший розвиток метод забезпечення передачі інформації від автономної радіогідроакустичної станції при реалізації моніторингу морської підводної обстановки на глибинах до 60 м.

Система енергозабезпечення КЛ РГАБ буде враховувати максимально допустимі споживчі струми, що можуть протікати в акумуляторному джерелі живлення та при необхідності обмежувати можливість його застосування у складних умовах. Ефективність застосування розробленої системи енергозабезпечення КЛ РГАБ буде залежати від правильності вибору типу елементів живлення, системи захисту, системи керування кабельною лебідкою та потужності виконавчого електродвигуна. Зважаючи на ці фактори, отримав подальший розвиток принцип автоматичного керування пов'язаний з розробкою енергозабезпечення кабельної лебідки радіогідроакустичного буя з використанням автономного джерела живлення, що дало змогу забезпечити необхідну автономність функціонування системи та вибирати бажану глибину позиціонування

радіогідроакустичного буя з урахуванням морських умов розташування.

В системі енергозабезпечення КЛ РГАБ передбачено можливість заряджання акумуляторного джерела живлення. Цей процес можна реалізувати з застосуванням ВСПН за двома варіантами. Перший з них полягає в доставці на морське дно електричного кабелю та його підключенню за допомогою маніпулятора ВСПН до відповідного роз'єму на міцному корпусі джерела живлення КЛ. Другий варіант це реалізація заряду акумуляторного джерела живлення КЛ від бортової мережі ВСПН.

Висновки.

1. Розроблена система енергозабезпечення КЛ РГАБ призначена для реалізації можливості зміни глибини занурення РГАБ узгоджено до напрямку обертання барабану КЛ і здатна забезпечити її автономну роботу протягом 13 год 24 хв при 10 % використанні максимальної потужності електропривода та за умов помірного хвилювання морської поверхні і швидкості течії у 0,15 м/с. Система енергозабезпечення спроектована у циліндричному виконанні з метою її розміщення в двох міцних корпусах донної АРГАС встановленої на морському дні глибиною 60 м.

2. Застосування системи енергоживлення КЛ РГАБ дозволяє ефективно та безпечно використовувати електричну енергію акумуляторних ДЖ для донної станції та автоматичної роботи електроприводного механізму зміни витравленої частини КТ зв'язку діаметром 7,5 мм та довжиною 170 м. Для автоматичної роботи кабельної лебідки задіяно CAN інтерфейс керування з застосуванням стандартизованого модуля керування безколекторним двигуном постійного струму та мікроконтролера.

Список літератури

- [1] Bosilca Ruxandra-Laura. The use of satellite technologies for maritime surveillance: an overview of EU initiatives. *Incas Bulletin*. 2016. No. 8(1). pp. 151-161. DOI: 10.13111/2066-8201.2016.8.1.14
- [2] Denis Eckert. L'Ukraine ou les contours incertains d'un Etat européen. *L'Espace Politique*. 2018. No. 33(33). DOI: 10.4000/espacepolitique.4411
- [3] Lavanya T., Kavitha Subramani, Vinmathi M.S., Murugavalli S. International water border detection system for maritime navigation. *Emerging trends in computing and expert technology*. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-32150-5_6
- [4] Miro Petković, Igor Vujović. Distance estimation approach for maritime traffic surveillance using instance segmentation. *Journal of marine science and engineering*. 2023. No. 12(1). pp. 78. DOI: 10.3390/jmse12010078

- [5] Jiping Yao, Shanzhu Xiao, Qiuqun Deng, Gongjian Wen, Huamin Tao, Jinming Du. An infrared maritime small target detection algorithm based on semantic, detail, and edge multidimensional information fusion. *Remote sensing*. 2023. No. 15(20). DOI: 10.3390/rs15204909
- [6] Thiansiri Luangwilai. Improving maritime security via automated navigational monitoring. *Contemporary issues in air and space power*. 2023. No. 1. DOI: 10.58930/bp31180108
- [7] Saziye Ozge Atik. Determination of Black sea coastline length with oblique stereographic projection using affine transformation. *International journal of environment and geoinformatics*. 2023. DOI: 10.30897/ijegeo.1399910
- [8] Vakhtang Maisaia. The Black sea regional security and geostrategy balance: a “new cold war” scenario. *Przegląd Strategiczny*. 2024. DOI: 10.14746/ps.2023.1.10
- [9] Sakshi Sawant. Underwater image restoration system. *International journal for research in applied science and engineering technology*. 2023. No. 11(12). pp. 175-177. DOI: 10.22214/ijraset.2023.57286
- [10] Buyiyi Wang, Yiyin Wang, Yichen Li, Xinping Guan. Underwater acoustic communications based on OCDM for internet of underwater things. *IEEE Internet of things journal*. 2023. No. 99. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3304488
- [11] Yudong Wang, Jichang Guo, Wanru He, Huan Gao, Huihui Yue, Zenan Zhang, Chongyi Li. Is underwater image enhancement all object detectors need? *IEEE Journal of oceanic engineering*. 2024. No. 99. pp. 1-16. DOI: 10.1109/JOE.2023.3302888
- [12] Yuanchang Liu, Enrico Anderlini, Shuwu Wang, Song Ma, Zitian Ding. Ocean explorations using autonomy: technologies, strategies and applications. *Offshore robotics*. 2022. DOI: 10.1007/978-981-16-2078-2_2
- [13] Hao Wang, Nanfeng Xiao. Underwater object detection method based on improved faster RCNN. *Applied sciences*. 2023. No. 13(4). pp. 2746. DOI: 10.3390/app13042746
- [14] Raji Alahmad, Kazuo Ishii, Yuya Nishida, Yuki Fukumoto, Tohlu Matsushima. Experimental study of underwater RF communication for live video transmission for AUVs application. *Journal of robotics networking and artificial life*. 2023. No. 10(1). pp. 84-90. DOI: 10.57417/jrnl.10.1_84
- [15] Jiajie Xu, Mustafa Kishk, Qunfei Zhang, Mohamed-Slim Alouini. Three-hop underwater wireless communications: a novel relay deployment technique. *IEEE Internet of things journal*. 2023. No. 99. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3262949
- [16] Rongyang Zhao, Zhongqiang Yang, Songwei Ge, Mingjuan Wang, Yazhou Wang. An average speed of sound method for underwater positioning based on time of arrival. *Journal of physics conference series*. 2023. No. 2638(1). DOI: 10.1088/1742-6596/2638/1/012010
- [17] Shan R., Dong L.Y., Du K., Yu D.S., Li Y., Mei S. Application of ultra-short baseline positioning system to deep towing operation. *Marine geology frontiers*. 2019. No. 35(09). pp. 29-35. DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.09006
- [18] Nan D., Li Z.H. High-precision acoustic localization of underwater target for mobile platform using ultra-short baseline array. *Acta Acustica*. 2019. No. 44(04). pp. 534-544. DOI: 10.15949/j.cnki.0371-0025.2019.04.014
- [19] Xie L., Wang L.J., Lin W.S. Localization of underwater sound source using the characteristics of pulse cluster signal arrivals in deep sea. *Acta acustica*. 2021. No. 46(02). pp. 171-181. DOI:10.15949/j.cnki.0371-0025.2021.02.002
- [20] Войтасик А.М. Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно. *Підводна техніка і технології*. Миколаїв: НУК. 2015. № 2. С. 38-41
- [21] Блінцов В.С., Войтасик А.М. Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно. *Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія*. 2016. № 4. С. 50-59.
- [22] Ning J.S., Wu Y.T., Sun D.J. The development of LBL acoustic positioning system and its application. *Hydrographic surveying and charting*. 2014. No. 34(01). pp. 72-75. DOI: CNKI:SUN:HYCH.0.2014-01-023
- [23] Shi G.X., Yan S.F., Hao C.P., Hou C.H., Liu Y. Target tracking algorithm for underwater ranges-only long baseline system with incomplete measurements. *Acta Acustica*. 2019. No. 44(04). pp. 480-490. DOI: 10.15949/j.cnki.0371-0025.2019.04.009
- [24] Cheng Y., Zhao J.B., Li J., Cao Y.S. Underwater long baseline navigation strategy based on adaptive filtering algorithm. *Ship science and technology*. 2020. No. 42(23). pp. 106-110. DOI: CNKI:SUN:JCKX.0.2020-23-022

© Войтасик А. М.

Дата надходження статті до редакції: 25.02.2024

Дата затвердження статті до друку: 10.03.2024