

УДК 629.58
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.4\(493\).13](https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).13)

DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY AND CONTROL PANEL OF A TOWED UNDERWATER VEHICLE

РОЗРОБКА ПОСТА ЕНЕРГЕТИКИ ТА КЕРУВАННЯ БУКСИРУВАНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА

Andrii M. Voitasyk
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9409-6108

А. М. Войтасик,
канд. техн. наук, доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. *Purpose.* Development and design of power supply and control panel of a towed underwater vehicle realized as a mobile product, which is able to ensure full functioning and safe operation of a marine towed object during underwater search processes on large areas of the sea bottom. *Method.* As part of the research, the complex modeling method was used to build 3D models of the product frame and all the executive equipment proposed to be used in its composition, the method of empirical measurement of the components of energy and information signals between objects of information exchange, the method of conducting an experiment to certify the functional capabilities of the product. *Results.* Based on the use of a video recorder, a switch, a laptop, a control joystick and a formed list of electrical switching and protective equipment, placed in a single plastic frame in the form of a case, a mobile post of energy and control of a towed underwater vehicle was developed, with the aim of further exploitation of the product during underwater sea search operations with the possibility of implementing automatic piloting. The functioning of the product is ensured by the use of an Ethernet data transmission channel, which allows for rapid exchange of information over the stated distance of the cable connection up to 125 m. *Scientific novelty.* Obtaining by the operator the necessary information for remote control of the towed underwater vehicle, regarding the current technical parameters of the marine towed object, is proposed to be implemented with the use of an energy post and control equipped in the form of a mobile case, which can be quickly deployed/collapsed and is convenient to use on tugboats that are not have the ability to feed third-party electricity consumers. The product includes a set of necessary electrical equipment, which ensures the preservation of all important data obtained during long-term underwater search processes on large areas of the sea bottom. Controllability of the serial sample of the towed underwater vehicle of the «Glider» project is ensured at towing speeds from 1 to 6 knots. *Practical importance.* The developed power supply and control panel is implemented in the form of a mobile case and is intended for operation during underwater technical works using serial samples of towed underwater vehicles of the «Glider» project, which are used as an Ethernet data transmission channel. The development ensures the reception, analysis and storage of information coming from the towed underwater vehicle through a cable-tether connection, which provides for the separation of information and energy control signals on separate conductors for reception/transmission.

Key words: tug vessel; information exchange; underwater search.

Анотація. *Мета.* Розробка та проектування поста енергетики та керування буксирним підводним апаратом реалізованого у вигляді мобільного виробу, який здатний забезпечити повне функціонування та безпечну експлуатацію морського буксирного об'єкта під час виконання процесів підводного пошуку на великих ділянках морського дна. *Методика.* В рамках дослідження використано метод комплексного моделювання для побудови 3D моделей каркасу виробу та всього виконавчого обладнання, яке запропоновано застосувати у його складі, метод емпіричного вимірювання складових енергетичних та інформаційних сигналів між об'єктами обміну інформацією, метод проведення експерименту для засвідчення функціональних можливостей виробу. *Результати.* На базі використання відеореєстратора, комутатора, ноутбука, джойстика керування та сформованого переліку електрокомутаційного і захисного обладнання, розміщених в єдиному пластиковому каркасі у вигляді кейсу, розроблено мобільний пост енергетики та керування буксирним підводним апаратом, з метою подальшої експлуатації виробу під час проведення підводних пошукових морських робіт з можливістю реалізації автоматичного пілотування. Функціонування виробу забезпечується застосуванням Ethernet каналу передачі даних,

який дозволяє здійснювати швидкий обмін інформацією на заявлену відстань кабель-тросового зв'язку до 125 м. *Наукова новизна.* Отримання оператором необхідної інформації для дистанційного керування буксирним підводним апаратом, стосовно поточних технічних параметрів морського буксирного об'єкта, запропоновано реалізовувати з застосуванням поста енергетики та керування облаштованого у вигляді мобільного кейсу, який швидко розгортається/згортається та зручно використовувати на судах-буксирниках, що не мають можливості живлення сторонніх споживачів електроенергії. До складу виробу входить комплект необхідного електрообладнання, який забезпечує збереження всіх важливих даних отриманих при виконанні процесів тривалого підводного пошуку на великих ділянках морського дна. Керуваність рухом серійного зразка буксирного підводного апарата проекту «Глайдер» забезпечується на швидкостях буксування від 1 до 6 вузлів.

Практична значимість. Розроблений пост енергетики та керування реалізований у вигляді мобільного кейсу і призначений для експлуатації при проведенні підводно-технічних робіт з застосуванням серійних зразків буксирних підводних апаратів проекту «Глайдер», які використовують у якості каналу передачі даних Ethernet. Розробка забезпечує прийому, аналіз і збереження інформації, що надходить від буксирного підводного апарата через кабель-тросовий зв'язок, який передбачає для виконання прийому/передачі розмежування інформаційних та енергетичних сигналів керування окремими провідниками.

Ключові слова: судно-буксирник; інформаційний обмін; підводний пошук.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Підводні апарати (ПА) призначені для проведення підводно-технічних робіт (ПТР) на затонутих об'єктах з використанням різноманітного навігаційного обладнання у вигляді маніпуляторів, огляду підводної частини корпусу судна на плаву, а також для високоякісного документування процесу і результатів ПТР. У той час як буксирні ПА (БПА) призначені більше для швидкого пошуку та інспекції затонувлих об'єктів відео- і магнітометричними засобами на великих ділянках морського дна. Такі апарати здатні забезпечувати передачу відео зображення в реальному масштабі часу і двосторонній інформаційний обмін між БПА і судном-буксирником (СБ).

Можливості буксирної підводної системи (БПС) у великій мірі залежать від характеристик поста енергетики та керування (ПЕК), оскільки правильність реалізації апаратної та програмної складових поста керування мають вплив як на якість функціонування та довговічність БПА, так і на продуктивність роботи обслуговуючого персоналу. Враховуючи вище сказане, ПЕК є дуже відповідальною складовою буксирної підводної системи з ПА, проектуванню та реалізації якої необхідно приділити велику кількість уваги.

Тому, набуває актуальності задача розробки та проектування ПЕК БПА з можливістю забезпечення стабілізації його крену та диференту в автоматичному режимі керування. Даний режим роботи є пріоритетним при роботі з БПС, адже пошук та інспекція з її застосуванням може охоплювати великі ділянки морського дна та бути досить довготривалою і з метою зменшення навантаження на оператора та виключення впливу людського фактору у разі втрати керування рухом підводного транспортного засобу має передбачати можливість ввімкнення/вимкнення функції автоматичного пілотування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Прив'язні та БПА пов'язані із СБ, береговою або донною базою кабелем або кабель-тросом (КТ) [1].

Крім механічного зв'язку кабель виконує функції інформаційного та керуючого каналу, а також лінії енергопостачання [2, 3]. Безперервне електропостачання, що надходить із СБ, використання оптичного волокна в лінії зв'язку дозволяють підвищити ефективність використання апарата, збільшити робочу глибину та час ПТР [4, 5, 6].

Кабельна лебідка є складовою БПС, яка здійснює вибір і випуск КТ та виконує роль механізму регулювання довжини буксування ПА [7, 8, 9]. Від довжини попущеної частини КТ залежить робоча зона БПА [10, 11, 12]. Дана лебідка може застосовуватися при виконанні спуско-підйомних операцій БПА. У випадку фіксованої довжини КТ та відсутності кабельної лебідки всі спуско-підйомні операції виконуються палубною командою вручну.

Детальне гідроакустичне обстеження поверхні, фото і відео зйомка вимагає точної стабілізації БПА над дном, надійного відстеження рельєфу і обходу перешкод [13, 14]. Основними технічними характеристиками буксирних підводних систем є швидкість буксування та ширина смуги пошуку [15, 16]. Найбільша і найменша швидкості буксування визначаються призначенням буксирної системи, а також міцністю конструкції її елементів, потужністю енергетичної установки судна і його керованістю [17, 18, 19].

ПЕК БПА має реалізовувати передачу електричної енергії, яка є основою роботи всього бортового обладнання, що встановлюється на БПА, а також він слугує для прийому, аналізу і збереженню інформації, яка отримуються від підводного транспортного засобу [20].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Однією з проблем використання БПА є режим розвороту для зміни галса. Для зменшення зусиль, які діють на БПА під час розвороту необхідно змінювати його крен. Тому, при керуванні БПА, для регулювання

кутів крену та диференту, використовуються елевонни. Крен регулюється різницею між кутами повороту елевонів, а диферент – їх спільним відхиленням. Задачами режиму автоматичного керування для даного типу БПА є стабілізація заданого крену та заданого диференту.

За своєю конструкцією ПЕК БПА представляє собою мобільний герметичний кейс. Основне призначення такого кейсу збереження цілісності та працездатності електрообладнання необхідного для проведення ПТР з застосуванням БПА, наприкладі проекту «Глайдер» розробки та виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Під час виконання підводної місії у герметичності виробу немає необхідності. ПЕК завжди розміщується у комфортних умовах для оператора ПА. Це впливає на якість та тривалість вирішення поставлених перед оператором ПА задач. Тому у відкритому стані ПЕК завжди знаходитиметься у сухому приміщенні (лабораторія-контейнер, судно, катер і т.п.). Енергоживлення виробу передбачає наявність акумуляторного живлення від сторонніх джерел енергії постійною напругою 24 В. В системі енергопостачання ПЕК на БПА передбачається захист електрообладнання від короткого замикання.

Метою дослідження є розробка мобільного поста енергетики та керування буксирним підводним апаратом, який призначений для прийому, аналізу і збереження інформації, що надходить від підводного апарату, і передбачає для виконання прийому/передачі розмежування інформаційних та енергетичних сигналів керування окремими провідниками.

ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості *об'єкта дослідження* обрано технологічні процеси, які здатен реалізовувати буксирний підводний апарат з усіма його складовими елементами: конструкцією виконання, навігаційним обладнанням, системою відеоспостереження, системою освітлення, термовим комплексом, програмним забезпеченням та іншими компонентами.

Предметом дослідження є моделі та методи аналізу для запровадження необхідної точності та надійності роботи бортових системи керування буксирного підводного апарату, розробка та реалізація алгоритмічного забезпечення для безпечної експлуатації поста енергетики та керування, забезпечення комунікації та сумісності застосованого електрообладнання, створення 3D моделі виробу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Розроблену 3D модель пластикового каркасу ПЕК виконано з рахуванням товщини матеріалу, що був використаний в подальшому для виготовлення діючого зразка (пластик з товщиною стінки 4 мм). Для створення 3D моделі ПЕК БПА було створено 3D моделі, що входять до його складу. Дані моделі

було створено згідно їх габаритних розмірів. Основні критерії за якими виконувалась розробка:

1) Застосування герметичного кейсу. Використання герметичного кейсу забезпечує повну збереженість вартісного обладнання під час транспортування виробу. Під час застосування ПЕК БПА не має бути герметичним.

2) Пластиковий каркас. Застосування пластикового каркасу обумовлено зменшенням масогабаритних характеристик в порівнянні з металевими конструкціями такого ж виконання. Якість пластикового матеріалу каркасу має бути належної якості та витримувати незначні механічні удари без деформації корпусу ПЕК. Панельні частини виробу закріплюються на передбачені в каркасі основні вузли.

3) Швидке розгортання та згортання ПЕК. При виконанні підводних пошукових робіт з застосуванням БПА важливе значення має час підготовки до початку виконання підводної місії. Конструкція виробу дозволяє за лічені хвилини виконати розгортання та згортання ПЕК БПА. Перевагою такого технічного рішення є зменшення загального часу витраченого на проведення підводної місії.

4) Використання максимально можливого об'єму ПЕК згідно з габаритами найбільшого елемента електрообладнання. Дане рішення дозволяє по максимуму використовувати внутрішній простір ПЕК для розміщення вибраного електрообладнання та додаткового при подальшій модернізації виробу.

Зовнішній вигляд 3D моделі пластикового кейсу у якості ПЕК БПА проекту «Глайдер» наведено на рис. 1.

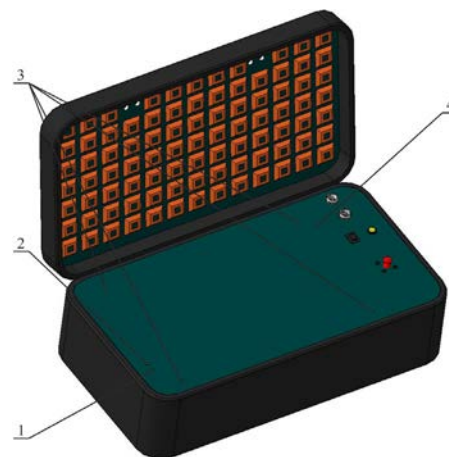


Рис. 1. 3D модель ПЕК БПА проекту «Глайдер»

- 1) – місце виводу проводу *USB* від джойстика;
- 2) – місце виводу проводу *Ethernet* від комутатора;
- 3) – вузлові точки для установки ніжок ноутбука;
- 4) – місце виводу проводу енергоживлення ноутбука

Пластиковий кейс має прямокутну форму та виготовлений з ударостійкого *ABS* пластику. ПЕК умовно поділено на дві зони: інформаційна зона; маніпуляційна зона.

Силові роз'єми закріплені на лицьовій панелі керування ПЕК. Для їх монтажу передбачені відповідні отвори під кріпильні вироби. Панель керування виготовлена з пластини товщиною 4 мм.

На панелі керування, з одного боку розташовано ноутбук, а з іншого комутаційні роз'єми (вхідний на пост, вихідний на БПА), кнопка ввімкнення/вимкнення живлення, кнопка активації джойстика. Під лицьовою панеллю керування розміщено основне електрообладнання: відеореєстратор, комутатор, *DC/DC* перетворювачі напруги. Для спрощення електричного монтажу застосовуються дві комутаційні шини розміщені на *DIN*- рейці.

Кріплення маршрутизатора до внутрішньої стінки панельної частини здійснюється алюмінієвими хомутами. *DC/DC* перетворювачі напруги мають чотири штатні отвори для кріплення, що і застосовуються в процесу монтажу.

Кріплення елементів до внутрішніх стінок панельної частини ПЕК виконано з використанням потайних гвинтів. Зовнішній вигляд 3D моделі укомплектованого ПЕК наведено на рис. 2.

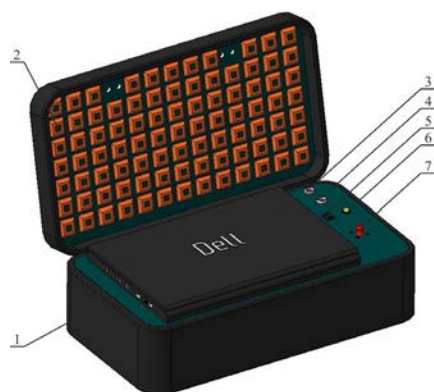


Рис. 2. Зовнішній вигляд 3D моделі ПЕК БПА проекту «Глайдер» з електрообладнанням

- 1) – ноутбук;
- 2) – вібраційний фіксатор для транспортування;
- 3) – вхідний силовий роз'єм на ПЕК;
- 4) – вихідний силовий роз'єм на БПА;
- 5) – кнопка ввімкнення/вимкнення ПЕК;
- 6) – кнопка активації джойстика;
- 7) – джойстик керування

Алгоритм роботи з ПЕК БПА проекту «Глайдер» можна представити у вигляді блок-схеми (рис. 3). Принцип роботи алгоритму полягає у наступному.

1) Необхідно до ПЕК підключити кабель енергоживлення та корінний кінець кабель-тросу. Кабель живлення за допомогою роз'ємних з'єднань (*4-Pin*) одним кінцем вмикається до бортової мережі кабель-буксиру номіналом 24 В постійного струму (або акумуляторне живлення), а іншим кінцем до ПЕК.

2) Підключаємо КТ до ПЕК. Для цього на корінному кінці КТ передбачено роз'ємне з'єднання (*8-Pin*), яке необхідно підключити до ПЕК.

3) Підключаємо КТ до БПА проекту «Глайдер».

4) Вмикаємо кнопку живлення розташовану на лицьовій панелі керування ПЕК БПА проекту «Глайдер». На цьому етапі всі споживачі електроенергії на ПЕК та БПА отримують необхідне електроживлення. Про наявність електричної енергії на ПЕК інформує сигнальна *LED* лампа.

5) У випадку якщо *LED* лампа не світиться необхідно вимкнути кнопку живлення відключити всі силові кабелі від ПЕК та БПА, скористатися інструкцією про можливі поломки виробу. Потім пункти 1–4 необхідно повторити знову і якщо *LED* лампа на цей раз світиться, то проблема вирішена і можна продовжувати підготовку до виконання ПТР з застосуванням БПА проекту «Глайдер».

6) Далі вмикаємо ноутбук та запускаємо встановлене на ньому програмне забезпечення для керування БПА проекту «Глайдер».



Рис. 3. Блок-схема алгоритму роботи з ПЕК БПА проекту «Глайдер»

7) Вмикаємо кнопку активації джойстика та очікуємо на появу сигналу з'єднання з БПА. Якщо з'єднання не виконано необхідно вимкнути програмне забезпечення керування БПА проекту «Глайдер», вимкнути ноутбук. Далі вимкнути кнопку живлення відключити всі силові кабелі від ПЕК та БПА, скористатися інструкцією про можливі поломки виробу. Потім пункти 1–6 необхідно повторити знову і якщо з'єднання з БПА проекту «Глайдер» виконано успішно, то проблема вирішена і можна розпочинати підводні пошукові роботи з застосуванням БПА проекту «Глайдер».

Відповідно до технічних характеристик вибраного електрообладнання для розробки ПЕК БПА проекту «Глайдер», представлених у табл. 1, розроблено електричну схему з'єднань виробу. Дану схему представлено у вигляді рис. 4 та рис. 5. В якості вузла вводу і виводу електроенергії на ПЕК застосовано силові роз'єми. Для початку роботи з ПЕК необхідно забезпечити його енергоживленням.

Кабель-трос задіяний у БПА проекту «Глайдер» має однотипні кінці, тому не має значення який роз'єм від кабель-тросу необхідно підключити до ПЕК, а який

до БПА. У будь-якому випадку інформаційні та силові жили кабель-тросу не несуть фізичного навантаження при буксирування ПА, так як кабель-трос додатково закріплюється одним кінцем до борту судна-буксирвальника, а другим до рамної конструкції БПА.

Процес монтажу електрообладнання по даній схемі передбачатиме додатково наявність клемних шин, з яких електроенергія потраплятиме до *DC/DC* перетворювачів напруги для подальшого живлення комутатора, відеореєстратора та ноутбука. Акумулятор розміщений у ноутбуці дозволить, при необхідності, без ввімкнення живлення на БПА виконувати обробку відео- та фотоматеріалів.

LED лампа, встановлена у кнопці ввімкнення енергоживлення, виконує функцію інформування про наявність енергоживлення на ПЕК. На схемі вказано зв'язок між джойстиком керування та ноутбуком за допомогою *USB* кабелю. Підключення відеореєстратора до ноутбука виконується через комутатор. Для цього застосовуються роз'єми *RJ-45*.

При бажанні до ПЕК БПА проекту «Глайдер» можна підключити додатковий джойстик керування, як

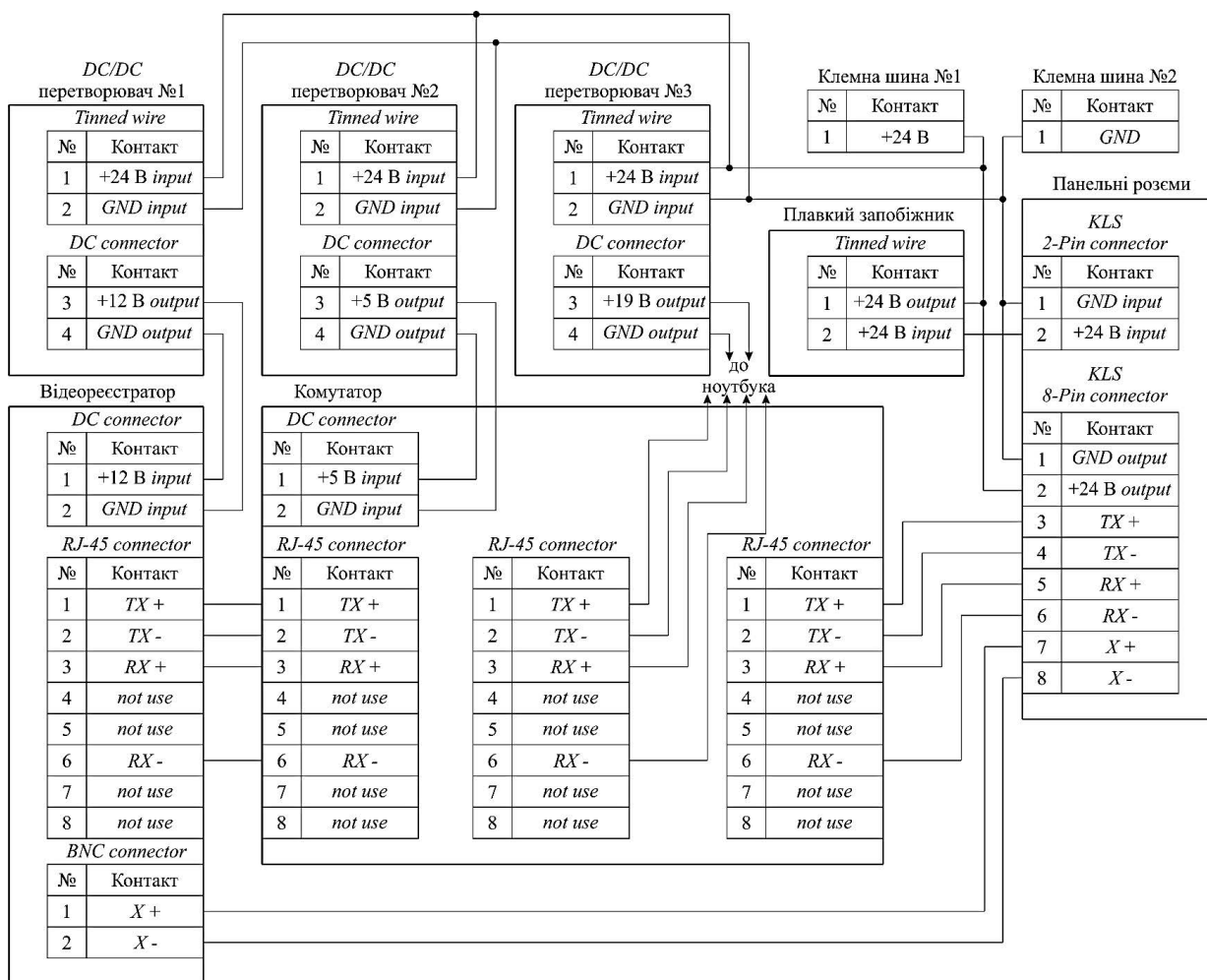


Рис. 4. Електрична схема з'єднань ПЕК (частина 1)

провідний так і безпровідний, для більшого комфорту оператора.

ПЕК БПА проекту «Глайдер» передбачає два базових положення (рис. 5):

1) транспортне положення – кейс герметично закритий. В такому положенні необхідно виконувати транспортування та зберігання виробу. При транспортуванні необхідно від ПЕК від'єднати кабель електроживлення та кабель-трос;

2) робоче положення – доступні всі функціональні можливості ПЕК. В такому положенні відкрито доступ до всіх роз'ємів ноутбука, органів керування, комутаційних роз'ємів живлення. У разі необхідності застосування бездротового зв'язку до ноутбука можна підключити ресивер додаткового бездротового джойстика керування (опціональна можливість).



Рис. 5. Вигляд 3D моделі ПЕК БПА проекту «Глайдер»
а) – транспортне положення; б) – робоче положення

Основні технічні характеристики розробки представлені у табл. 1.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТИВ

Для експедиційної діяльності найважливіший фактор це мобільність. Параметр мобільності характеризує готовність працюючого персоналу до роботи за будь-яких кліматичних та технологічних обставин. Все необхідне електрообладнання для виконання підводних пошукових робіт з застосуванням БПА проекту «Глайдер» розміщено в компактний переносний кейс. Даний кейс в транспортному положенні передбачає повну герметичність його внутрішніх складових елементів. Система енергоживлення передбачає

Таблиця 1. Основні технічні характеристики розробки

№ з/п	Найменування параметра	Значення
1	Напруга постійного живлення, В	24
2	Максимальна потужність БПА, Вт	240
3	Допустима довжина кабель-буксиру, м	125
4	Джойстик керування, 1 шт.	KY-023
5	Ноутбук, 1 шт.	Dell Inspiron 3552
6	Комутатор, 1 шт.	TL-SF1005D
7	Відеореєстратор, 1 шт.	ADM-88V
8	DC/DC перетворювачі напруги, 3 шт.	XL6009
9	Панельні комутаційні роз'єми, 2 шт.	KLS-4P, KLS-8P
10	Захист в транспортному/робочому положенні	IP67/IP20
11	Габаритні розміри, мм	550×350×210
12	Маса виробу, кг	8

роботу від бортової мережі судна-буксирувальника з номінальною бортовою мережею 24 В постійного струму, або у разі відсутності застосування акумуляторного джерела живлення того ж номіналу. Для виконання функцій керування БПА передбачено можливість використання як комплектного провідного джойстику, так і під'єднання інших провідних та безпровідних зразків, які працюють через USB порти. Представлені електрична схема з'єднань та алгоритмічне забезпечення щодо використання ПЕК БПА дають чітке уявлення про організацію роботи виробу.

ВИСНОВКИ

1. Розроблений пост енергетики та керування реалізований у вигляді мобільного кейсу і призначений для експлуатації при проведенні підводно-технічних робіт з застосуванням серійних зразків буксируваних підводних апаратів проекту «Глайдер», які використовують у якості каналу передачі даних Ethernet.

2. Розробка забезпечує прийому, аналіз і збереження інформації, що надходить від буксированого підводного апарата через кабель-тросовий зв'язок, який передбачає для виконання прийому/передачі розмежування інформаційних та енергетичних сигналів керування окремими провідниками.

REFERENCES

- [1] Masahiko Nakamura, Hiroyuki Kajiwaru, Wataru Koterayama (2001) Development of an ROV operated both as towed and self-propulsive vehicle. *Ocean engineering*, 28(1):1-43. DOI: 10.1016/S0029-8018(99)00058-X
- [2] Tom Davis, Gwenael Cadiou, Joel Williams, Melinda A Coleman (2019) Costs and benefits of towed videos and remotely operated vehicles for sampling shallow reef habitats and fish. *Marine and Freshwater Research*, 71(8). DOI: 10.1071/MF19207
- [3] Hyo-Gon Kim, Sung-Jo Yun, Jeong-Woo Park, Hyo-Jun Lee, Jeong-Hwan Hwang, Jong-Chan Kim, Young-Ho Choi, Jae-Kwan Ryu, Jin-Ho Suh (2023) Estimation and control of a towed underwater vehicle with active stationary and low-speed maneuvering capabilities, *Journal of marine science and engineering*, 11(6):1176. DOI: 10.3390/jmse11061176
- [4] Norimitsu Sakagami, Keita Hirayama, Ryo Taba, Shota Kobashigawa, Seita Arashiro, Fumiaki Takemura, Satoru Takahashi (2020) Development and field experiments of a human-portable towed ROV for high-speed and wide area data acquisition. *Artificial Life and Robotics*, 26(4). DOI: 10.1007/s10015-020-00616-4

- [5] K. Nakayama, A. Saito (2016) The seabed TDEM towed by ROV for the ocean bottom hydrothermal deposits. *Near surface geoscience 2016 – first conference on geophysics for mineral exploration and mining*. DOI: 10.3997/2214-4609.201602109
- [6] Ralph Gerard Sangalang, Diether Jhay Solito Masangcay, Cleo Martin R. Torino, Diane Jelyn C. Gutierrez (2022) Design of a control architecture for an underwater remotely operated vehicle (ROV) used for search and rescue operations. *Kybernetika*, 58(2):237-253. DOI: 10.14736/kyb-2022-2-0237
- [7] Tao Ren, Mengwei Luo, Chun Feng (2023) Research on ROV control method based on fuzzy PID. *Scientific journal of technology*, 5(9):1-7. DOI: 10.54691/sjt.v5i9.5584
- [8] Dapeng Zhang, Bowen Zhao, Keqiang Zhu, Haoyu Jiang (2023) Dynamic analysis of towed cable with variable length during turning maneuvers. *Scientific Reports*, 13(10). DOI: 10.1038/s41598-023-30731-8
- [9] Dapeng Zhang, Bowen Zhao, Keqiang Zhu, Haoyu Jiang (2020) Single camera depth control in micro class ROV. *Telecommunications Computing electronics and control*, 18(3):1546. DOI: 10.12928/telkomnika.v18i3.14885
- [10] Umberto Severino, Santina Fortuna, Antonio Lagudi, Fabio Bruno, Nikola Mišković, Vladimir Djapic (2023) Architecture of a low-cost solution for ROVS to improve navigation and data collection. *20th international conference: Distributed computing and artificial intelligence*, DOI: 10.1007/978-3-031-38318-2_22
- [11] Huan Feng, Wenbiao Sun, Guoyuan Tang, Jian-jun Wang (2022) Study on a novel two-part underwater towed system for near-surface towed vehicle test. *Ocean engineering*, 255(12):111440. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111440
- [12] Bing Sun, Wen Pang, Mingzhi Chen, Daqi Zhu (2022) Development and experimental verification of search and rescue ROV. *Intelligence & Robotics*, 2(4):355-370. DOI: 10.20517/ir.2022.23
- [13] Xianyuan Yang, Jiaming Wu, Shunyu Xu (2022) Dynamic analysis of underwater towed system under undulating motion mode of towed vehicle. *Applied ocean research*, 121:103083. DOI: 10.1016/j.apor.2022.103083
- [14] Xianyuan Yang, Jiaming Wu, Shunyu Xu (2022) Study on dynamic response of underwater towed system in ship propeller wakes using a new hydrodynamic model. *Ocean engineering*, 265(1):112599. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.112599
- [15] Voitasyk A.M., Hovoretska Yu.H. (2017) Systema osvittlenia buksyruvanoho pidvodnoho aparata proektu «Hlaider» [The lighting system of the towed underwater vehicle of the «Glider» project]. *Pidvodna tekhnika i tekhnolohii: Materialy vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. – Mykolaiv: NUK. – Ch.1. – S. 49-52
- [16] Voitasyk A.M., Lin Zilin (2021) Overview of technical specifications of control panels of underwater remote operated vehicles. *Pidvodna tekhnika i tekhnolohii: materialy XI Vseukrainskii naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu*. – Mykolaiv: NUK. – S. 81-87.
- [17] Voitasyk A.M., Sirivchuk A.S., Klochkov O.P., Zalizniak D.V. (2019) Rozrobka systemy informatsiinoho obminu buksyruvanoho pidvodnoho aparata [Development of a towed underwater vehicle information exchange system]. *Pidvodna tekhnika ta tekhnolohii: materialy IX vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu*. – Mykolaiv: NUK. – Ch. 1. – S. 44-47.
- [18] Voitasyk A.M. (2017) Rozrobka mobilnoho posta enerhetyky ta keruvannia vantazhnoho samokhidnoho pidvodnoho nosiia [Development of a mobile post of energy and control of a cargo self-propelled underwater carrier]. *Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi: materialy VIII mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. – Mykolaiv: NUK. – S. 349-350.
- [19] Voitasyk A.M. (2017) Rozrobka posta enerhetyky ta keruvannia vantazhnoho samokhidnoho pidvodnoho nosiia [Development of the post of energy and control of a cargo self-propelled underwater vehicle]. *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: materialy naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. – Chernihiv. – S. 95-96.
- [20] Voitasyk A.M., Mariianchuk P.O. (2017) Rozrobka systemy videodokumentuvannia buksyruvanoho pidvodnoho aparata proektu «Hlaider» [Development of a video documentation system of the towed underwater vehicle of the «Glider» project]. *Pidvodna tekhnika i tekhnolohii: materialy vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. – Mykolaiv: NUK. – Ch. 1. – S. 56-58

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Masahiko Nakamura, Hiroyuki Kajiura, Wataru Koterayama (2001) Development of an ROV operated both as towed and self-propulsive vehicle. *Ocean engineering*, 28(1):1-43. DOI: 10.1016/S0029-8018(99)00058-X
- [2] Tom Davis, Gwenael Cadiou, Joel Williams, Melinda A Coleman (2019) Costs and benefits of towed videos and remotely operated vehicles for sampling shallow reef habitats and fish. *Marine and Freshwater Research*, 71(8). DOI: 10.1071/MF19207
- [3] Hyo-Gon Kim, Sung-Jo Yun, Jeong-Woo Park, Hyo-Jun Lee, Jeong-Hwan Hwang, Jong-Chan Kim, Young-Ho Choi, Jae-Kwan Ryu, Jin-Ho Suh (2023) Estimation and control of a towed underwater vehicle with active stationary and low-speed maneuvering capabilities. *Journal of marine science and engineering*, 11(6):1176. DOI: 10.3390/jmse11061176
- [4] Norimitsu Sakagami, Keita Hirayama, Ryo Taba, Shota Kobashigawa, Seita Arashiro, Fumiaki Takemura, Satoru Takahashi (2020) Development and field experiments of a human-portable towed ROV for high-speed and wide area data acquisition. *Artificial Life and Robotics*, 26(4). DOI: 10.1007/s10015-020-00616-4
- [5] K. Nakayama, A. Saito (2016) The seabed TDEM towed by ROV for the ocean bottom hydrothermal deposits. *Near surface geoscience 2016 – first conference on geophysics for mineral exploration and mining*. DOI: 10.3997/2214-4609.201602109
- [6] Ralph Gerard Sangalang, Diether Jhay Solito Masangcay, Cleo Martin R. Torino, Diane Jelyn C. Gutierrez (2022) Design of a control architecture for an underwater remotely operated vehicle (ROV) used for search and rescue operations. *Kybernetika*, 58(2):237-253. DOI: 10.14736/kyb-2022-2-0237

- [7] Tao Ren, Mengwei Luo, Chun Feng (2023) Research on ROV control method based on fuzzy PID. *Scientific journal of technology*, 5(9):1-7. DOI: 10.54691/sjt.v5i9.5584
- [8] Dapeng Zhang, Bowen Zhao, Keqiang Zhu, Haoyu Jiang (2023) Dynamic analysis of towed cable with variable length during turning maneuvers. *Scientific Reports*, 13(10). DOI: 10.1038/s41598-023-30731-8
- [9] Dapeng Zhang, Bowen Zhao, Keqiang Zhu, Haoyu Jiang (2020) Single camera depth control in micro class ROV. *Telecommunications Computing electronics and control*, 18(3):1546. DOI: 10.12928/telkomnika.v18i3.14885
- [10] Umberto Severino, Santina Fortuna, Antonio Lagudi, Fabio Bruno, Nikola Mišković, Vladimir Djapic (2023) Architecture of a low-cost solution for ROVS to improve navigation and data collection. *20th international conference: Distributed computing and artificial intelligence*, DOI: 10.1007/978-3-031-38318-2_22
- [11] Huan Feng, Wenbiao Sun, Guoyuan Tang, Jian-jun Wang (2022) Study on a novel two-part underwater towed system for near-surface towed vehicle test. *Ocean engineering*, 255(12):111440. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111440
- [12] Bing Sun, Wen Pang, Mingzhi Chen, Daqi Zhu (2022) Development and experimental verification of search and rescue ROV. *Intelligence & Robotics*, 2(4):355-370. DOI: 10.20517/ir.2022.23
- [13] Xianyuan Yang, Jiaming Wu, Shunyuan Xu (2022) Dynamic analysis of underwater towed system under undulating motion mode of towed vehicle. *Applied ocean research*, 121:103083. DOI: 10.1016/j.apor.2022.103083
- [14] Xianyuan Yang, Jiaming Wu, Shunyuan Xu (2022) Study on dynamic response of underwater towed system in ship propeller wakes using a new hydrodynamic model. *Ocean engineering*, 265(1):112599. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.112599
- [15] Войтасик А.М., Говорецька Ю.Г. (2017) Система освітлення буксированого підводного апарату проекту «Глайдер». *Підводна техніка і технології: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції*. – Миколаїв: НУК. – Ч. 1. – С. 49-52
- [16] Voitasyk A.M., Lin Zilin (2021) Overview of technical specifications of control panels of underwater remote operated vehicles. *Підводна техніка і технології: матеріали XI Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю*. – Миколаїв: НУК. – С. 81-87.
- [17] Войтасик А.М., Сірівчук А.С., Клочков О.П., Залізняк Д.В. (2019) Розробка системи інформаційного обміну буксированого підводного апарату. *Підводна техніка та технології: матеріали IX всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*. – Миколаїв: НУК. – Ч. 1. – С. 44-47.
- [18] Войтасик А.М. (2017) Розробка мобільного поста енергетики та керування вантажного самохідного підводного носія. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції*. – Миколаїв: НУК. – С. 349-350.
- [19] Войтасик А.М. (2017) Розробка поста енергетики та керування вантажного самохідного підводного носія. *Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: матеріали науково-технічної конференції*. – Чернігів. – С. 95-96.
- [20] Войтасик А.М., Маріянчук П.О. (2017) Розробка системи відеодокументування буксированого підводного апарату проекту «Глайдер». *Підводна техніка і технології: матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції*. – Миколаїв: НУК. – Ч. 1. – С. 56-58.

© Войтасик А. М.

Дата надходження статті до редакції: 09.10.2023

Дата затвердження статті до друку: 16.11.2023