

УДК 629.58

DOI [https://doi.org/10.15589/znpp2023.4\(493\).12](https://doi.org/10.15589/znpp2023.4(493).12)

DEVELOPMENT OF ELECTRIC DRIVE OF THE MANIPULATOR CUTTER CABLE TETHER FOR AN UNDERWATER VEHICLE

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА МАНІПУЛЯТОРА РІЗАКА КАБЕЛЬ-ТРОСУ ДЛЯ 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 a cutter manipulator for an underwater vehicle with the ability to provide cutting in the water column or in the air of cables held by a gripper. *Method.* As part of the research, the complex modeling method was used to build 3D models of the frame structure of the product and all 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.* On the basis of the use of executive asynchronous electric motors with a short-circuited rotor, gear mechanisms and a formed list of auxiliary electrical equipment, an electric drive of a manipulator of a cable tether cutter for an underwater vehicle has been developed, with the aim of further operation of the product during search and rescue operations where it is necessary to release objects entangled in cable connections. The functioning of the product is ensured by the use of a CAN converter, a central microcontroller and a power module. *Scientific novelty.* The process of cutting the cable tether is proposed to be implemented using an electric drive with the ability to ensure rectilinear movement of the working body equipped together with the gripper. As a cutting element of the working body, an inclined stainless steel blade capable of cutting a cable tether with a diameter of up to 6,5 mm was chosen. The product includes a set of necessary electrical equipment combined with a control system that ensures the functioning of the product during search and rescue operations. Observation of the work process is provided by an additional video camera and a lamp directed into the working area of the cutter. *Practical importance.* The proposed product is designed in the form of a manipulator with electric mechanisms of rotational and translational movement, which ensure effective movement of the working body connected together with the grip within the working area of the underwater vehicle. The cable tether cutting process is performed in a straight line using an inclined blade that presses the cable tether against the gripper wall. Control of the manipulator of the cutter is performed remotely by the operator of the underwater vehicle by receiving real-time current video information from an analog video camera. Changing the lighting setting in the working area of the cutter manipulator of the underwater vehicle is provided by an LED lamp.

Key words: attachment equipment; degree of freedom; cable tether.

Анотація. *Мета.* Розробка та проектування маніпулятора різачка для підводного апарата з можливістю забезпечення розрізання в товщі води або на повітрі кабель-тросів, утримуваними захватом. *Методика.* В рамках дослідження використано метод комплексного моделювання для побудови 3D моделей рамної конструкції 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 виконавчих асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, редукторних механізмів та сформованого переліку допоміжного електрообладнання, розроблено електропривод маніпулятора різачка кабель-тросу для підводного апарата, з метою подальшої експлуатації виробу під час проведення пошукових та рятувальних операцій де необхідно виконати вивільнення об'єктів заплутаних у кабельно-тросових зв'язках. Функціонування виробу забезпечується застосуванням перетворювача CAN, центрального мікроконтролера і силового модуля. *Наукова новизна.* Процес виконання різання кабель-тросу запропоновано реалізувати з застосуванням електропривода з можливістю забезпечувати прямолінійний рух робочого органу обладнаного спільно з захватом. В якості ріжучого елементу робочого органу обрано похиле лезо з нержавіючої сталі здатне розрізати кабель-

трос діаметром до 6,5 мм. До складу виробу входить комплект необхідного електрообладнання об'єднаного з системою керування, яка забезпечує функціонування виробу при проведенні пошукових та рятувальних робіт. Спостереження за процесом проведення робіт забезпечується додатковою відеокамерою та світильником направленими у робочу зону різача.

Практична значимість. Запропонований виріб спроектований у вигляді маніпулятора з електроприводними механізмами обертального та поступального руху, які забезпечують ефективне переміщення робочого органу, поєднаного разом з захватом, в межах робочої зони підводного апарата. Процес різання кабель-тросу виконується прямолінійно з застосуванням похилого леза, що притискає кабель-трос до стінки захвату. Керування маніпулятором різача виконується дистанційно оператором підводного апарата шляхом отримання в режимі реального часу поточної відео інформації з аналогової відеокамери. Зміна налаштування освітлення в робочій зоні маніпулятора різача підводного апарата забезпечується світлодіодним світильником.

Ключові слова: націпне обладнання; ступінь вільності; кабель-трос.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Виникнення підводної техніки зумовлено потребами суспільства, що розвивається. При залученні підводних апаратів (ПА) до виконання підводно-технічних робіт (ПТР) відбувається інтенсифікація робочого процесу, підвищення продуктивності праці, що поліпшує техніко-економічні показники при виконанні підводних задач.

В даний час близько 40% всіх ПА, що випускаються у світі – це найпростіші ПА для вирішення пошукових та інспекційних задач. За досить невеликий час свого існування ПА, виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, зарекомендували себе як якісний та мобільний інструмент. Можливості ПА визначаються його функціональними здібностями. Для цивільної сфери застосування це фото та відеодокументування, гідроакустичний пошук з GPS прив'язкою координат, взяття проб ґрунту і т.п. Для військової сфери застосування це пошук та знешкодження вибухонебезпечних одиниць, охорона підводного простору, географічна розвідка акваторій і т.п. Обидва ці напрямки поєднує єдина задача підводної техніки – взаємодія ПА з підводним середовищем. Для такої взаємодії ПА можуть бути облаштовані різноманітним націпним обладнанням. Серед подібного обладнання найбільш застосовуваними є звичайні маніпулятори за допомогою яких можна виконувати різні просторові маніпулювання з об'єктами як у підводному так і надводному середовищі. Для таких задач вони облаштовуються різноманітними захватними пристроями. Технічно більш складніші маніпулятори можуть реалізовувати такі задачі як підводне різання, зварювання і т.п. Проте, в такому разі вони мають бути облаштовані робочими органами придатними для виконання таких ПТР. Типовим прикладом застосування маніпуляторів різачів є проведення пошукових та рятувальних операцій де необхідно виконати вивільнення об'єктів заплутаних у кабельно-тросових зв'язках. Приводні механізми подібних виробів зазвичай гідравлічні, проте вони більш складні в обслуговуванні та експлуатації, ніж електричні. Тому, набуває актуальності задача розробки та проектування електропривода

маніпулятора різача як виробу, що надає можливості ПА виконувати розрізання в товщі води або на повітрі кабель-трос, утримуючи його при цьому захватом.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Конструкція та технічне оснащення маніпулятора визначає можливості застосування ПА [1, 2, 3]. Маніпулятор складається з послідовності твердих ланок, перша з яких з'єднана з опорної стійкою, а остання оснащена робочим органом (інструментом) [4]. Кожна ланка з'єднана не більш ніж із двома іншими так, щоб не утворювалося замкнених контурів. За кількістю пар ланок визначаються ступені вільності маніпулятора [5]. Силовий привод реалізується у трьох основних видах: пневматичний, гідравлічний і електричний [6, 7]. Зустрічаються також комбіновані приводи: пневмогідравлічний, електрогідравлічний, і інші, у яких здійснюється перетворення енергії одного енергоносія в енергію іншого [8, 9].

Пневмопривод застосовується переважно для малої вантажопідйомності із цикловим керуванням, коли основними є вимоги високої швидкодії, простоти і низької вартості [10]. Пневматичний привод є найбільш простим і дешевим.

Гідропривід застосовується для середньої і великої вантажопідйомності, коли припустима невисока швидкість [11, 12]. Гідравлічний привод дозволяє одержувати дуже великі зусилля при малих габаритах електродвигунів (гідроциліндрів) при звичайно високих тисках масла від 0 до 10 МПа.

Електропривод найчастіше застосовується з контурним керуванням, коли пред'являються вимоги відтворення складних програм і високої точності [13, 14, 15]. Електричний привод найкраще реалізується із пристроями керування [16, 17, 18]. Живлення електродвигунів здійснюється зазвичай від бортової електричної мережі, що зручніше за все [19, 20, 21].

В порівнянні з іншими видами приводів для маніпулятора різача ПА запропоновано використовувати саме електропривод, так як він має більшу кількість переваг, як наприклад: простота конструкції; забезпечення стабільної швидкості обертання виконавчих

механізмів; висока точність роботи; мінімальні втрати енергії; плавність регулювання; легкість автоматизації.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

В роботі запропоновано маніпулятор різак кабель-тросів (КТ) для ненаселеного прив'язного ПА, який керується оператором. Розроблений маніпулятор різак відноситься до робототехніки першого покоління з дистанційним керуванням і візуальним контролем його положення. Обмеження рухливості маніпулятора з метою запобігання пошкодженню електрообладнання реалізовано за допомогою кінцевих вимикачів, розташованих на межах робочих зон. Пристрій оснащений робочим органом призначеним для розрізання в товщі води або на повітрі КТ, утримуваного захватом.

Основний напрямок застосування виробу – різання сталевих, алюмінієвих або мідних КТ чи звичайних тросів, що можуть бути виявлені під час проведення пошукових та рятувальних операцій, де необхідно виконати вивільнення об'єктів заплутаних у кабельно-тросових зв'язках. Маніпулятор різак КТ орієнтовано на виконання лише прямолінійних різів.

Метою дослідження є розробка та проектування маніпулятора різак для підводного апарата з можливістю забезпечення розрізання в товщі води або на повітрі кабель-тросів, утримуваними захватом.

ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості *об'єкта дослідження* обрано технологічні процеси, які здатен реалізовувати саморухомий прив'язний підводний апарат облаштований маніпулятором різак.

Предметом дослідження є моделі та методи аналізу для запровадження необхідної точності та надійності роботи маніпуляційного пристрою, реалізація електроприводних механізмів зміни положення у просторі робочого органу, суміщеного разом з захватом, та забезпечення сумісності застосованого обладнання, створення 3D моделей складових елементів обладнання та загальної конструкції маніпулятора різак.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Маніпулятор різак КТ для ПА запропоновано реалізовувати відповідно до кінематичної структури представлені на рис. 1.

Кінематична структура маніпулятора різак КТ складається з трьох ланок:

- перша ланка реалізує повороти всієї конструкції навколо своєї осі. Її основа є базовою точкою кріплення виробу до ПА;
- друга ланка здатна виконувати обертання різак КТ в робочій зоні маніпулятора;
- на вал електродвигуна третьої ланки підключено циліндричний черв'ячний редуктор. Обертання

від валу редуктора призводить до поступального руху різучого елемента маніпулятора.

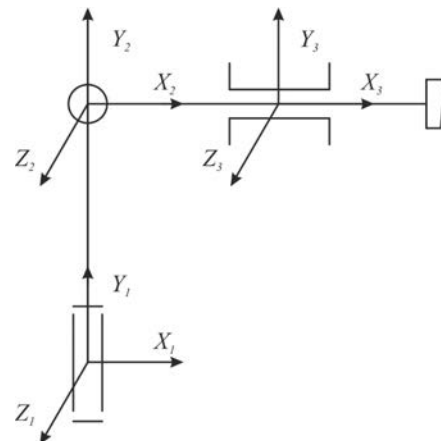


Рис. 1. Кінематична структура маніпулятора різак КТ ПА

Розроблена конструкція маніпулятора різак КТ ПА (рис. 2) закріплюється на ПА за допомогою монтажних кріплень. Обертання маніпулятора різак навколо вісі реалізовано циліндричним редуктором. В якості вісі обертання використовується осьовий гвинт.

В основі конструкції розташовано герметичний роз'єм для дистанційного керування електроприводом маніпулятора різак та пробку перевірки герметичності конструкції.

Основа виробу сполучена з поворотною платформою тим же осьовим гвинтом. Герметичність, в процесі обертання 1-ої ланки маніпулятора також забезпечується гумовим кільцем, але значно більшого діаметру. На поворотній платформі розташовано трубу через яку проходять електричні та сигнальні проводи до 2-ої ланки маніпулятора різак.

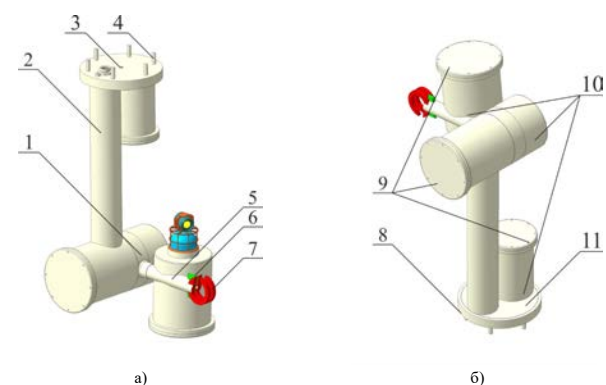


Рис. 2. 3D модель конструкції маніпулятора різак КТ ПА
а) – вид зверху; б) – вид знизу; 1) – 2-га ланка;
2) – 3-тя ланка; 3) – осьовий гвинт; 4) – монтажні кріплення; 5) – 1-ша ланка; 6) – похиле лезо;
7) – гак зачеплення; 8) – основа; 9) – корпусні кришки;
10) – міцні корпуси електрообладнання;
11) – поворотна платформа;

Розроблену 3D модель конструкції маніпулятора різача КТ ПА поділено на 3-ри ланки: 1-ша та 2-га поворотні на 360 градусів, 3-тя поступального переміщення. Захват КТ відбувається за рахунок зачеплення його гаком, різання виконується переміщенням похилого леза, в напрямку гака, на 50 мм. Задіяні в конструкції електропривода електродвигуни та редуктори розташовуються в герметичних корпусах. Герметичність міцних корпусів забезпечується гумовими кільцями.

Камера відеоспостереження застосовується аналогового виконання зі здатністю обертання навколо власної вісі на 360 градусів (рис. 3). При виконанні різання КТ ефективно застосовувати обертання камери можна лише на 180 градусів, інакше робочий орган маніпулятора буде знаходитися в сліпій зоні. Обертання камери на 360 градусів більш вигідно застосовувати при розвідці підводної обстановки та пошуку КТ.

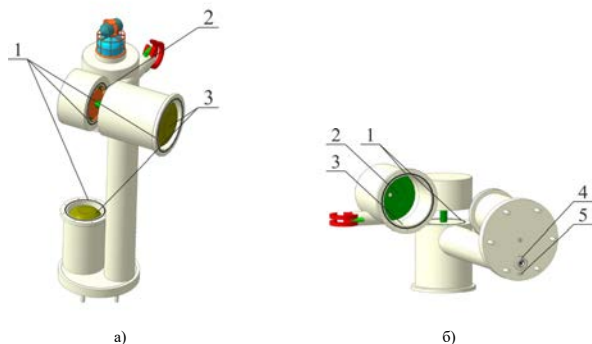


Рис. 3. Герметичність конструкції маніпулятора різача

- а) – герметичність електропривода;
б) – герметичність 3-ї ланки та редуктора:
1) – ущільнюючі кільця;
2) – місця установки редукторів;
3) місця для електродвигунів;
4) – герметичний роз'єм; 5) – пробка

Для освітлення робочого органу використовуються підводний світильник побудований на базі світлодіодної матриці. Якісне освітлення забезпечує можливість отримання відеокамерою кольорового зображення. Таке рішення дозволяє отримувати більш деталізоване уявлення про об'єкт над яким виконуються підводні роботи з різання.

Підводна відеокамера та підводний світильник сполучені однією віссю, навколо якої виконується їх спільне обертання (рис. 4). Це надає змогу зменшити кількість електроприводів задіяних в конструкції маніпулятора різача та в свою чергу ефективно застосовувати відеоспостереження за процесом виконання ПТР.

Для безпечної експлуатації виробу передбачено два основні положення: транспортне положення; робоче положення. Вигляд маніпулятора різача в двох основних положеннях представлено на рис. 5.

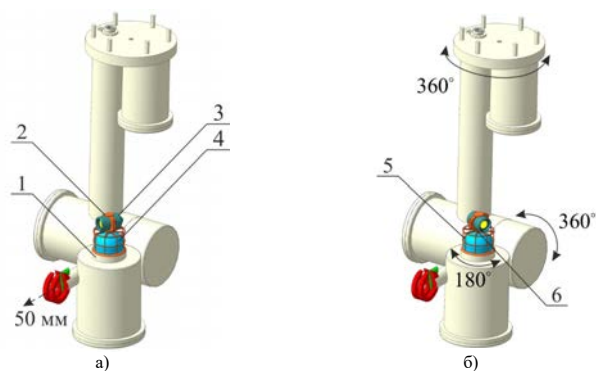


Рис. 4. Відеоспостереження та освітлення маніпулятора різача КТ ПА

- а) – локальне освітлення; б) – поворот камери відеоспостереження;
1) – поворотна відеокамера; 2) – кріплення світильника;
3) – світильник; 4) – скляний ілюмінатор;
5) – захисна кришка; 6) – співвісний механізм повороту

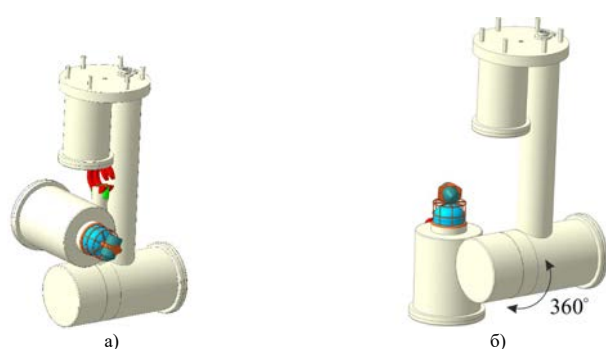


Рис. 5. Основні положення маніпулятора різача КТ ПА
а) – транспортне положення; б) – робоче положення

Світильник з'єднується з камерою за допомогою спеціального хомута та розташованої на ньому муфти. Кришка підводної відеокамери виконує захисну роль скляного купольного ілюмінатора. Вихід ілюмінатора з ладу призведе до втрати працездатності системи відеоспостереження і як наслідок до припинення виконання ПТР. Механізм повороту першої ланки маніпулятора різача реалізовано за допомогою планетарного редуктора, встановленого співвісно з виконавчим електродвигуном.

Більш детальну візуалізацію процесу різання КТ за допомогою представленого зразка маніпулятора різача для ПА представлено на рис. 6.

На цьому рисунку продемонстровано покрокове переміщення похилого леза під час різання КТ, від початкового положення леза до кінцевого. Кінцеве положення леза вважається точкою повного перерізу КТ.

Основні технічні характеристики розробки представлені у табл. 1.

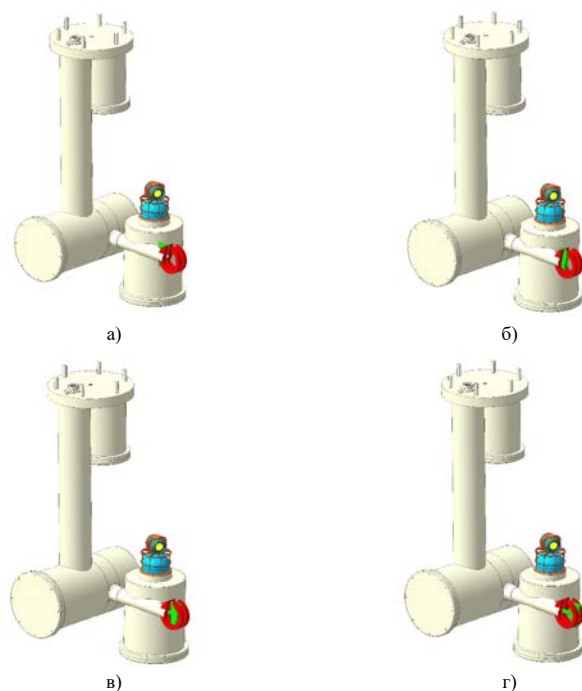


Рис. 6. 3D модель електропривода маніпулятора різача КТ ПА
а) – початкове положення леза; б) – переміщення леза на 15 мм; в) – переміщення леза на 35 мм; г) – кінцеве положення леза

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Основними виконавчими елементами маніпулятора різача є асинхронні електродвигуни змінного струму з короткозамкненими роторами обладнані передатними механізмами, які здатні змінювати положення у просторі робочого органу, обладнаного разом з захватом. Спостереження за процесом проведення ПТР забезпечується додатковою відеокамерою та світильником направленими у робочу зону різача.

Система керування електроприводом маніпулятора різача КТ ПА складається із двох частин – інвертора та фільтра. Інвертор виконаний на модулі *IRAMX20UP60A*, що складається з 6-ти *IGBT*-транзисторів, включених за мостовою схемою. Завдяки застосуванню сучасних *IGBT*-транзисторів забезпечені малі динамічні і статичні втрати в ключах, висока питома потужність, стійкість до коротких замикань у навантаженні.

Система керування складається з перетворювача *CAN MCP2551*, центрального мікроконтролера *PIC18F2431* і силового модуля *IRAMX20UP60A*. Драйвер, інтегрований у модуль, перетворить вихідні сигнали мікроконтролера в сигнали керування затворами ключів, забезпечує функції струмового захисту і плаваючі джерела живлення анодної групи ключів.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики розробки

№ з/п	Найменування параметра	Значення		
1	Напруга змінного струму, В	220		
2	Частота мережі, Гц	400		
3	Споживча потужність маніпулятора різача, кВт	0,95		
4	Виконавчі електродвигуни серії ДАТ	63-180-3	63-90-0,75	65-550-3
5	Тип електродвигунів	АД з короткозамкненим ротором		
6	Типи редукторів	циліндричний	планетарний	черв'ячний
7	Відеокамера	<i>LDP-1089S25</i> – 1 шт.		
8	Світильник	<i>Lun Aqua Set3</i> – 1 шт.		
9	Зусилля різі, сталь / алюміній / мідь	30,47/32,08/31,09		
10	Площа перетину, сталь / алюміній / мідь	12/33/17		
11	Допустимі діаметри КТ, мм	4/6,5/4,5		
12	Матеріал леза	нержавіюча сталь		
13	Гранична глибина занурення, м	200		
14	Керування маніпулятором	CAN		
15	Час виконання одного різі, с	10		
16	Кут нахилу леза, градусів	7		
17	Габаритні розміри, мм	600×647×350		
18	Маса виробу, кг	55		

ВИСНОВКИ

1. Запропонований виріб спроектований у вигляді маніпулятора з електроприводними механізмами обертального та поступального руху, які забезпечують ефективне переміщення робочого органу, поєднаного разом з захватом, в межах робочої зони підводного апарата. Процес різання кабель-тросу виконується прямолінійно з застосуванням похилого леза, що притискає кабель-трос до стінки схвату.

2. Керування маніпулятором різача виконується дистанційно оператором підводного апарата шляхом отримання в режимі реального часу поточної відео інформації з аналогової відеокамери. Зміна налаштування освітлення в робочій зоні маніпулятора різача підводного апарата забезпечується світлодіодним світильником.

REFERENCES

- [1] Blintsov O.V., Burunina Zh.Yu., Voityasyk A.M. (2018) Refining the classification of underwater missions performed using underwater complexes with flexible connections. *Shipbuilding and marine infrastructure*, №1(9), 36-43. DOI: 10.15589/SMI.2018.01.05
- [2] Bing SunBing, SunWen 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
- [3] Jin Zhang, Wei Li, Jiancheng Yu, Xisheng Feng, Qifeng Zhang, Genshe Chen (2017) Study of manipulator operations maneuvered by a ROV in virtual environments. *Ocean engineering*, 142(1), 292-302. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.07.008
- [4] R. Mitchell Bosler, Simen Rønne, David Furnidge, Alfild Waerøe, Johann Rangua, Craig Ferguson (2023) Efficient survey tools for an improved understanding of deep seabed minerals. *Offshore technology conference*. DOI: 10.4043/32490-MS
- [5] Wael Bakr (2019) Innovative ROV manipulator powered by artificial intelligence to decrease risk in subsea operations. *Abu Dhabi international petroleum exhibition & conference*. DOI: 10.2118/197265-MS.
- [6] Junli Wang, Shitong Wang, Wenhao Leng (2022) Autonomous piloting and simulation on underwater manipulations based on vision positioning. *Mobile information systems*. DOI: 10.1155/2022/2884611
- [7] Satja Sivcev, Matija Rossi, Edin Omerdic, Joseph Coleman, Gerard Dooly, Daniel J F Toal (2018) Collision detection for underwater roV manipulator systems. *Sensors*, 18(4). DOI: 10.3390/s18041117
- [8] Leverett Bezanson, Scott Reed, Emilio Miguelanez, Martin Corina, Barbalata Corina (2017) Coupled control of a lightweight ROV and manipulator arm for intervention tasks. *Oceans 2017*.
- [9] B.H. Jun, H.W. Shim, Pan-Mook Lee, Hyeongyong Baek, S.K. Cho, Do Jin Kim (2009) Workspace control system of underwater tele-operated manipulators on ROVs. *OCEANS 2009 – EUROPE: IEEE Xplore*. DOI: 10.1109/OCEANSE.2009.5278127
- [10] G.R. Vossoughi, G.R. Vossoughi, Ali Meghdari, H Borhan (2004) Dynamic modeling and robust control of an underwater ROV equipped with a robotic manipulator arm. *Proceedings of 2004 ASME JUSFA 2004 Japan – USA symposium on flexible automation*. DOI: 10.13140/2.1.1328.1282
- [11] Daniel J F Toal, Phillipe Cardoso Santos, Raimundo Freire, Elyson Ádan Nunes Carvalho (2023) Fully automatic visual servoing control for underwater vehicle manipulator systems based on a heuristic inverse kinematics. *Journal of intelligent & robotic systems*, 107(3). DOI: 10.1007/s10846-023-01827-0
- [12] Hyung-Won Shim, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee (2011) Dynamic workspace control of underwater manipulator considering ROV motion. *Journal of institute of control robotics and systems*, 17(5), 460-470. DOI: 10.5302/J.ICROS.2011.17.5.460
- [13] Blintsov V.S., Voityasyk A.M. (2017) Suchasni zadachi avtomatyzatsiino keruvannia samokhidnoi pryviaznoi pidvodnoi vantazhnoi systemoiu [Modern problems of automatic control of a self-propelled tethered underwater cargo system]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, 3, 49-55.
- [14] Blintsov V.S., Voityasyk A.M. (2016) Avtomatyzatsiia keruvannia pidvodnym aparatom-robotom transportnoho typu [Automation of control of an underwater transport type robot]. *Avtomatyka – 2016: materialy XXIII mizhnarodnoi konferentsii z avtomatyzatsiino upravlinnia*. – Sumy: SDU, 212-213.
- [15] Voityasyk A.M. (2017) Orhanizatsiia avtomatyzovanoho keruvannia pidvodnoi pryviaznoi samokhidnoi vantazhnoi systemoiu [Organization of automated control of an underwater tethered self-propelled cargo system]. *Suchasni problemy avtomatyky ta elektrotekhniki – 2017: materialy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. – Mykolaiv: NUK, 57-59
- [16] Hyungwon Shim, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee, Banghyun Kim (2013) Dynamic workspace control method for underwater manipulator of floating ROV. *International journal of precision engineering and manufacturing*, 14(3). DOI: 10.1007/s12541-013-0054-6
- [17] Hyungwon Shim, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee, Hyuk Baek, Jihong Lee (2010) Workspace control system of underwater tele-operated manipulators on an ROV. *Ocean engineering*, 37(11-12), 1036-1047. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2010.03.017
- [18] Marc Hildebrandt, Leif Christensen, Jochen Kerdels, Jan Christian Albiez, Frank Kirchner (2009) Realtime motion compensation for ROV-based tele-operated underwater manipulators. *OCEANS 2009 – EUROPE: IEEE Xplore*. DOI: 10.1109/OCEANSE.2009.5278241
- [19] M. A Malleswari, B Venkata Rao, Narasimha Rao Kolipaka (2021) Solar powered ROV electric propulsion and control. *Gedrag & organisatie*, 34(01), 33-39. DOI: 10.37896/GOR34.01/004
- [20] Voityasyk A.M. (2020) Rozrobka elektrodvyhuna pidvodnoho vykonannia dlia malohabarytnoho pidvodnoho aparata [Development of an underwater electric motor for a small-sized underwater vehicle]. *Pidvodna tekhnika i tekhnolohiia: materialy X vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoi uchastiu*. – Ch.1. – Mykolaiv: NUK, 3-8.
- [21] Blintsov O.V., Burunina Zh.Yu., Voityasyk A.M. (2019) Avtomatychne keruvannia vantazhnym samokhidnym pidvodnym nosiim v umovakh nevyznachenosti [Automatic control of a cargo self-propelled underwater vehicle under conditions of uncertainty]. *Suchasni problemy avtomatyky ta elektrotekhniki – 2019: materialy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. – Mykolaiv: NUK, 22-24.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Blintsov O.V., Burunina Zh.Yu., Voityasyk A.M. (2018) Refining the classification of underwater missions performed using underwater complexes with flexible connections. *Shipbuilding and marine infrastructure*, №1(9), 36-43. DOI: 10.15589/SMI.2018.01.05

- [2] Bing SunBing, SunWen 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
- [3] Jin Zhang, Wei Li, Jiancheng Yu, Xisheng Feng, Qifeng Zhang, Genshe Chen (2017) Study of manipulator operations maneuvered by a ROV in virtual environments. *Ocean engineering*, 142(1), 292-302. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.07.008
- [4] R. Mitchell Bosler, Simen Rønne, David Furmidge, Alfhild Waerøe, Johann Rangua, Craig Ferguson (2023) Efficient Survey Tools for an Improved Understanding of Deep Seabed Minerals. *Offshore technology conference*. DOI: 10.4043/32490-MS
- [5] Wael Bakr (2019) Innovative ROV manipulator powered by artificial intelligence to decrease risk in subsea operations. *Abu Dhabi international petroleum exhibition & conference*. DOI: 10.2118/197265-MS.
- [6] Junli Wang, Shitong Wang, Wenhao Leng (2022) Autonomous piloting and simulation on underwater manipulations based on vision positioning. *Mobile information systems*. DOI: 10.1155/2022/2884611
- [7] Satja Sivcev, Matija Rossi, Edin Omerdic, Joseph Coleman, Gerard Dooly, Daniel J F Toal (2018) Collision detection for underwater roV manipulator systems. *Sensors*, 18(4). DOI: 10.3390/s18041117
- [8] Leverett Bezanson, Scott Reed, Emilio Miguelanez, Martin Corina, Barbalata Corina (2017) Coupled control of a lightweight ROV and manipulator arm for intervention tasks. *Oceans 2017*.
- [9] B.H. Jun, H.W. Shim, Pan-Mook Lee, Hyeongyong Baek, S.K. Cho, Do Jin Kim (2009) Workspace control system of underwater tele-operated manipulators on ROVs. *OCEANS 2009 – EUROPE: IEEE Xplore*. DOI: 10.1109/OCEANSE.2009.5278127
- [10] G.R. Vossoughi, G.R. Vossoughi, Ali Meghdari, H Borhan (2004) Dynamic modeling and robust control of an underwater ROV equipped with a robotic manipulator arm. *Proceedings of 2004 ASME JUSFA 2004 Japan – USA symposium on flexible automation*. DOI: 10.13140/2.1.1328.1282
- [11] Daniel J F Toal, Phillipe Cardoso Santos, Raimundo Freire, Elyson Ádan Nunes Carvalho (2023) Fully automatic visual servoing control for underwater vehicle manipulator systems based on a heuristic inverse kinematics. *Journal of intelligent & robotic systems*, 107(3). DOI: 10.1007/s10846-023-01827-0
- [12] Hyung-Won Shim, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee (2011) Dynamic workspace control of underwater manipulator considering roV motion. *Journal of institute of control robotics and systems*, 17(5), 460-470. DOI: 10.5302/J.ICROS.2011.17.5.460
- [13] Блінцов В.С., Войтасик А.М. (2017) Сучасні задачі автоматичного керування самохідною прив'язною підводною вантажною системою. *Збірник наукових праць НУК*, 3, 49-55.
- [14] Блінцов В.С., Войтасик А.М. (2016) Автоматизація керування підводним апаратом-роботом транспортного типу. *Автоматика – 2016: матеріали XXIII міжнародної конференції з автоматичного управління*. – Суми: СДУ, 212-213.
- [15] Войтасик А.М. (2017) Організація автоматизованого керування підводною прив'язною самохідною вантажною системою. Сучасні проблеми автоматики та електротехніки – 2017: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 57-59.
- [16] Hyungwon Shim, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee, Banghyun Kim (2013) Dynamic workspace control method for underwater manipulator of floating ROV. *International journal of precision engineering and manufacturing*, 14(3). DOI: 10.1007/s12541-013-0054-6
- [17] Hyungwon Shim, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee, Hyuk Baek, Jihong Lee (2010) Workspace control system of underwater tele-operated manipulators on an ROV. *Ocean engineering*, 37(11-12), 1036-1047. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2010.03.017
- [18] Marc Hildebrandt, Leif Christensen, Jochen Kerdels, Jan Christian Albiez, Frank Kirchner (2009) Realtime motion compensation for ROV-based tele-operated underwater manipulators. *OCEANS 2009 – EUROPE: IEEE Xplore*. DOI: 10.1109/OCEANSE.2009.5278241
- [19] M. A Malleswari, B Venkata Rao, Narasimha Rao Kolipaka (2021) Solar powered ROV electric propulsion and control. *Gedrag & organisatie*, 34(01), 33-39. DOI: 10.37896/GOR34.01/004
- [20] Войтасик А.М. (2020) Розробка електродвигуна підводного виконання для малогабаритного підводного апарата. *Підводна техніка і технологія: матеріали X всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*. – Ч.1. – Миколаїв: НУК, 3-8.
- [21] Блінцов О.В., Буруніна Ж.Ю., Войтасик А.М. (2019) Автоматичне керування вантажним самохідним підводним носієм в умовах невизначеності. Сучасні проблеми автоматики та електротехніки – 2019: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 22-24.

© Войтасик А. М.

Дата надходження статті до редакції: 09.10.2023

Дата затвердження статті до друку: 16.11.2023